

Est. 5 Tab. 7 N.º 20

Sala 6

Est. 1

Tab. 3

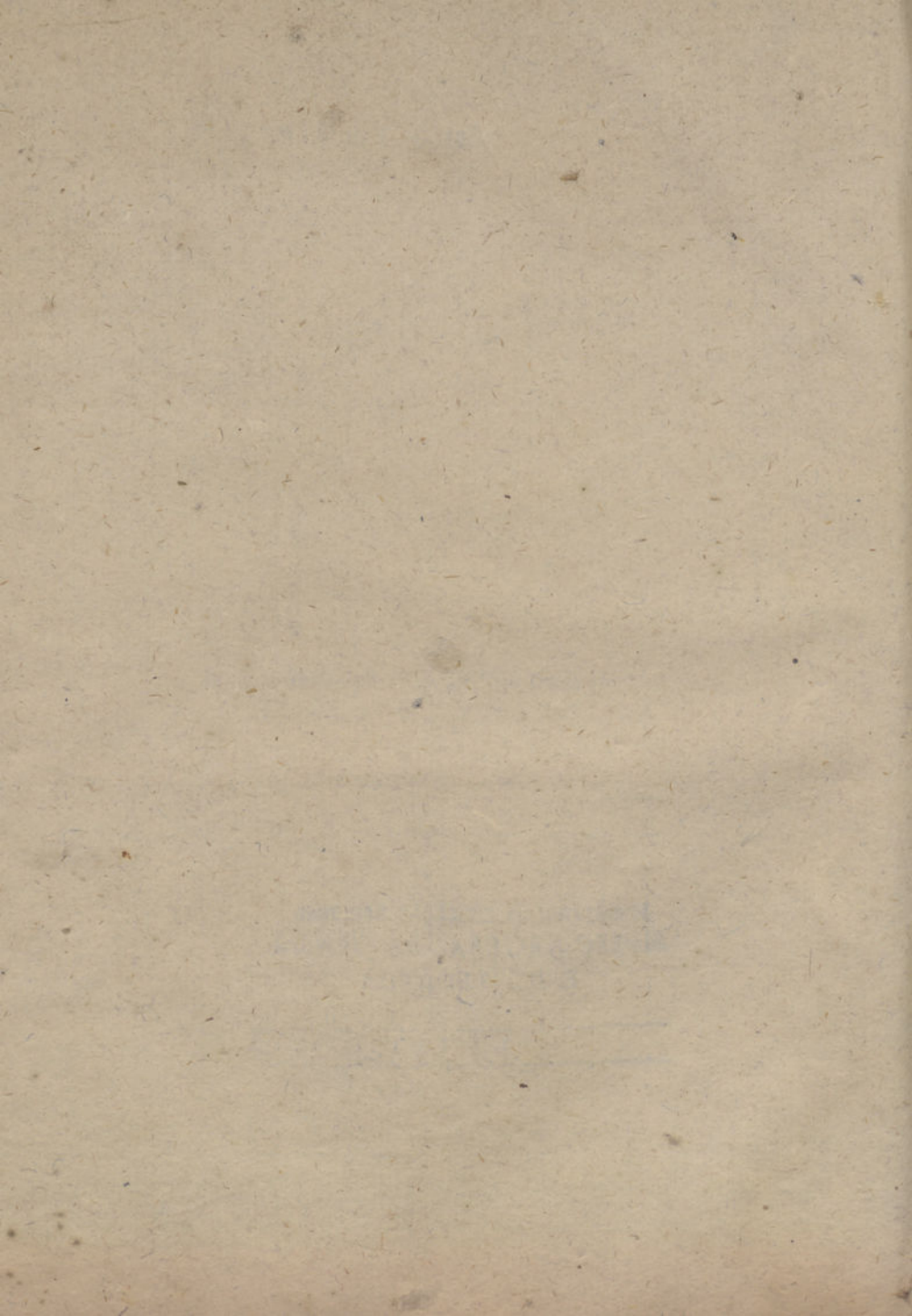
N.º 21

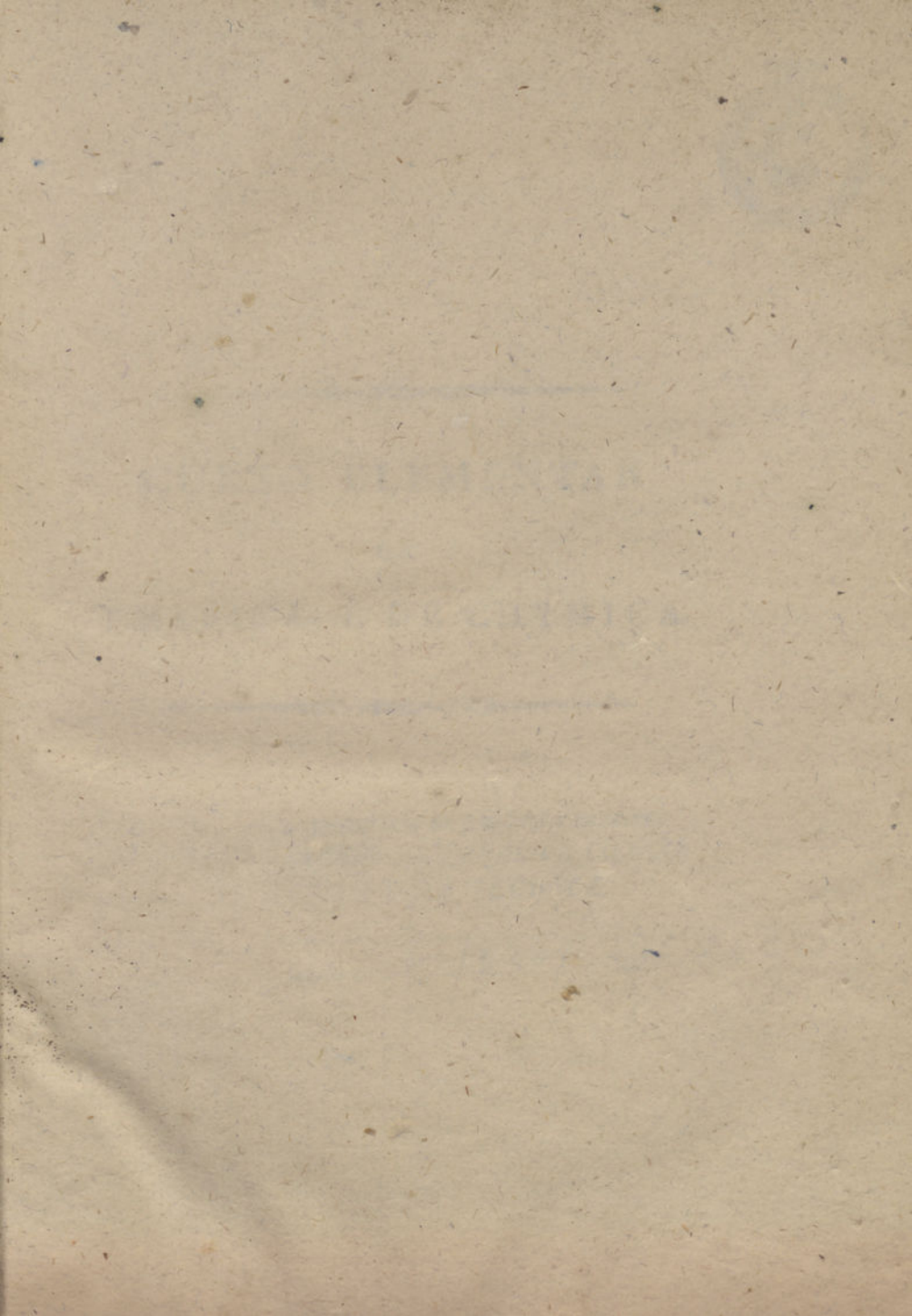
Est. 5 Tab. 7 N.º 20

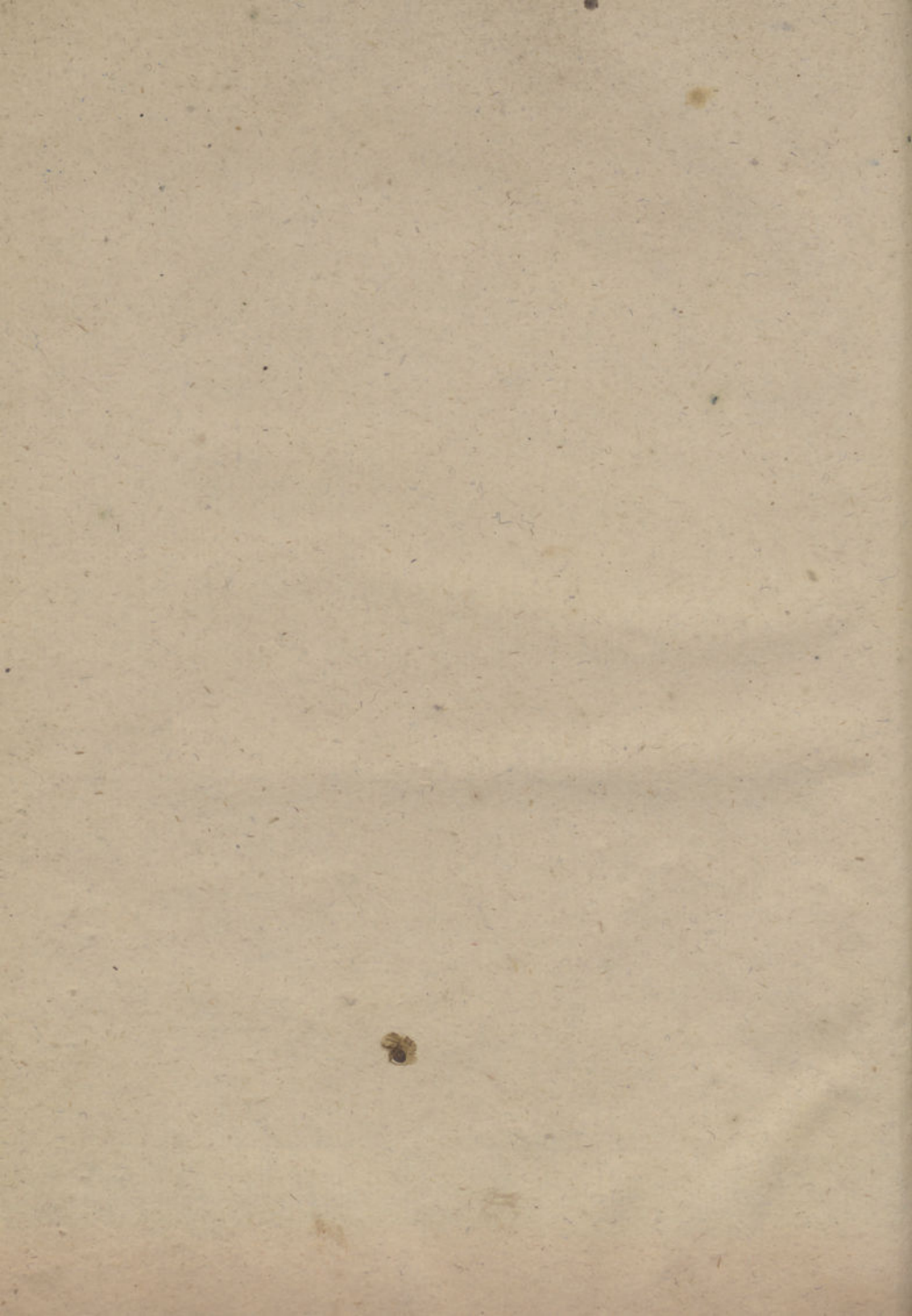
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO NACIONAL
MUSEU NACIONAL DA CIÊNCIA

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO NACIONAL
MUSEU NACIONAL DA CIÊNCIA
E DA TÉCNICA

N.º 1330 V.º 0. 2183









CURSO ELEMENTAR
DE
PHYSICA, E DE CHYMICA.

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO NACIONAL
MUSEU NACIONAL DA CIÊNCIA
E DA TÉCNICA

Nº 1330 N.º 2183



CURSO ELEMENTAR

DE

FISICA, E DE QUÍMICA.

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO NACIONAL
MUSEU NACIONAL DE CIÊNCIAS
E DE TÉCNICA

1938

INV.- Nº 730

CURSO ELEMENTAR

DE

PHYSICA, E DE CHYMICA,

OFFERECIDO

AOS ALUMNOS DESTAS SCIENCIAS

NO

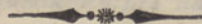
REAL LABORATORIO CHYMICO

DA

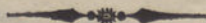
MOEDA:

POR

L. S. M. DE ALBUQUERQUE.



TOMO II.



LISBOA:

NA TYPOGRAFIA DE ANTONIO RODRIGUES GALHARDO,

Impressor do Tribunal do Conselho de Guerra.

Com Licença de Sua Magestade.

1824.



2183

2183

Jose Bernardes Ferreira Galhardo

RC
MNCT
(LA)
53
AIB

INV. - No. 730

CURSO ELEMENTAR

PHYSICA, E DE QUIMICA,

OPORTUNO

PARA ALUMNOS DE ESTAS CIENCIAS

NO

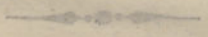
REAL LABORATORIO QUIMICO

DA

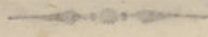
MOEDA

POR

L. S. M. DE ALBUQUERQUE



TOMO II



Impressão da Typographia de Antonio Rodrigues Galvães
LISBOA

NA TYPOGRAPHIA DE ANTONIO RODRIGUES GALVAES,
Largo do Carmo, n.º 120, em Lisboa.
Com Licença de Sua Magestade.

1824



2183



CURSO ELEMENTAR

DE

PHYSICA, E DE CHYMICA.

SECÇÃO IV.

ELECTRICIDADE.

Phenomenos fundamentaes da Electricidade.

1. **E**ntre os agentes incoerciveis, e impoderaveis, susceptiveis de communicar aos aggregados da materia, propriedades occasionaes, a Electricidade de hum dos mais importantes, tanto pelo grande numero, como pela bellêza, e singularidade dos phenomenos, a que dá lugar.

Este ramo da Physica, por muitos seculos estacionario, e limitado apenas aos phenomenos os mais simples, que este agente produz, tem-se consideravelmente estendido nos ultimos tempos; não só com descubertas experimentaes, e com hypotheses brilhantes; mas com theorías solidas, e calculadas, com demonstrações rigorosas, e evidentes. Novas descubertas, recentemente adicionadas na Dinamarca, ás que Volta, e Galvani haviaõ feito em Italia, tem aberto, nesta parte, hum novo campo aos experimentos, e á meditação, e no momento, em que escrevemos, talvez novos factos, e sem dúvida importantes considerações amplificaõ este fecundo ramo das sciencias physicas.

2. Se tomâmos hum pedaço de *succino*, de vidro, ou de

resina, e sem o esfregar, o apresentâmos a corpos léves, como v. g., serradura de madeira, apáras de papel, ou outros semelhantes, nenhum phenomeno apparente terá lugar; se porém esfregâmos qualquer dos mesmos pedaços com hum estôfo de lã, ou com huma pèlle de gato, e depois o aproximamos dos corpos léves, vê-los-hemos precipitarem-se sôbre o pedaço, e huns ficarão adherindo a elle; e outros serão repellidos, depois de o haverem tocado.

3. Esta experiencia terá lugar do mesmo modo, empregando, em vez do succino, do vidro, ou da resina, hum tubo de enxofre, huma fita de seda, ou de lã: donde concluiremos, que no acto de serem esfregados com hum estôfo de lã, ou huma pèlle de gato, aquelles corpos adquirem a propriedade de attrahir os corpos léves, e por conseguinte de serem por elles attrahidos; visto que a toda a acção, se oppõe huma reacção igual, e opposta.

4. Se os corpos se esfregaõ na escuridade, nota-se huma luz frouxa, que acompanha a fricção: e no acto de esfregar, ou passando a mão mui proxima ao tubo, ouvem-se os estalinhos de tenues faiscas, que parecem ter lugar entre o tubo, e a mão. Quando a parte do corpo, de que o tubo se aproxima, he bastante sensivel, como v. g., a face, sente-se huma sensação particular, análoga ás cocegas, que produz hum corpo mui léve, que ligeiramente corre sôbre a pèlle.

5. Tomêmos agora, em vez das materias indicadas, hum tubo de hum metal qualquer, e ensaiemos com elle o effeito das fricções; não haverá phenomeno algum apparente, nem antes, nem depois dellas.

6. Esta experiencia induzio os primeiros observadôres a suppôr, que sômente certos corpos eraõ susceptiveis de adquirir pela fricção as propriedades electricas; pois tal he o nome, que se deo ás mencionadas propriedades, chamando-se *Electricidade* a causa, a que ellas são devidas; mas que os metaes eraõ completamente incapazes de adquirir pela fricção as ditas propriedades. Veremos em breve, que esta conclusão era erronea, e procuraremos a verdadeira causa da nullidade de effeito das fricções sôbre os metaes, quando as praticâmos da mesma maneira, que sôbre o vidro, as resinas, o succino, &c.

7. Se tomarmos hum tubo de resina, vidro, ou enxôfre *A*, terminado por huma hastea metalica *B*, e esfregarmos este tubo

com hum estôfo de lá, ou huma pèlle de gato, até que atrahia os côrpos léves, e se aos ditos côrpos apresentarmos a extremidade *E*, da hastea metalica, a dita extremidade gozará da mesma propriedade, quer dizer, achar-se-ha electrificada. Se porém a hastea *B*, fôr de vidro, de resina, ou de enxôfre, se fôr hum cordão de seda, ou de lá perfeitamente sêco, nenhum phenomeno electrico se manifestará na extremidade *E*; não obstante o tubo *A*, se electrizar do mesmo modo em hum, e outro caso.

Reflectindo sôbre estas experiencias, se conclue, que o principio electrico, qualquer que seja a sua natureza, se transmite, e se comunica através de certas substancias, como por exemplo, os metaes; e pelo contrario, não pôde transmittir-se através de outras, como v. g., o vidro, o enxôfre, a resina, a seda, &c.

8. Se na época, em que a hastea metalica *BE* possui as propriedades electricas, a tocâmos em hum ponto qualquer, com a mão, ou com outro côrpo, que deíxe transmittir a electricidade, a hastea perderá instantaneamente todas as propriedades electricas. Se porém tocâmos em hum ponto qualquer, hum tubo de vidro, resina, &c., com a mão, ou com outro côrpo capaz de transmittir a electricidade, sómente o ponto tocado perderá as propriedades electricas; conservando-as porém o resto do tubo, ao qual só as roubaremos totalmente, tocando todos os seus elementos superficiaes, e durando hum certo tempo cada contacto.

9. Podemos pois dividir as substancias, relativamente á electricidade, em duas classes; a saber: substancias, não *conductôras*, ou *isolantes*, e substancias *conductôras* da electricidade.

Chamaõ-se côrpos, não conductôres, ou isolantes, aquelles côrpos, através dos quaes a electricidade não pôde transmittir-se, e que não perdem as propriedades electricas pelo contacto instantaneo de hum côrpo, capaz de transmittir a electricidade, e communicando com o sólo.

Chamaõ-se, pelo contrario, côrpos conductôres aquelles, através dos quaes se transmite o principio electrico, e que perdem instantaneamente a electricidade pelo mais léve contacto de hum côrpo, capaz de transmittir aquelle principio, e communicando com o sólo.

Estas definições, que aqui tomâmos absolutamente, não

saõ talvez applicaveis a cõrpo algum da natureza; por quanto, veremos para o diante, que não ha substancia alguma absolutamente isolante, assim como não existe cõrpo algum, que não offerêça resistencia, ainda que frouxa, á transmissãõ da electricidade. O vidro, as resinas, o enxõfre, a lã, e a seda são as materias, que possuem em mais alto grão a propriedade isolante; assim como os metaes, a agoa, tanto liquida, como em vapõr, e as dissoluções salinas, e acidas são eminentemente conductõras. Entre estas substancias existem infinitas outras, que possuem em grão maior, ou menor a propriedade isolante, ou a conductibilidade.

10. Vimos no §. 6, que as primeiras observações, sôbre os efeitos da fricção nas diversas substancias, nos apresentão em humas o desenvolvimento das propriedades electricas, e em outras huma completa nullidade de effeito; e combinando estas experiencias, com as que se lhes seguirão, achámos, que os cõrpos isolantes são aquelles, que sustentados com a mão, e esfregados, se electrisaõ; em quanto os conductõres, nas mesmas circumstancias, não manifestaõ signaes alguns de electricidade: já nos he facil achar a razaõ desta differença.

A mão, que sustenta hum cõrpo, he ella mesma hum cõrpo conductõr, que communica com o sólo, e faz perder a electricidade ao cõrpo conductõr, á medida que a fricção, nelle a desenvolve: por consequencia, hum cõrpo conductõr, não pôde nestas circumstancias dar signaes alguns de electricidade; se porém o cõrpo, que a mão sustenta, he isolante, o contacto da mão em huma parte delle, não pôde despojar de electricidade as demais partes, nas quaes a fricção a desenvolve, e por tanto similhantes cõrpos pôdem por este meio electrizar-se.

Sendo isto assim, se em vez de sustentar com a mão hum cõrpo conductõr, hum tubo de metal, por exemplo, o sustentâmos por hum cabo de vidro, por hum cordão de seda, ou por hum isolador qualquer, e assim isolado, o esfregamos com o estõfo de lã, ou a pèlle de gato, o cõrpo desenvolverá electrizar-se. Com effeito, praticando desta maneira, o tubo de metal adquirirá pela fricção as propriedades de attrahir os cõrpos léves, de lançar faiscas, quando delle aproximarmos outro conductõr, &c. o que nos mostra, que o cõrpo em questaõ, se acha electrizado. Apenas porém tocarmos

com hum conductor em communicação com o sólo, hum semelhante corpo, toda a sua electricidade desaparecerá immediatamente.

11. Se hum corpo sustentado por hum cordão, ou columna isolante, circumstancia, que por abreviar, designaremos pela expressão *corpo isolado*, se electriza, e depois se abandona em humia athmosphera sêca, o corpo conserva-se por muito tempo electrizado: donde resulta, que o ar sêco, que rodêa o corpo, communicando com elle, e com o sólo, he tambem hum corpo isolante, aliás privaria o conductor do principio electrico.

12. A propriedade isolante do ar athmosferico he huma condição, sem a qual, não poderíamos descobrir, nem estudar a electricidade: com effeito, só esta propriedade nos fornece o meio de demorar nos corpos o principio electrico, pelo tempo necessario, para o submeter ás experiencias, que para o diante vão augmentar os nossos conhecimentos neste ramo, e conduzir-nos a huma definição, ou o que he o mesmo, a humia theoria representativa dos principios electricos, capaz de nos dar a razão dos phenomenos observados, e de nos apresentar rigorosamente, com o auxilio da analyse, a sua marcha, a sua successão, e a sua variedade.

13. Se tomarmos huma pequena esfera de materia conductora, v. g., de miôlo de sabugueiro, e a suspendermos por hum fio de seda a huma columna recurvada de vidro *AB*, apresentando á esfera hum tubo de vidro, ou de resina electrizado por fricção, a esfera será attrahida, tocará o tubo, e retirando-se este, ficará ella mesma electrizada, attrahindo os corpos conductores não electrizados, e sendo por elles attrahida, do mesmo modo que o tubo, com que foi tocada: logo, quando hum corpo conductor isolado tóca outro corpo electrizado, toma no contacto, o estado electrico daquelle corpo.

Fig. 2.

14. Se da esfera conductora, assim electrizada por communicação, aproximarmos outra esfera, similhantemente isolada, as esferas attrahir-se-hão, virão ao contacto, e separar-se-hão ambas electrizadas; augmentando porém o número das esferas, que assim reciprocamente se electrizaõ, veremos diminuir successivamente a intensidade, e energia das propriedades electricas, por ellas manifestadas; donde se

vê, que os corpos, que se electrifão por communicação, não geraõ a electricidade; mas repartem sómente entre si a electricidade, que nelles se achava depositada.

He tambem consequencia necessaria deste principio, e facil de verificar por experiencia, que a energia das propriedades electricas de huma esfera conductora, electrificada, he mais consideravelmente diminuida pelo contacto de huma grande, que de huma pequena esfera; e isto tanto mais, quanto he maior a esfera tocante: e finalmente se a grandeza desta se pôde considerar como infinita, relativamente á daquella, as propriedades electricas desapparecem pelo contacto. Assim acontece, quando hum conductor electrificado se põe em contacto com a massa immensa da terra, que por isso se chama o *reservatorio commum da electricidade*.

15. Se nestas experiencias substituíssemos a esfera conductora, huma de materia isolante, o contacto de hum tubo electrificado não lhe communicaria as propriedades electricas, donde se vê, *que os corpos isolantes, não se electrifão por communicação*.

Da existencia de dois principios electricos diversos, dos caractéres, que os distinguem, e da sua desenvolução simultanea pela fricção.

16. Tome-se huma pequena esfera de sabugueiro, pendente de huma columna isolante (§ 13), electrifese pelo contacto de hum tubo de resina, esfregado com hum estôfo de lã: apresentando ao pendulo, assim electrificado, o mesmo tubo esfregado da mesma maneira, a esfera fugirá do tubo, e será como repellida por elle.

Faça-se variar nesta experiencia, a materia do tubo electrificante, e seja este successivamente de vidro, de enxôfre, de metal, sustentado por hum cabo isolante, &c. Esfregando qualquer destes tubos, electrifando com elle a esfera de sabugueiro, e apresentando-o novamente á esfera, observar-se-ha sempre a repulsão.

Em huma mesma columna recurvada de vidro *C*, suspendaõ-se, em vez de hum, dois pendulos semelhantes *a a'*; e toquem-se ambos com o mesmo tubo electrificado, qualquer

Fig. 3.^a

que este seja: depois do contacto as esferas a e a' , repellir-se-hão, tomando os pendulos a direcção divergente Ca'' , Ca''' .

18. Reflectindo sobre as experiencias, que acabámos de descrever, teremos por demonstrado, que dois corpos electrizados da mesma maneira, se repellem entre si. Com effeito, quando tocámos a esfera de sabugueiro com hum tubo electrizado, fica demonstrado (§ 14), que o tubo reparte com a esfera a sua electricidade; e se a esfera sendo, antes do contacto, attrahida pelo tubo, he depois, d'elle repellida; este effeito só pôde ser devido á presença de huma mesma electricidade em ambos os corpos. A divergencia dos pendulos a , e a' (fig. 3.^a), depois de ambos electrizados por hum mesmo tubo, he igualmente huma prova evidente deste principio.

19. A' cerca deste importante phenomeno, offerece-se primeiro que tudo, indagar se a natureza da materia, electrizada por fricção, faz, ou não, variar os resultados da observação. Já vimos (§ 16), que seja qualquer que fôr a materia do corpo electrizado por fricção, tocando com elle o pendulo isolado, e apresentando-o depois ao mesmo pendulo electrizado, ha sempre repulsão. Resta pois sómente indagar, qual será a acção de hum corpo electrizado por fricção, sobre hum pendulo electrizado pelo contacto, não do mesmo; mas de outro qualquer corpo.

20. Electrize-se por communicação, a esfera de hum pendulo isolado, com hum tubo de resina, estregado com hum estôfo de lã, e apresente-se á esfera hum tubo de vidro electrizado por iguaes fricções: a esfera em vez de ser repellida, será attrahida pelo tubo.

Electrisem-se as duas esferas pendentes, e isoladas a , e a' , huma com o tubo de vidro, outra com o de resina; os pendulos desviando-se da vertical, tomarão as direcções convergentes b e a'' , b' e a''' ; logo, haverá attracção entre as esferas a , e a' . Fig 4.^a

21. Destas experiencias se vê, que os principios electricos, que se desenvolvem pela fricção no vidro, e na resina, estregados pela lã, não são identicos; por quanto hum repelle, o que o outro attrahe, e reciprocamente. A fim de distinguir estas duas especies de electricidades, oppostas em alguns dos seus effeitos, chamaremos *electricidade vitrea*, o

principio electrico desenvolvido no vidro pela fricção da lã, e *electricidade resinosa*, o principio electrico desenvolvido nas resinas, esfregadas da mesma maneira. Estas denominações nada pertendem indicar sôbre a natureza íntima dos principios, que designão; mas devemos restringi-las nos limites da definição, que acabamos de dar dellas: o que advertimos para acautelar os nossos leitôres, e especialmente os principiantes, dos erros, a que pôde conduzir o abuso dos termos, quando nelles pertendemos vêr mais, do que a significação rigorosa, e restricta, em que são empregados.

22. Distinguidas assim duas especies de electricidade, e resumindo os resultados das ultimas experiencias, haveremos por demonstrados, os dois principios seguintes, principios fundamentaes no estudo da electricidade.

1.^o *Os corpos electrizados da mesma maneira, isto he, todos vitrea, ou todos resinosamente, repellem-se.*

2.^o *Os corpos electrizados de maneiras diversas, quero dizer, huns vitrea, outros resinosamente, attrahem-se.*

23. Vimos no (§ 10), que todos, e quaesquer corpos adquirem pela fricção a electricidade; porém nem todos tomão a mesma electricidade, sendo esta em huns vitrea, e em outros resinosa. Os principios, que acabámos de expôr, nos dão o meio de reconhecer, qual dos principios electricos toma na fricção qualquer corpo dado. Para esta determinação, procederemos da maneira seguinte.

Tomaremos, ou o pendulo isolado, de que temos fallado, ou, o que he mais commodo, huma agulha de metal, sustentada horisontalmente sôbre huma ponta aguda, e isolada *p*, e perfeitamente movel sôbre a mesma ponta. Electrisaremos a agulha de huma maneira conhecida, *v. g.*, resinosamente, e approximando então de huma das extremidades *a*, ou *b* da agulha, o corpo cuja electricidade queremos determinar; a attracção, ou repulsação sôbre a agulha, nos mostrará a sua natureza. Se, por exemplo, pertendemos determinar a natureza da electricidade, que toma o enxôfre, esfregado com hum estôfo de lã, approximaremos o enxôfre, assim esfregado, da agulha electrizada resinosamente, e vendo, que a agulha he repellida, saberemos, que o principio electrico, cuja natureza procuramos, he resinoso.

Este apparelho, e todos os que para o diante descreveremos, destinados a patentear a electricidade, ou a determi-

nar a sua natureza, tem o nome de *Electroscopios*; postoque em algumas obras se lhes dê impropriamente o de *Electrómetros*.

24. Até agora temos considerado unicamente, hum dos corpos entre os quaes se oppéra a fricção; porém o conhecimento, do que se passa naquella opperação exige, que consideremos tambem o outro corpo, ou corpo esfregante.

Para examinarmos o estado electrico de dois corpos, que reciprocamente se esfregaõ, he essencial, que ambos elles estejaõ isolados; aliás, as suas electricidades perder-se-hiaõ no reservatorio commum. Dois discos de materias diversas, v. g., hum de vidro, e outro de metal, sustentados por cabos isolantes, prestaõ-se mui commodamente a esta experiencia: e esfregando hum pelo outro, os dois discos, e apresentando cada hum delles separadamente ao electroscopio, carregado de huma electricidade conhecida, acharemos, que hum dos discos attrahe, em quanto o outro repelle o electroscopio: logo hum delles toma a electricidade vitrea, e o outro a resinosa.

Esta experiencia póde variar-se de muitos modos. Se, por exemplo, duas pessoas sóbem a bancos de pés isolantes, e huma fere repetidas vezes a outra com huma pelle de gatto, ambas as pessoas se electrisaõ, e apresentando o dedo a hum electroscopio carregado, huma dellas o attrahe, e a outra o repelle: próva de que huma toma a electricidade resinosa, e a outra a electricidade vitrea.

25. Pesando hum corpo no estado natural, e tornando-o a pêsar carregado de electricidade, não se nóta variação alguma no pês do corpo, donde resulta, *que o principio electrico he, assim como o calórico, hum principio imponderavel.*

26. Sendo os principios electricos incoerciveis, e imponderaveis; a fim de comparar as quantidades destes principios, he necessario recorrer a hum dos seus effeitos, e assim como, para medir as quantidades de calórico, nos servimos da sua acção dilatante sobre a materia dos corpos, assim as atracções, e repulsões electricas, nos servirão para medir as quantidades de electricidade.

Como as duas electricidades vitrea, e resinosa tendem a produzir sobre hum mesmo ponto electrizado effeitos oppostos; se duas quantidades de electricidades diversas, obrando da mesma distancia, e em direcções semelhantes, se destrui-

rem reciprocamente no seu effeito, de tal maneira, que o ponto electrizado, sobre que obraõ, não seja attrahido, nem repellido por ellas, diremos, que as duas quantidades de electricidade são iguaes entre si.

Para introduzir nas expressões mathematicas os dois principios electricos, visto que as suas accões são oppostas, deveremos, segundo as regras do calculo, affectar de signaes contrarios ás electricidades de diversa natureza.

Commumente dá-se o signal $+$ á electricidade vitrea, e consequentemente o signal $-$ á electricidade resinosa, donde nasce dar-se tambem as vezes á primeira o nome de electricidade positiva, e o de electricidade negativa á segunda; porém a fim de que estas expressões não possaõ jámais induzir-nos em erro, he preciso ter sempre presente, que os signaes $+$, e $-$ poderiaõ affectar igualmente hum, ou outro principio; pois não ha mais razão para chamar positiva á electricidade vitrea, que á resinosa; o que o calculo exige he tão sómente, que sendo qualquer destas electricidades positiva, a outra necessariamente deverá ser de signal contrario.

27. No acto da fricção, não sómente os corpos entre os quaes ella tem lugar, tomaõ cada hum sua especie de electricidade; mas as quantidades de electricidade, nelles desenvolvidas, são iguaes entre si. Para provar esta asserção, tomem-se os dois discos isolados de §. 24, e depois de os esfregar, hum pelo outro, apresentem-se reunidos a hum pendulo electrizado, ou á agulha do electroscopio, carregada de electricidade, não se manifestará nem attracção, nem repulsão; mas separando os discos, e apresentando-os separadamente ao electroscopio, hum delles o repellirá, e o outro pelo contrario apresentará a attracção. Nesta experiencia, ás electricidades oppostas, que a fricção desenvolve nos discos, obraõ, quando estes se apresentaõ reunidos ao electroscopio, ambas da mesma distancia, e na mesma direcção; se pois o seu effeito he nullo, teremos, representando por A a quantidade de electricidade vitrea, e por R a de electricidade resinosa, e dando signaes contrarios aos principios oppostos

$$+ A - R = 0, \text{ donde se tira } A = R, \text{ isto he:}$$

Quando dois corpos isolados se electrizaõ por fricção reciproca, as electricidades, que adquirem, são iguaes, e oppostas.

Para que as experiencias, de que deduzimos este impor-

tante principio, se passem exactamente como dissemos, he necessario, que os dois corpos, que constituem os discos, sejam isolantes; aliás a electricidade do electroscopio, obrando sobre elles por influencia, da maneira que para odiante explicaremos, tornaria outros os phenomenos.

Observações sobre a producção das propriedades electricas por diversos meios.

28. Se podessemos obter dois discos formados de huma materia rigorosamente a mesma, e em tudo iguaes, e semelhantes, he provavel, que não podessemos, esfregando-os hum pelo outro, obter electricidade; por quanto, devendo necessariamente hum dos dois tomar a electricidade vitrea, outro a resinosa, não haveria razão, que determina-se, qual seria o que tomaria huma, e qual o que tomaria a outra electricidade, e como nada se faz sem huma razão sufficiente, não deverião os discos electrizar-se.

Este caso he porém inteiramente ideal; por quanto não pôde haver dois discos, nem dois pedaços quaesquer de materia rigorosamente identicos: ainda suppondo, que na sua composição chymica possa não existir differença alguma, o estado de polimento das suas superficies (*) não he já mais igual: a temperatura, a que os dois corpos se achão expostos, e mil outras circumstancias, introduzem sempre entre duas massas, que reciprocamente se esfregão, a differença sufficiente para a electrisação.

Observa-se com effeito, que se esfregâmos hum pelo outro, dois corpos os mais semelhantes, v. g., dois discos de vidro talhados da mesma lamina, dois pedaços de metal cortados da mesma barra, dois pedaços de fita separados da mesma peça, a electrisação terá lugar, e hum dos corpos se carregará de principio vitreo; e o outro de principio resinoso.

(*) Huma superficie polida, não he outra coisa mais, do que huma superficie, cujas asperezas, e irregularidades, são assás pequenas para não serem perceptíveis á simples vista; porém não existe superficie alguma de corpo mathematicamente plana.

29. A especie do principio electrico, que hum cõrpo toma na fricção, não depende sómente da sua propria natureza; mas tambem da natureza do cõrpo, com que he esfregado. A resina, esfregada com certos cõrpos, pôde tomar a electricidade vitrea, assim como o vidro pôde, esfregado com outros, tomar a electricidade resinosa. Os cõrpos seguintes tomaõ a electricidade vitrea, esfregados com os que se lhes seguem, e pelo contrario, a electricidade resinosa, com os que os precedem.

- | | | |
|-------------------|------------|---------------------|
| 1. Pelle de gato. | 4. Pennas. | 7. Seda. |
| 2. Vidro polido. | 5. Páo. | 8. Resina lacca. |
| 3. Estôfos de lã. | 6. Papel. | 9. Vidro despolido. |

30. Para que dois cõrpos se electrisesem por fricção, não he condição essencial, o terem o estado solido. Quando hum liquido, correndo ao longo de huma parêde resistente, produz sôbre ella huma fricção, as propriedades electricas são desenvolvidas. A seguinte experiencia vai patentear esta verdade.

Fig. 6.^a Tome-se hum cylindro de vidro *AB*, fechado em *B*, com huma capsula de madeira, e em *A*, com huma virola, e fundo metalico, tendo hum orificio, e canal *AN*, fechado por huma torneira *t*, e susceptivel de atarrachar-se na machina pneumatica. Atarrache-se este aparelho na machina, e enchendo de mercurio a capsula de madeira *B*, faça-se depois o vácuo no interior do cylindro. A pressãõ atmospherica obrando sôbre o mercurio da capsula, o obrigará a filtrar através da madeira, e a derramar-se no interior do tubo, em chuva mui fina, a qual produzindo huma fricção nas parêdes do tubo, as electrizará: o que podemos reconhecer, appresentando ao tubo hum electroscoPIO.

Os gazes podem produzir o mesmo effeito, que os liquidos. Wilson observou, que dirigindo, por meio de hum fólle, huma corrente de ar sêco, sôbre huma vidraça, esta se electriza. Sacudindo no ar hum lenço de seda bem sêco, e appresentando-o depois ao electroscoPIO, observa-se, que o lenço se acha electrizado.

31. Não he porém sómente por meio da fricção, que as propriedades electricas se podem desenvolver nos cõrpos: a natureza possui provavelmente muitos outros meios para desenvolver a electricidade, que ainda são ao homem plenamente

te desconhecidos; porém além destes, conhecemos já hum número consideravel delles.

A compressão de hum côrpo contra outro côrpo, ainda mesmo não sendo acompanhada de fricção, desenvolve a electricidade, e os côrpos, que se comprimem reciprocamente, separão-se carregados de quantidades iguaes de electricidades oppostas. Certos cristaes, v. g., a tormalina, manifestaõ pela acção do calôr as propriedades electricas. A volatilisação de certas substancias, a cristalisação de outras, o simples contacto de materias heterogeneas, desenvolve os principios electricos; finalmente a acção chymica he acompanhada de desenvolvimento de electricidade.

Neste momento só estudaremos a electricidade desenvolvida pela fricção, reservando para o diante o tratar das demais causas, que desenvolvem os principios electricos, e especialmente do contacto; por ser necessario para patentear, e medir aquellas acções, o conhecimento, que por ora não temos, de instrumentos delicados, e de mais amplas noções sôbre a theoria geral da electricidade.

Lei das attracções, e repulsões electricas.

32. Entre todos os Physicos, que se distinguirão por importantes descobertas relativas á electricidade, taes como Franklin, Epinus, e outros, he sem dúvida Coulomb, aquelle a quem este ramo da Physica deve a serie a mais combinada, e a mais seguida de experimentos.

O estudo da electricidade, qual foi feito por Coulomb, e coroado pelos trabalhos theoréticos, e analyticos de Poisson, nos appresenta hum exemplo dos mais completos, do methodo pelo qual convém estudar a Physica experimental, e theorética. Acharemos neste trabalho hum systema de observações, e de experiencias, sempre ordenado, e sempre tendente ao fim proposto: veremos em cada huma das experiencias, a maior delicadeza, e exactidão de processos, e a mais clara, e lucida discussão, na interpretação de cada huma dellas: por esta maneira acharemos demonstradas as leis das attracções, e repulsões electricas, as que determinão a distribuição da electricidade em hum côrpo, ou em hum systema de côrpos conductôres. Finalmente o genio de Poisson, partindo destes dados experimentaes, como em outro tempo

Newton, partira das leis observadas por Kepler, nos apresentará huma theoria tão simples, e tão clara dos phenomenos electricos, que todos elles serão para nós, consequencias necessarias, e calculaveis de hum pequeno número de propriedades invariaveis, que constituem a definição dos principios electricos.

33. Conhecedor dos principios, que ficão demonstrados nos paragrafos antecedentes, Coulomb começou por procurar, segundo que lei as forças attractiva, e repulsiva da electricidade, variaõ com a distancia, e empregou para esta indagação, o instrumento denominado balança de torção, ou balança de Coulomb, que descrevemos na 1.^a Secção deste tractado, quando tratámos da elasticidade.

Para adaptar este instrumento, á medida das atracções, ou repulsões electricas, suspende-se na extremidade inferior do fio huma agulha horisontal de resina lacca, na extremidade da qual se fixa huma pequena esfera de miõlo de sabugueiro: dispondo o instrumento de maneira, que quando o circulo supperior, o qual pelo seu movimento torce o fio, marca zero, a ponta da agulha terminada pela esfera, se dirige sôbre o zero da escala horisontal da caixa. Na face supperior da caixa da balança, e por cima do zero da escala, ha huma abertura, pela qual se introduz outra esfera de miõlo de sabugueiro, que suspensa por hum cabo isolante, vem pôr-se em contacto com a primeira.

Se então, por hum meio qualquer, se electrisaõ as esferas, a repulsaõ manifestar-se-ha, e a esfera móvel affastar-se-ha da fixa, até que a força de torção, que o seu desvio produzir no fio, faça equilibrio á força repulsiva; e a força de torção, neste caso, será dada pelo grão da escala da caixa, a que corresponder a agulha; visto que as forças de torção são proporcionaes aos angulos da mesma. (Secção 1.^a §. 176).

Volte-se então o micrómetro supperior, torcendo o fio, para obrigar a esfera móvel a retroceder até huma distancia da esfera fixa igual a metade da primeira, e lêa-se então sôbre o micrómetro, de quanto se torção o fio: juntando a esta torção, a distancia angular das duas esferas, teremos o valor da torção, que faz neste caso, equilibrio á repulsaõ, e por conseguinte, o valor da força repulsiva. Comparando por este meio as distancias, e as forças repulsivas, que lhes

correspondem, poderemos investigar a lei, segundo a qual estas forças variaõ com a distancia. Passemos aos resultados obtidos por Coulomb, por meio deste engenhoso, e rigoroso processo.

34. Depois de haver collocado as esferas em contacto no zero de torçaõ, Colomb as electrizou, tocando-as com a cabeça de hum alfinete, envolto em hum cabo de resina laca, e electrizado de antemaõ: e tanto, que as electrizou, a esfera movel sendo repellida, parou depois de algumas oscilações, em huma distancia de 36° da esfera fixa. Chamando I esta distancia, teremos

Distancia das esferas . . I Força repulsiva . . 36.

Voltou entaõ Coulomb o micrómetro supperiõr, até que a distancia das esferas fõsse de 18° , e achou, que o micrómetro tinha voltado 126, os quaes juntos a 18° , distancia entre as esferas, daõ para valõr da torçaõ

$$126^\circ + 18^\circ = 144^\circ,$$

logo teremos

Distancia entre as esferas . . . $\frac{1}{2}$. Força repulsiva . . . 144.

Reduzio ainda Coulomb a distancia a $8^\circ \frac{1}{2}$, e para isto voltou o micrómetro 567° , que juntos aos $8^\circ \frac{1}{2}$, distancia das esferas, daõ para valõr da torçaõ $575 \frac{1}{2}$: logo teremos proximamente

Distancia entre as esferas . . . $\frac{1}{4}$. Força repulsiva . . $575 \frac{1}{2}$.

Resumindo estas tres observações, achâmos

Distancias entre si, como	I	„	$\frac{1}{2}$	„	$\frac{1}{4}$
Forças repulsivas correspondentes	36	„	144	„	575
Proximamente, como os números	I	„	4	„	16

Destas observações, repetidas sôbre ambos os principios electricos, concluiremos com Coulomb, que:

As repulsões electricas variaõ, na razãõ reciproca dos quadrados das distancias.

35. Determinada a lei, segundo a qual as repulsões electricas varião com a distancia, applicou-se Coulomb a achar a lei, segundo a qual, com as mesmas distancias, varião as attracções. Para este fim, fazendo girar o micrómetro superior, collocou a esfera movel da agulha a huma distancia angular a da esfera fixa, e electrizou as duas esferas de principios oppostos. Em virtude da attracção, a esfera movel fixou-se, depois de algumas oscillações, em huma distancia a' da esfera fixa; então o angulo $a - a'$, sendo a medida da torção, que equilibra a força attractiva, será o valôr desta força na distancia $a - a'$; fazendo por meio do micrómetro variar a distancia entre as esferas, até que seja dupla, quadrupla, &c. acharemos, que as torções correspondentes, isto he, as forças attractivas, que estas torções representam, se tornaraõ $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{16}$, &c. da força attractiva primitiva: logo teremos aqui, como nas repulsões, a lei seguinte.

As attracções electricas, são reciprocas aos quadrados das distancias.

36. Não devemos omitir, que para que a observação da lei das attracções electricas, possa fazer-se pela maneira indicada, he indispensavel, que a carga electrica das esferas seja mui fraca; aliás, crescendo a attracção mui rapidamente, com a diminuição da distancia, a resistencia da torção, que cresce menos acceleradamente, se tornaria inferior á força attractiva, e desde então, as esferas precipitar-se-hiaõ huma sobre a outra, e a experiencia não poderia ter lugar.

O simples raciocinio exposto faz vêr esta verdade; porém o calculo seguinte a demonstra com todo o rigor. Chamemos F a força attractiva das esferas, na distancia 1, força, que pôde ter valores quaesquer, cada vez maiores, augmentando-se a carga das esferas: como as attracções electricas são reciprocas aos quadrados das distancias, a força attractiva das esferas na distancia a , será

$$F$$

$$a^2$$

Chamemos δ a distancia entre as esferas, antes de electricadas, distancia determinada pelo zero de torção, na posição, que demos inicialmente ao micrómetro superior. O angulo de torção do fio, quando as esferas se acharem na dis-

tancia a , será $\delta - a$; e por consequente, como as forças de torção são proporcionaes aos angulos da mesma, a força de torção neste caso, será $m(\delta - a)$, sendo m hum coe-ficiente constante, dependente do comprimento, e grossura do fio da balança, e do comprimento da agulha. Para que haja equilibrio, he necessario, que a força de torção do fio na distancia a , seja igual á attracção electrica das esferas, na mesma distancia; condição, que nos dá a equação

$$\frac{F}{a^2} = m(\delta - a), \text{ donde se tira } F = m(\delta - a)a^2.$$

Ora como F , póde tomar todos, e quaesquer valôres, variando a carga das esferas; para que o equilibrio possa sempre ter lugar, he necessario, que o segundo membro possa tambem tomar valores quaesquer, e como este membro encerra a unica variavel a , he preciso, que crescendo a , cresça tambem este segundo membro. Mas se neste segundo membro, fizermos $a = 0$, e $a = \delta$, em ambos os casos o reduziremos a zero: logo este segundo membro tem hum *maximo*, e por consequencia além de huma certa carga electrica, que produza hum F igual a esse maximo, o equilibrio não he possivel, e a experiencia não póde fazer-se.

Para achar este maximo, diferenciaremos o segundo membro $m(\delta - a)a^2$, em que sómente a he variavel, e teremos

$$\text{diff. } (m(\delta - a)a^2) = 2ada m(\delta - a) - m^2 a^2 da;$$

dividindo por da , e igualando a zero, vem

$$2am(\delta - a) - ma^2 = 0,$$

dividindo por ma , vem finalmente

$$2\delta - 2a - a = 0, \text{ donde se tira } a = \frac{2}{3}\delta;$$

e por consequente o maximo valor de F , que admite a experiencia, será

$$F = \frac{4}{9} m(\delta - \frac{2}{3}\delta)\delta^2 = \frac{4}{27} m\delta^3 \quad \text{--- (a)}$$

37. Na practica, a fim de evitar, que as esferas no acto de as electrismos, se precipitem huma sobre a outra, o que teria forçosamente lugar, logo que a força attractiva excedesse o limite indicado na expressão (a), pega-se com

hum pouca de cêra, ás faces supperior, e inferiôr da caixa, hum fio de retroz, que ficando situado verticalmente entre a agulha, e a esfera fixa, impede a reuniaõ das esferas, e permite voltar o micrómetro supperior, até que δ seja assás consideravel, para que a torçaõ possa equilibrar a attracçaõ.

38. As attracções, e repulsões electricas, naõ variaõ sómente em consequencia da variaçaõ de distancia; porém tambem variaõ, variando a carga electrica dos corpos, isto he, a quantidade de electricidade livre, nelles existente. Para achar a lei desta variaçaõ, Coulomb opperou da maneira seguinte.

Electrisou da maneira indicada acima, as duas esferas, fixa, e movel da balança, e notou a torçaõ, a que a repulsaõ fazia equilibrio: para reduzir agora á metade a carga da esfera fixa, reflectio Coulomb, que se tocamos esta esfera, com outra esfera conductora, isolada, em tudo igual, e semelhante á primeira, a simples razao de simetria basta para fazer vêr, que a carga electrica se dividirá igualmente por ambas: e assim, retirando a segunda, a carga da primeira ficará reduzida a metade, do que antes era. Tocando pois a esfera fixa da balança, com hum a esfera igual, e semelhante, e retirando a esfera tocante, Coulomb reduzio a metade, a carga da esfera fixa; em consequencia do que, as esferas aproximáraõ-se. Destorcendo o fio com o micrometro supperior, chamou Coulomb a esfera movel á mesma distancia inicial, e achou, que a torçaõ, que neste caso equilibrava a repulsaõ, era metade da torçaõ primitiva. Reduzindo a carga successivamente a $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{8}$, &c., e praticando sempre do modo indicado, achou, que as torções, se tornavaõ $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{8}$ &c.

Praticando para as atracções da mesma maneira, que para as repulsões, achou este observador, que a cargas, entre si, como 1, $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{8}$, &c., correspondiaõ forças attractivas, como 1, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{16}$, $\frac{1}{64}$, &c., e por tanto houve por provado o principio seguinte:

As atracções, e repulsões electricas, saõ proporcionaes ás cargas electricas, existentes nos corpos.

39. Reunindo este ultimo resultado com os achados §§. 34, e 35, temos a seguinte lei fundamental, cuja descuberta, he devida aos trabalhos do observadôr citado.

Lei.

As atrações, e repulsões electricas, são proporcionaes ás cargas electricas, e reciprocas aos quadrados das distancias.

40. Em todas as experiencias, nas quaes temos usado da balança de Coulomb, he facil vêr, que temos tomado os arcos comprehendidos entre as esferas, como medida das distancias entre ellas, que rigorosamente são iguaes, não aos arcos; mas ás suas cordas: e que por outra parte não tive-mos attenção com a obliquidade maior, ou menor da acção electrica nas diversas distancias; porém Coulomb encerrou-se sempre em taes limites de distancia, que o erro, resultante destas supposições, era sempre inferior á exactidão requerida pelas experiencias, como será facil vêr, com toda a evidencia, áquelles que applicarem hum calculo simplicissimo ás observações de Coulomb, com o intuito de achar a valôr daquelle erro.

Da dissipação da electricidade nos corpos isolados.

41. Se o ar athmosférico fôsse hum côrpo rigorosamente isolante, e se na natureza existissem materias solidas, que possuissem huma absoluta inconductibilidade; hum conductor sustentado por huma columna de semelhantes materias, e abandonado no ar, conservaria indefinidamente o estado electrico, que se lhe houvesse huma vez communicado; porém, a in-conductibilidade absoluta, sendo puramente ideal, todos os dias se observa, que a electricidade communicada aos conductôres isolados se perde, e se dissipa em mais, ou menos tempo.

Antes de entrarmos na indagação da lei, segundo a qual os corpos electricados perdem pouco, e pouco a sua carga electrica, he necessario reflectir, que além da inconductibilidade imperfeita, dos melhores isoladores naturaes, varias causas inevitaveis contribuem para a dissipação da electricidade accumulada nos conductores. Se a athmosféra fôsse formada de ar sêco, as pèrdas de electricidade por meio do ar seriaõ inapreciaveis; mas como a athmosféra contém sempre huma certa quantidade de vapôr aquoso, e que este, como sabemos, he hum bom conductor da electricidade, a mesma ath-

mostéira dá passagem a huma quantidade menor, ou maior de principio electrico, conforme se acha menos, ou mais carregada da vapor de agoa. Assim tambem, he de observação diaria, que os conductores electrizados perdem com muito mais promptidão, a carga electrica em dias humidos, do que em dias sêcos.

Por outra parte, vimos na Hygrometria, que na superficie de todos os corpos, se condensa huma certa quantidade do vapôr aquoso da athmosfera, e esta quantidade he tanto maior, quanto a athmosfera he mais humida. Este strato aquoso forma hum envolvero conductor, em torno da columna isolante, e acceléra, por consequente, a dissipação da electricidade. A acção destas causas he tão forte, quando a athmosfera abunda em vapôr aquoso, que nos dias humidos, he impossivel carregar de electricidade os conductores, ainda servindo-nos dos apparatus os mais energicos, e poderosos para desenvolver os principios electricos, sem empregarmos a acção do calôr, para dissipar este excesso de humidade; pelo contrario, nos dias sêcos, e frios, isto he, naquelles, em que a athmosfera contém o minimo de vapôr aquoso, os conductores conservaõ por hum tempo consideravel o estado electrico, que lhes foi communicado, sem alteração sensivel.

42. Como todas as experiencias, que podemos fazer sobre a electricidade, devem necessariamente durar hum certo tempo, e que em virtude das causas ponderadas, o estado electrico dos corpos submettidos ás experiencias, varia nesse tempo; he essencial conhecer a lei, segundo a qual se perde a electricidade, a fim de podermos, por meio desta lei, corrigir as experiencias do effeito da dissipação, e reduzir os phenomenos observados, ao que seriaõ, se podesse existir huma isolação perfeita. Hum observador exacto, e calculista, qual foi Coulomb, não podia por tanto dar hum passo, sem procurar investigar esta lei, e com effeito devemos o conhecimento della ás suas delicadas, e methodicas observações.

43. Acabámos de vêr, que as causas de dissipação da electricidade são duas: a saber, a conductibilidade do ar humido, e a dos isoladores imperfeitos. Procuraremos com Coulomb, determinar o effeito, que pertence a cada huma destas causas.

Para conhecer a perda de electricidade, que hum corpo soffre por qualquer destas duas causas n'hum intervalo t de

tempo, he necessario conhecer o estado electrico do côrpo no principio, e no fim do tempo t ; e he forçoso, além disto, submeter o côrpo, sômente aquella das causas, cujo effeito pertendemos medir, illiminando a acção da outra. Coulomb commegou por determinar a parte da perda, proveniente da acção do ar humido, e para este fim, aniquilou a perda pelos isoladores, dando a estes tão pequena grossura, e tanto comprimento, que o côrpo experimenta-se a mesma perda de electricidade, communicando ao sólo, por hum, ou por muitos isoladores destas dimensões. (*) A experiencia mostrou a Coulomb, que de todos os côrpos a resina laca pura, he o isolador o mais perfeito, e que hum cylindro desta resina de $\frac{1}{2}$ linha de diametro, e de 18 a 20 linhas de comprimento, isóla completamente huma esfera de miôlo de sabugueiro, de 5 a 6 linhas de diametro, todas as vezes, que a carga electrica, não he demasiado forte.

44. Suspendendo pois na sua balança duas esferas de miôlo de sabugueiro, assim isoladas, e observando o enfraquecimento successivo da repulsão, que sabemos ser proporcional á carga electrica; Coulomb pôde observar a marcha da dissipação da electricidade, pela influencia do ar humido, e comparando os resultados de muitas observações achou, que a lei desta dissipação era a mesma, que Newton achára para a deperdição do calórico por irradiação (Secção 2.^a §. 61, e seguintes), a qual lei consiste, em serem as perdas de electricidade em cada instante t proporçionaes á carga electrica no mesmo instante.

(*) Com effeito, representemos por P a perda de electricidade pela acção do ar humido, em cada segundo de tempo, e por p , a perda no mesmo tempo por cada hum dos isoladores: a perda no fim do tempo t , quando o côrpo communicar com o sólo por hum só isoladôr, será $(P + p)t$, e quando communicar com o sólo por m , isoladôres, será $(P + mp)t$, mas temos por hypothese, as perdas iguaes nos dois casos, logo

$$(P + p)t = (P + mp)t,$$

ou

$$p = mp;$$

expressão absurda, todas as vezes, que não fôr, ou m igual á unidade, ou p igual a zero, isto he, a perda por cada hum dos isoladôres insensivel.

Se por tanto, representarmos por E a carga electrica no comêço de huma observação, por $E_1, E_2, E_3, \&c. E_n$, as cargas electricas nos tempos $T_1, T_2, T_3, \&c. T_n$, e por a hum coefficiente dependente do estado da atmosphêra, no momento da observação, finalmente sendo M o módulo das taboas de Logarithmos; empregando hum calculo similhante ao da 2.^a Secção (§. 63), acharemos para huma época qualquer t , contada do comêço da observação

$$t = \frac{M}{a} (\text{Log. } E - \text{Log. } E_n),$$

e acharemos do mesmo modo

$$\text{Log. } E_n = \text{Log. } E - \frac{a}{M} t$$

As fórmulas, que determinando a por experiencia em cada observação, nos permitem calcular, qual será a carga em huma época qualquer, sendo dada a carga inicial; e do mesmo modo, sendo dada a carga inicial, e aquella que tem lugar na época t , achar esta época, contada da origem da observação.

45. Depois de poder pela lei exposta achar o valor da dissipação de electricidade pelo ar, quando os isoladores são sensivelmente perfectos, substituo Coulomb a estes isoladores outros, que não isolassem perfeitamente: e da comparação das perdas effectivas nestes casos, com as que deverião observar-se, no caso da isolação perfeita, concluo as proposições seguintes.

1.^a Todas as vezes, que a carga electrica he consideravel, a perda pelos isoladores augmenta mui consideravelmente a perda pelo ar; porém quando a carga electrica he fraca, a dissipação de electricidade, pelos isoladores, he sensivelmente nulla, na duração ordinaria das experiencias.

2.^a A propriedade isolante dos isoladores, cresce de tal maneira com o comprimento delles, que para isolar com perfeição igual cargas electricas diversas, devem os comprimentos ser entre si, como os quadrados das cargas. Se pois huma columna de lacar do comprimento C , isola huma esfera, cuja carga electrica he E ; para isolar igualmente a mesma esfera, quando a sua carga fôr E' , deverá o comprimento da columna ser

$$C' = \frac{E'^2 C}{E^2}$$

Taes são as leis, segundo as quaes se faz a dissipação da electricidade nos conductores isolados: leis estas, que he necessario conhecer, para poder progredir no estudo dos phenomenos electricos, e na investigação da theoria do agente a que são devidos.

Residencia da electricidade junto da superficie dos conductores, onde he contida pela pressão atmosphérica.

46. Agora que sabemos medir a intensidade das cargas electricas por meio das repulsões, independentemente das perdas successivas da electricidade, tanto pelo ar humido, como pelos isoladores imperfeitos, temos o meio de continuar o estudo da electricidade, de huma maneira regular, e methodica. Até Coulomb, a quem devemos esta marcha rigorosa, e verdadeiramente scientifica, os phenomenos electricos tinham sido observados; mas não medidos: e era por conseguinte impossivel investigar a verdadeira theoria, a qual só pôde ser dada pelo calculo, e estabelecido no exame rigoroso, e na comparação, e medida das forças, que originão os phenomenos. As observações dos phenomenos naturaes, são pouco mais, que deleites, e curiosidades, quando não são comparadas, e medidas com rigor: quando não são submettidas, quanto ellas o permitem, as severas provas da analyse; mas só estes caracteres, só estas condições lhes grangêão o nome de sciencia, só ellas podem conduzir-nos, quanto o permite a escacez dos humanos conhecimentos, a penetrar na causa, na ordem, e na marcha dos phenomenos; e esta a razão, pela qual na nossa obra não desprezaremos a verificação analytica, sempre que o podémos fazer, sem sahir dos conhecimentos, suppostos nos nossos leitores. Este methodo poderá desagradar ao leitor frivolo; porém esta obra he destinada ao homem, que busca a instrução; e esta classe de leitores reconhecerão necessariamente a necessidade do referido methodo, e talvez se queixem do muito, que suprimimos nesta parte, movidos pelo desejo de ser resumidos, e breves.

47. Se huma esfera conductora isolada, e carregada com huma quantidade *A* de electricidade, se toca com outra esfera também isolada, em tudo igual, e semelhante á primeira;

a carga electrica (como já fica estabelecido, § 38), dividir-se ha de maneira, que cada huma das esferas, depois do contacto, terá a carga $\frac{1}{2} A$: se nesta experiencia, fizermos variar a materia das esferas tocante, e tocada, em quanto subsistir a igualdade de diametros, e por tanto a de superficies, ou as esferas sejaõ da mesma, ou de diversa natureza, ou sejaõ desta, ou daquella materia conductora, a carga de cada huma dellas, depois do contacto, será sempre igual, como no primeiro caso, a $\frac{1}{2} A$.

Esta experiencia nos mostra, que a natureza chymica da materia dos côrpos, com tanto que estes sejaõ conductores, nenhuma influencia tem sôbre a distribuiçãõ da electricidade; ou a sua repartiçãõ entre elles. Logo a electricidade residente nos conductores, não adhere a elles, em virtude de acçãõ dependente da natureza particular da sua materia; acçãõ que para o diante chamaremos *affinidade*.

48. Se na experiencia antecedente, huma das esferas fór maciça, outra ouca, ou cheia de huma materia qualquer, não conductora, na qual a electricidade não possa espalhar-se, como por exemplo, de resina coberta com huma folha de dourar; com tanto, que as dimenções das duas esferas sejaõ ainda as mesmas, as cargas de cada huma, depois do contacto, serão tambem ainda $\frac{1}{2} A$.

Esta experiencia, se não demonstra completamente, faz ao menos mui provavel a idéa, de que a electricidade, existente em hum conductôr, não reside no interiôr da sua massa; porém distribue-se taõ sómente no strato superficial do côrpo.

49. Esta induçãõ he taõ importante, que merece ser posta fóra de toda a duvida, e completamente demonstrada. As seguintes experiencias, a porãõ em plena evidencia.

1.^a *Experiencia*. Tome-se huma esfera de metal, e cavem-se nella pequenas aberturas de huma certa profundidade, isole-se, e electrise-se a esfera. Tome-se hum pequeno disco de ouropel, sustentado por hum cabo delgado de goma laca, ou hum alfinête, cuja cabeça sómente sahia fóra do referido cabo. Toque-se com o alfinête a superficie exterior da esfera, e apresentando este ao electroscopio, achar-se-ha electrizado; prive-se o alfinête desta electricidade, e toque-se com elle, o interior de huma das cavidades, appresentando-o depois ao electroscopio, não se achará carregado de electricidade;

de: logo a electricidade só reside na superficie, e não no interiôr da esfera.

2.^a *Experiencia.* Tome-se a esfera ouca *A*, na qual haja huma abertura *B*, que permita penetrar no seu interior; por esta abertura introduza-se hum côpo electrizado, v. g., hum tubo de resina, ou de vidro esfregado, e tocando a superficie interna da esfera, electrise-se aquella superficie. Tome-se então o disco de ourovel, ou alfinête, isolados, e toque-se com elle a superficie interior, appresentando-o ao electrosco- pio, achar-se-há o disco, ou alfinête, no estado natural; to- cando porém a superficie exterior da esfera, e appresentando o disco, ou alfinête ao electrosco- pio, achar-se-há electrizado. Fig. 7.^a

Esta experiencia nos mostra, que a electricidade, posto que inicialmente communicada ao interior dos conductores, vem immediatamente refugiar-se na superficie dos referidos côpos: e como por mais delgada, que seja a parê- de da esfera, sempre o phenomeno se passará, como fica in- dicado: concluiremos pois, que o strato, que a electricidade fórma, junto da superficie externa de hum conductor esferi- co, he sensivelmente menos espêço, que a menor espeçura, que podemos dar a huma lamina de qualquer materia.

50. Porém se a electricidade (como acabámos de vêr); vem refugiar-se na superficie dos conductores, sem que fique parte alguma sensivel do principio electrico no interior del- les: e se para fixarmos as idéas, e melhor podermos repre- sentar os phenomenos, concebermos os principios electricos, como aggrégados de mollículas tenuissimas, completamente móveis; esta observação nos mostrará, que aquellas mollécu- las, se repellem reciprocamente; e que em virtude desta ac- ção repulsiva, he que vem collocar-se por aquella maneira, nas maiores distancias possiveis, isto he, junto das superfi- cies dos côpos.

51. Sendo a repulsão reciproca das molleculas dos princi- pios electricos, quem determina a sua reuniaão junto da su- perficie dos côpos, he preciso conhecer, que força mantem ali aquelles principios, e faz com que a repulsão reciproca, cessando ali de ter effeito, não disperse indefinidamente a electricidade.

52. Tendo visto (§. 47), que a materia dos conductores não exerce acção alguma chymica, sobre os principios elec- tricicos, mas que a distribuiação destes he a mesma, qualquer

que seja a materia conductora, de que o corpo he formado; a primeira causa, que se nos apresenta, como podendo reter a electricidade na superficie dos conductores, he a impermeabilidade do ar para os principios electricos. As molleculas daquelles principios, movendo-se livremente no interior do conductor, obedecem á repulsaõ reciproca, e ganhaõ a maior distancia possivel no interior d'elle, vindo situar-se na sua superficie; mas achando esta superficie cercada de hum envolucro, que não pôdem penetrar, a resistencia deste, equilibra a força de repulsaõ, e a electricidade pára na superficie dos corpos conductores, exercendo contra o ar huma repulsaõ maior, ou menor, determinada pela intensidade da carga, e como para o diante veremos, pela figura do corpo, e outras circumstancias, que desenvolveremos em seu lugar.

53. Deste modo de considerar o phenomeno, resultaõ duas consequencias, que sendo ambas verificadas pela experiencia, nos mostraõ a verdade do principio, donde dimãnaõ. A primeira he, que se em torno de hum conductor isolado se fizer o vácuo, ou se sómente se tirar o ar de cima de hum ponto qualquer d'elle, o conductor não poderá reter a electricidade. A segunda he, que se em vez de cercar hum conductor electrificado de ar, ou qualquer outro envolucro impermeavel aos principios electricos, o cercarmos de hum envolucro conductor, a electricidade abandonará o corpo, e virá refugiar-se na superficie exterior do envolucro, até que a retenha hum envolucro impermeavel. Estas consequencias saõ, segundo disse, ambas verificadas pela experiencia: com effeito, se communicamos por qualquer ponto, hum conductor, com o vácuo da machina pneumática, jámais poderemos accumular nelle a electricidade; porém fazendo a experiencia na escuridade, veremos huma luz frouxa, e como phosphorica, exhalar-se do corpo pelo espaço vazio, á medida que nelle se introduz a electricidade.

Tomemos huma esfera isolada A , e dois hemisferios ou côs EE' , isolados por dois cabos C e C' , e capazes de envolver completa, e exactamente a esfera, tocando a sua superficie. Electrisemos a esfera A , e envolvendo-a depois com os hemisferios, e retirando estes, sempre isolados pelos cabos C e C' , acharemos a esfera A no estado natural, e os hemisferios E e E' , carregados da electricidade da esfera. Mas se pelo contrario, envolvermos a esfera no estado natural,

Fig. 8.^a

com os hemisferios carregados préviamente de electricidade, a esfera ficará no estado natural, sem alterar em nada o estado electrico dos hemisferios.

54. Sendo pois, como fica provado, o ar, quem retem a electricidade nos conductores, podemos considerar hum conductor qualquer, em relação aos principios electricos, como hum espaço, ou vaso vazio, no qual aquelles principios pôdem mover-se com toda a liberdade, segundo as leis do seu equilibrio, sendo este espaço terminado por huma parêde resistente, que he o ar atmosphérico, contra a qual a electricidade exerce huma pressão. Desté modo de vêr, que não he outra cousa mais, que a fiel representação, do que temos observado, resulta: que a accumulacão de electricidade em qualquer conductor isolado, cercado pela athmosfera, não pôde ser indefinida; mas reconhecerá hum limite, que he o da resistencia, que o ar pôde oppôr á pressão, ou á acção repulsiva dos principios electricos, isto he, que o limite será dado pela pressão atmosphérica. Com effeito, em quanto a carga electrica fôr tal, que a acção da electricidade contra o ar, fôr inferior em todos os pontos do conductor, á pressão atmosphérica, o conductor poderá conservar a electricidade; mas logo que a força, que a electricidade exerce contra o ar, fôr superior á pressão da athmosfera, a electricidade levantará a columna de ar, que a comprime, e rompendo através da athmosfera, progetar-se-ha sôbre os objectos circumvisinhos: este phenomeno chama-se *explosão*, ou *descarga electrica*. Este phenomeno pôde ser comparado á perda de hum liquido, pela ruptura das parêdes do vaso, que o encerra, quando a resistencia destas se torna inferior á pressão, que o liquido exerce de dentro para fóra do vaso.

55. Observando huma explosão electrica, acha-se, que o corpo de que parte a explosão, fica depois della, no estado natural; quando á primeira vista parece, que sómente deveria perder o excêssu da sua carga, sôbre aquella, que podia ser nelle retida, pela pressão da athmosfera; porém este phenomeno he huma consequencia da enorme, e por assim dizer, da infinita velocidade, com que os principios electricos se movem. Com effeito, a primeira porção de fluido, tendo levantado, e rompido a athmosfera, no ponto em que se faz a explosão, toda a electricidade segue aquella primeira parte, e deixa o corpo, antes que o ar tenha tempo de

fechar o canal aberto na athmosfera, pela passagem da primeira porção da descarga: a partida da descarga de hum ponto, determina pois hum verdadeiro vácuo sobre aquelle ponto, pelo qual se perde completamente a electricidade. Para que tal seja a descarga, he necessario, que se faça de hum conductor, para outro infinitamente maior, como por exemplo, para o reservatorio commum; a fim de que a quantidade de principio electrico, que entra no novo corpo, derramando-se por huma superficie infinitamente maior, fique sensivelmente privada da repulsão.

56. De exercer a electricidade accumulada em hum conductor, huma pressão contra a athmosfera, segue-se, que hum corpo electrizado, he por esta menos comprimido, do que hum corpo no estado natural; e se as pressões da electricidade contra a athmosfera, fôrem diversas, nos diversos pontos, a differença de pressões poderá imprimir hum movimento aos conductores electrizados, quando estes tiverem a liberdade de obedecer-lhe; e com effeito adiante veremos, que tal he a verdadeira causa das attracções, e repulsões apparentes, dos corpos electrizados, entre si.

Da influencia da figura dos conductores, sobre a distribuição da electricidade junto das suas superficies.

57. Sabemos pelas experiencias, que acabámos de fazer, que a natureza da materia dos conductores, não tem influencia alguma sobre a distribuição da electricidade, que he nelles unicamente contida pela resistencia do ar, que os rodeia, e que a electricidade exerce em cada ponto da superficie do conductor, huma pressão contra a athmosfera, tanto mais consideravel, quanto he mais intensa a carga electrica, no ponto que considerámos. Procuraremos agora conhecer a influencia da figura dos corpos conductores, sobre o modo por que nelles se distribue a electricidade.

58. Continuando, para melhor representarmos os phenomenos, a considerar os principios electricos, como compostos de molléculas infinitamente pequenas, e perfeitamente móveis; quando em hum conductor accumulámos quantidades successivas de electricidade, podemos suppôr, que a densida-

de do principio electrico se augmenta, ou que o strato electrico, que se fórma junto da superficie do conductor, cresce em profundidade: este segundo modo de considerar o phenomeno, he mais simples; e para o diante veremos, que se presta ao calculo, com grande facilidade.

59. Isto posto, se considerarmos huma esfera conductora isolada, e carregada de electricidade; a simples razão de symetria, isto he, a situação igual, e em tudo semelhante dos diversos pontos de huma mesma esfera, basta para indicar, que a espessura do strato electrico, deverá ser a mesma em toda a parte, ou o que he o mesmo, que a intensidade da carga, ou a repulsão, que esta exerce contra o ar atmosphérico, será a mesma, e rigorosamente igual, em todos os pontos da esfera. Devemos a Coulomb o meio de verificar experimentalmente esta distribuição, e de achar em geral, a relação entre as cargas electricas, nos diversos pontos da superficie de hum côrpo.

60. Consiste este methodo, em isolar o côrpo conductor, no qual se pertende estudar a distribuição da electricidade, e communicar-lhe huma carga electrica. Feito isto, toca-se hum ponto do côrpo com hum pequeno disco de ouro, isolado por hum fio de gomma laca: o disco, confundindo-se com hum elemento superficial do côrpo, toma huma carga electrica proporcional á daquelle ponto, e levando o disco á balança, cuja agulha se acha terminada por hum semelhante disco, electrizado da mesma natureza, que o côrpo, nota-se, e mede-se a repulsão em huma distancia fixa, a qual he, como sabemos, proporcional á carga electrica, e por conseguinte a medida della. Isto feito, toca-se o disco para lhe tirar a electricidade, e toca-se com elle outro ponto do côrpo, ensaiando do mesmo modo na balança, teremos pelo valor da repulsão, o valor da carga electrica neste segundo ponto, e continuando similhantemente, teremos os valores das cargas nos diversos pontos de hum côrpo de figura qualquer.

Este methodo, qual o temos descripto, suppõe que se não perde electricidade, no decurso de todas as operações; porém podemos sempre pelo calculo reduzir-nos, ao que teriamos nesta hypothese (§§ 41, e seguintes); que aliás, já mais se verifica rigorosamente.

Usando deste methodo, Coulomb determinou a disposiç

ção da electricidade em hum certo numero de figuras, e achou, que esta dependia absolutamente da figura dos conductores. A theoria nos dará, para o diante, o meio de deduzir pelo calculo o mesmo, que Coulomb achou pela experiencia. Daremos entretanto hum exemplo da distribuição da electricidade, determinada por Coulomb.

Experiencia. Isolou Coulomb huma lamina de aço de 11 pollegadas de comprido, 1 pollegada de largo, e $\frac{1}{2}$ linha de espessura, o plano, ou disco de ouropel tinha 1 pollegada de comprido, e 3 linhas de largura. Applicando o plano no meio da lamina, e depois a 1 pollegada de distancia da extremidade, obteve os seguintes resultados, feitas as correções:

Toque no meio da lamina - - - torção correspond.te	348°,3
Toque a 1 polleg. ^a da extremid.e - torção correspond.te	417,5

Relação entre as torções, ou as intensidades electricas nestes pontos - - - - - :: 1 : 1,2

Passou depois Coulomb, a fazer o toque no meio da lamina, e depois na extremidade; mas ficando o plano de prova todo sôbre a face da lamina, e achou o seguinte:

Toque no meio da lamina - - torção correspondente	190
Toque na extremidade - - - - torção correspondente	385

Relação entre as torções, ou intensidades electricas nos dois pontos - - - - - :: 1 : 2,02

Terminou Coulomb, tocando a lamina com o plano na extremidade della; mas tocando, não a face lateral; porém a espessura da lamina na extremidade, e achou o seguinte resultado:

Toque no meio da lamina - - - - - torção	290°
Toque no gume estremo - - - - - torção	1165°,5

Relação das torções, ou intensidades electricas :: 1 : 4,01

Relação dupla da experiencia antecedente.

Esta experiencia, repetida sôbre laminas diversas; ensinou a Coulomb, que o disco applicado sôbre huma das fa-

ces da lamina, participa sómente da electricidade daquella face, e que qualquer que seja o comprimento da lamina, logo que toque huma certa extensão, a intensidade electrica he quasi constante em toda ella; mas começa a crescer rapidamente junto das extremidades, e finalmente na extremidade, a intensidade electrica he dupla, da que tem lugar no meio da lamina.

61. A experiencia mostrou a Coulomb, que esta disposição electrica, uniforme na maior parte do comprimento, e crescendo rapidamente nas extremidades, não he particular ás laminas; mas pertence a todos os conductores prismaticos, ou cylindricos alongados; e quando o cylindro vai adelgacando para a extremidade, o crescimento nesta, he ainda mais rapido: finalmente quando termina em ponta, a intensidade electrica he tal na extremidade, que a pressão atmosferica não pôde reter o principio electrico, que por esta razão se dissipa pelas pontas. Este phenomeno da dissipação da electricidade pelas pontas, torna-se sensivel na escuridade, como melhor veremos tratando da luz electrica.

Phenomenos fundamentaes da influencia.

62. Temos até agora considerado especialmente, dois modos de electrificação, que são a fricção, e o contacto, ou communicação; porém para que os principios electricos se desenvolvão em hum corpo conductor, basta que este corpo se ache na presença de outro corpo electrificado. Aos phenomenos, que nestas circumstancias se produzem, daremos o nome de *phenomenos de influencia*, e passaremos agora a produzi-los, e a analisa-los.

63. Tomem-se os dois conductores isolados AB , e $A'B'$ armados, como a figura representa, de pendulos electrosco-
picos. Carregue-se de electricidade o conductor AB : se delle aproximarmos o conductor $A'B'$, os pendulos electrosco-
picos deste conductor, divergirão immediatamente; o que nos mostra, que o corpo se acha electrificado. Retiremos novamente o conductor $A'B'$ da presença do conductor AB , ou toque-
mos este conductor para lhe roubar a electricidade: em hum, e outro caso, $A'B'$ voltará ao estado natural. Tantas vezes submetermos o conductor $A'B'$ á influencia do conductor AB electrificado, outras tantas teráõ lugar os phenomenos descrip-

Fig. 9.^a

tos, e isto do mesmo modo, ou a carga de AB seja de electricidade vitrea, ou seja de electricidade resinosa. Se porém o corpo $A'B'$ fôr formado de huma materia não conductora, a proximidade do corpo electrizado AB , não terá influencia alguma sobre elle (*).

Esta experiencia nos mostra, que todas as vezes, que hum corpo conductor, no estado natural, se apresenta a hum outro corpo electrizado, o primeiro corpo toma hum estado electrico, que desaparece, quando o referido corpo se subtrahê da influencia do outro.

64. Este effeito, não pôde ser impedido pela interposição de qualquer materia, ainda que solida, e não conductora. Com effeito, se entre os conductores AB , e $A'B'$, se interpõe huma vidraça, nem por isso deixarão de observar-se os mesmos phenomenos.

65. Supponhâmos novamente o corpo $A'B'$ sob a influencia do corpo AB electrizado de huma electricidade conhecida, v. g., vitrea, e disponhamos na visinhança a agulha electrosopica de (§ 23), electrizada tambem de huma electricidade conhecida, v. g., resinosa.

Tomemos hum disco de ouropel, isolado por hum cabo de goma lacca, e tocando com elle a extremidade A' do corpo $A'B'$, apresentemos o disco á agulha, manifestar-se-ha repulsão: logo a extremidade A' do conductor $A'B'$ está carregada de electricidade resinosa.

Privemos o disco, desta electricidade, e tocando com elle a extremidade B' do corpo $A'B'$, apresentando depois o disco á agulha, haverá attracção: logo o ponto B' do conductor $A'B'$, acha-se electrizado vitreamente. Se tocarmos os diversos pontos intermedios, ensaiando da mesma maneira as electricidades, acharemos o conductor dividido em duas partes, por huma zona extremamente estreita, onde a electricidade he nulla, e a parte para o lado de B' estará electrizada vitreamente; e pelo contrario, resinosamente a parte do

(*) Para que a influencia fosse absolutamente nulla, era preciso, que a materia de $A'B'$ fosse completamente não conductora, o que he por extremo difficil, ou quasi impossivel obter na practica; porém a influencia poderá ser quasi insensivel.

conductor, a partir daquella zona para o lado de A' , e as intensidades das cargas serãõ successivamente maiores, a partir do meio para as extremidades. Se o côrpo influente AB , em vez de possuir a electricidade vitrea, possuísse a electricidade resinosa, os phenomenos seriaõ os mesmos, com a unica differença, que a parte de B' possuiria hum estado electrico resinoso, e a parte de A' , hum estado electrico vitreo.

66. Se no comêço desta experiencia se determina, por meio da balança de Coulomb, a intensidade da carga electrica existente no côrpo influente AB , e se calcula pelos methodos expostos a perda pelo ar humido, que devia ter lugar no decurso da observação; determinando por experiencia a carga do côrpo influente, depois da opperação, acha-se ser rigorosamente a mesma, que seria, se não tivesse exercitado aquella acção: logo quando hum côrpo electrizado, exerce a sua influencia sôbre outro côrpo, não lhe cêde, nem recebe delle quantidade alguma de electricidade.

67. As observações, que acabãmos de fazer sôbre o desenvolvimento dos principios electricos por influencia, saõ capitaes no estudo da electricidade; pois dellas derivaõ necessariamente, as seguintes consequencias.

Visto que o côrpo $A'B'$ se achava no estado natural, e que sendo isolado não podia tirar do sólo, quantidade alguma de electricidade; que por outra parte o côrpo influente lhe não cedêo parte alguma da sua carga electrica: segue-se, que a electricidade, que o côrpo $A'B'$ patenteou, debaixo da influencia do côrpo AB , existia nelle, antes de submittido á dita influencia.

Visto que huma parte do corpo $A'B'$ se mostrou debaixo da influencia do corpo AB electrizada resinosa, e outra parte electrizada vitreamente, e que cessando a dita influencia, o corpo voltou ao estado natural: segue-se, que a influencia do corpo AB separou os principios vitreo, e resinoso, que existiaõ em $A'B'$, e que cessando a influencia, os dois principios se recombinaraõ; e por isso que a sua recombinacão produziu hum estado electrico nullo: segue-se mais, que as quantidades de electricidades oppostas, separadas pela influencia, eraõ iguaes, (no sentido, que deffinimos a palavra igualdade, applicada aos principios electricos oppostos, no (§. 26).

Pois que, quando o corpo influente AB continha electricidade vitrea, a parte mais vizinha a elle A' do corpo influído, continha electricidade resinosa, e a parte mais remota B' a electricidade vitrea, e que pelo contrario, quando o corpo influente se achava electrizado resinosamente, era vitrea a electricidade da parte A' , mais proxima do corpo influente, e resinosa a da parte mais ~~remota~~ remota B' : podemos concluir, que a electricidade do corpo influente AB , separa pela sua influencia as electricidades existentes no corpo influído, attrahindo a de nome opposto para a parte a mais proxima, e repellindo a do mesmo nome para a parte a mais remota do corpo influído.

68. Estas conclusões, nos fazem conceber huma nova idéa de hum corpo no estado natural, e vemos, que de hum corpo estar no estado natural, quer dizer, de não dar signaes alguns de electricidade, não se deve concluir, que não contém os principios electricos; mas sim, que contém em todos os seus pontos quantidades iguaes dos dois principios oppostos, que neutralisando-se completamete, não podem ser-nos patenteados por nenhuma das propriedades, que nos servem para reconhecer a presença de cada hum destes principios.

69. Deste conhecimento podemos tirar importantes luzes, a respeito do que se passa na fricção de dois corpos, primeiro meio, de que nos servimos para patentear a electricidade.

Quando dois corpos isolados se electrizaõ por fricção, já vemos, que o acto da fricção não gera a electricidade; mas decompõe as electricidades naturaes preexistentes nos dois corpos; destrõe em cada hum delles o equilibrio, ou a igualdade de principios oppostos, de que resulta o estado natural, e ambos os corpos apparecem electrizados; porém de electricidades de nomes oppostos.

A decomposição pôde, neste caso, conceber-se por hum de dois modos, que ambos explicaõ o phenomeno, e entre os quaes não temos meio até hoje, de decidir qual effectivamente tem lugar.

Sejaõ os corpos O , e O' : podêmos suppor, que pela fricção huma porção m de electricidade natural, he decomposta em cada corpo, que a quantidade $\frac{m}{2}$ de electricidade vitrea

de O' , passa para O , e a electricidade $\frac{m}{2}$ resinosa de O , passa para O' ; neste caso, ficará O com m de electricidade vitrea, e O' com m de electricidade resinosa.

Mas podêmos tambem suppor, que a quantidade $\frac{m}{2}$ de electricidade vitrea de O' , se reune com a quantidade de electricidade $\frac{m}{2}$ resinosa de O , e a neutralisa, e que O' fica com $\frac{m}{2}$ de electricidade resinosa, e O com $\frac{m}{2}$ de electricidade vitrea.

Dissêmos, que não podiamos saber por qual destes dois modos tem lugar a separação das electricidades na fricção, porque não podêmos determinar por maneira alguma as quantidades de electricidade combinadas em porções iguaes, e oppostas; porque se scubessemos determinar m , verificandose o estado dos corpos depois da fricção era m , ou $\frac{m}{2}$, teriamos a certeza de qual destes dois modos de separação, tem effectivamente lugar. Esta questão, não tem porém nenhuma influencia sobre a theoria actual da electricidade, que veremos ser inteiramente independente da sua solução.

70. Se no momento, em que o corpo AB influente, e o corpo $A'B'$ influído estão em presença, estabelecemos por meio de hum conductor a communicação entre estes corpos as electricidades vitrea, e resinosa, que reciprocamente se attrahião, combinar-se-hão huma com a outra, e neutralisar-se-hão, e a electricidade vitrea, ou resinosa excedente, distribuir-se-ha pelos dois corpos AB , e $A'B'$, e pelo conductor, que os communica, segundo as leis do seu equilibrio; e em todos os pontos deste systema de conductores, será homogeneo o estado electrico. Para que esta experiencia se passe porém, da maneira indicada, he evidentemente indispensavel, que o arco de communicação entre AB , e $A'B'$ seja tambem isolado. Serve ordinariamente para este fim o instrumento representado (Fig. 10.^a), composto de duas hasteas metalicas AC , e BC unidas por huma charneira em C , e sustentadas pelos cabos de vidro D , e D' , que servem para manejar o instrumento; este instrumento tem o nome de *excitador isolado*.

71. Quando em vez de pôr o corpo influido em communição com o corpo influente, o pômos em communição com o sólo, a electricidade repellido, refugiar-se-ha no reservatorio commum; e desfazendo a communição, e retirando o corpo sempre isolado da influencia, acha-lo-hemos carregado de electricidade contraria á do corpo influente.

Se, por exemplo, o corpo influente AB tiver huma carga de electricidade vitrea, quando aproximarmos d'elle o corpo conductor isolado $A'B'$, a electricidade natural do corpo $A'B'$ será decomposta, o principio resinoso attrahido, fixar-se-ha na parte A' mais visinha do corpo AB , e o principio vitreo será repellido para a extremidade opposta. Estabelecendo a communição com o sólo, o principio vitreo perder-se-ha no reservatorio commum; mas o principio resinoso; fixado na parte A' pela influencia, não poderá perder-se. Desfazendo pois a communição, este principio resinoso attrahido ficará no corpo, e tirando o corpo influente, esta electricidade resinosa derramar-se-ha por todo o corpo, segundo as leis geraes do equilibrio electrico, e o corpo achar-se-ha electrizado resinosamente.

Em quanto o corpo influido estava debaixo da influencia do corpo influente, o principio electrico attrahido não abandonava o corpo, ainda quando elle estava em communição com o sólo. Este principio tinha pois nestas circumstancias, perdida a sua repulsão, não podia passar por contacto a outros corpos conductores, segundo as leis ordinarias do seu equilibrio; estava, por assim dizer, neutralizado pela acção a distancia do principio opposto, residente no corpo influente, e só reganhava as suas propriedades ordinarias, ou antes só podia obedecer á acção destas propriedades, quando o subtrahiamos á influencia.

72. Damos o nome de *electricidade dissimulada* a toda a quantidade de hum qualquer dos principios electricos, cuja repulsão he aniquilada pela acção a distancia de hum principio de nome opposto; por quanto neste estado, aquella electricidade não he livre, não goza de repulsão; mas he, por assim dizer, insensivel, e latente no corpo.

73. Os conhecimentos, que acabamos de adquirir, nos fornecem o meio de communicar com huma só materia, esfregada sempre do mesmo modo, hum, ou outro principio electrico, a hum conductor: com effeito, basta para isto ser-

virmo-nos, ou do contacto, ou da influencia. Hum tubo de vidro esfregado com hum estôffo de lâ, dará, por communicação, a electricidade vitrea, e por influencia a resinosa; e vice versa, hum tubo de resina similhantemente esfregado, dará por influencia a electricidade vitrea, e por communicação a resinosa.

74. Temos exposto os phenomenos mais apparentes, que resultaõ da influencia de hum côrpo electrizado, sôbre hum conductor no estado natural, e as consequencias immediatas, e rigorosas, que podemos deduzir da observação daquelles phenomenos. Se porém retomarmos a referida experiencia, notaremos além dos phenomenos já indicados, os seguintes, que expressamente omittimos mencionar na primeira experiencia, para não complicar a sua analyse, nem confundir as idéas principaes, que della pertendiamos deduzir.

75. No momento, em que o conductor influido $A'B'$ se appresenta ao conductor influente AB , que suppremos electrizado vitreamente, a fim de fixar as idéas, a erecção do fio electroscoptico, situado em B , augmenta; e pelo contrario, a erecção do fio situado em A , diminue.

Este effeito he huma consequencia necessaria da influencia. Com effeito, quando ao côrpo influente, appresentâmos o côrpo influido, desenvolvem-se neste ultimo, quantidades iguaes de electricidades oppostas, as quaes por seu turno obraráõ por influencia sôbre o côrpo AB . Se estas electricidades obrassem sôbre elle da mesma distancia, os seus effeitos sendo iguaes, e oppostos, destruir-se-hiaõ; mas como a electricidade vitrea, refugiada na parte a mais remôta do côrpo influido, obra sôbre o côrpo influente de mais longe, que a electricidade resinosa accumulada na parte mais proxima daquelle côrpo, a acção da primeira enfraquecida pela distancia, só poderá fazer equilibrio a huma parte, e não a toda acção da segunda: este excêso pois de acção resinosa do côrpo influido $A'B'$, decomporá huma quantidade correspondente de electricidade natural, em AB , attrahirá para B , o principio vitreo daquella quantidade de electricidade, e repellirá para A huma igual quantidade de principio resinoso. Esta nova quantidade de electricidade vitrea, juntando se em B , á carga vitrea, que já ali existia, augmentará a erecção do pendulo; e pelo contrario, a porção de principio resinoso repellida para A , neutralizando ali huma parte da elec-

tricidade vitrea existente naquelle ponto, diminuirá nelle a carga electrica, e o pendulo situado em A , abaterá. A nova quantidade de electricidade vitrea, accumulada em B , reage sôbre o côrpo influído de huma maneira similhante, e a nova electricidade, que esta reacção attrahe para A' , reage tambem por seu turno, e da mesma maneira, sôbre o côrpo influente, e assim por diante, até que se estabelece hum estado diffinitivo de equilibrio, no qual todas as attracções, e repulsões se achão satisfeitas. Adiante veremos, qual Poisson achou ser a condição fundamental deste equilibrio.

76. Estas influencias reciprocas, que para a clareza da explicação, e raciocinio figurámos successivas, passão-se todas em hum tempo inapreciavel, por causa da velocidade infinita, com que os principios electricos se movem no interiôr dos conductôres.

77. Quando pômos o côrpo influído em communicação com o sólo, o fio existente em B' perde toda a erecção; e pelo contrario, erige-se mais consideravelmente o fio existente em A' ; e retirando então o côrpo influído sempre isolado, da presença do côrpo influente, ou o que he o mesmo, descarregando aquelle côrpo, a erecção do fio em A' sóbe ao seu maximo.

Este phenomeno he ainda huma consequencia visivel, e necessaria da influencia. Com effeito o electroscope existente em B' , erigia-se em virtude da electricidade vitrea repellida para aquella parte do conductôr, e como quando o côrpo $A'B'$ se communica com o sólo, aquella electricidade se perde no reservatorio commum, a erecção do pendulo deve cessar. Porém esta mesma electricidade vitrea, que antes da communicação com o sólo, existia na parte B' do conductôr, obrava attractivamente sôbre a electricidade resinosa da parte A' , e dissimulava huma parte daquella electricidade: quando pois pela communicação com o sólo, dêrmos sahida á electricidade vitrea, a dita porção de electricidade resinosa, que ella dissimulava, juntando a sua acção, á do resto da electricidade resinosa existente em A' , fará crescer a erecção do electroscope situado naquella parte. Finalmente a presença do côrpo AB , dissimula huma parte da electricidade resinosa existente em A , e por conseguinte, quando subtrahirmos aquelle côrpo, ou a electricidade que nelle reside, a erecção do electroscope situado em A' , augmentar-se-ha.

78. Todos os phenomenos de influencia, que acabámos de expôr, e analysar, nos acabaõ de fazer ver, que a materia dos côrpos conductôres nenhuma influencia tem sôbre o jôgo das electricidades; podendo estes côrpos serem rigorosamente considerados como espaços, nos quaes a electricidade se move livremente, segundo as leis do seu equilibrio. A nullidade destes phenomenos, quando aos côrpos conductôres, substituímos côrpos isolantes, acaba tambem de provar-nos, que a electricidade, ou se não pôde mover, ou só o faz com grande difficuldade nesta classe de côrpos, em que os principios electricos parecem adherir ás molléculas do mesmo côrpo. Em que consiste a razão da conductibilidade, ou da inconductibilidade das substancias: eis-aqui o que no estado actual da sciencia, não só não podemos definir; mas nem ainda mesmo conjecturar.

Theoria da Electricidade.

79. Conhecedor dos diversos phenomenos electricos, que em resumo temos exposto, e esclarecido pelas methodicas observações, e intelligentes determinações de Coulomb, e pelas leis descobertas por aquelle Physico; Poisson, membro do Instituto de França, e hum dos mais habéis Mathematicos dos nossos dias, resumio em hum pequeno numero de propriedades, a definição dos principios electricos, deffinição tão rigorosa, e tão precisa, que da sua desenvolução pelos methodos delicados da analyse, que tão completamente possui o seu author, servem de achar de antemão os phenomenos, que com tanta difficuldade pôde medir a mais attenta observação. Devendo pois a Physica, a Poisson, a verdadeira theoria da electricidade, de que agora passaremos a occupar-nos.

80. Conformemente a esta theoria, deffiniremos a electricidade da maneira seguinte.

1.^o

Os principios electricos são de duas especies, vitreo, e resinoso.

2.^o

Cada hum dos principios electricos, he hum fluido imponderavel, incompressivel, cujas molléculas perfeitamente móveis, se repellem entre si, na razão reciproca ao quadrado das distancias.

F *

3.^o

As moléculas do fluido vitreo, attrahem as moléculas do fluido resinoso, e vice versa, na razão reciproca dos quadrados das distancias.

4.^o

O fluido electrico natural, compõe-se de quantidades iguaes de principio vitreo, e de principio resinoso, isto he, de quantidades taes destes principios, que reciprocamente se neutralisaõ.

5.^o

Todo, e qualquer côrpo no estado natural, contém huma quantidade indefinida de fluido electrico natural, quer dizer, de principio vitreo, e de principio resinoso, em quantidades que se neutralisaõ completamente.

6.^o

Os principios electricos movem-se com plena liberdade no interior dos côrpos conductôres, tomando nelles instantaneamente, as posições requeridas pelas leis do seu equilibrio. Pelo contrario estes principios não pôdem mover-se no interior dos côrpos isolantes, e parecem adherir ás moléculas de similhantes côrpos.

81. Deste pequeno numero de proposições fundamentaes, que reunidas constituem a deffinição da electricidade, decorrem como consequencias necessarias, todos os phenomenos, que temos observado, e todos aquelles, que ainda observaremos no progresso das nossas indagações sobre este agente.

82. O calculo da maior parte destes phenomenos exige o emprego de analyse tão sublime, que não entrará no nosso plano o deduzi-lo; porém não podêmos di pensar-nos de mostrar a maneira engenhosa pela qual, Poisson partindo da deffinição, que expôzemos, soube reduzir a simplicies problemas de mechanica, a solução das questões sobre a electricidade.

83. A fim de achar qual deverá ser em hum conductôr isolado, a distribuição de hum qualquer dos principios electricos, que nelle introduzirmos, reflectiremos em primeiro lugar, que sendo o principio electrico hum fluido incompressivel, cujas moléculas se repellem mutuamente, tenderá a espalhar-se o mais possivel, e como o ar resiste á sua sahida do côrpo, virá formar hum strato, cuja superficie exterior será a superficie mesma do côrpo, e terá por conseguinte a figura deste. Para acharmos agora, a figura da superficie interior do stracto reflectiremos, que este stracto deve ser tal, que a resultante das suas acções sobre hum ponto qualquer, tomado no côrpo, seja nulla, pois se o não fôsse, esta acção

decomporia as electricidades naturaes existentes naquelle ponto, donde proviria huma nova quantidade de principios electricos livres, e por tanto o equilibrio não seria estavel; limita-se pois por esta consideração, o problema ao seguinte.

Sendo dada a superficie exterior de hum stracto material, cuja materia exerce huma acção proporcional á massa, e reciproca ao quadrado das distancias, achar a superficie interior deste stracto, quando a resultante das suas acções he nulla sobre qualquer ponto, tomado no interior do sólido, que a sua superficie externa determina.

Deste enunciado se vê, que a solução d'elle depende unicamente da analyse, e que esta deve resolve-lo completamente em todos os casos, em que a figura do corpo conductor, não for tal, que a solução exceda as forças do calculo.

84. Para achar igualmente a disposição da electricidade em hum systema de corpos submettidos á influencia de hum, ou mais corpos electrizados, reduz-se o problema, a achar huma disposição tal nos stractos electricos, que a resultante das acções electricas sobre hum ponto qualquer, tomado no systema, seja nulla.

Poisson applicou o calculo á distribuição da electricidade na esfera, no elipsoide de revolução, na pyramide cônica, e obteve resultados tão proximos, aos que Coulomb havia achado por experiencia, quanto o permite a imperfeição inseparavel, das mais delicadas observações: applicou tambem o calculo á disposição dos principios electricos, em hum systema de esferas em contacto, e alguns casos de influencia; e todos os resultados analyticos concordáraõ, com a maior exactidão possivel, com a observação. Não foi porém possivel ao illustre Author desta theoria, applicar o calculo a figuras mais complicadas, por se complicarem, neste caso, as condições, a ponto de excederem as forças actuaes da mais delicada analyse.

85. Sentimos, que o character desta obra, nos não permitia seguir Poisson, nas suas determinações analyticas. Os leitores curiosos nesta parte, as encontrarão na memoria original do Author, que faz parte das do Instituto de França, 1.^a Classe das Sciencias Mathematicas anno de 1811, Memoria digna de ser estudada por todos aquelles, que se dedicaõ ao estudo profundo da Physica.

86. Até aqui temos procurado unicamente, observar os

phenomenos essenciaes, dos quaes depende, e se deduz a definição da electricidade, e a sua theoria, despojando estes phenomenos de quanto tem de apparatuso, e de brilhante, e servindo-nos dos apparatusos os menos complicados. Agora pôrém, que esta theoria fica solidamente estabelecida, percorrêmos os principaes apparatusos, por meio dos quaes podemos commodamente desenvolver quantidades consideraveis de electricidade: observaremos hum certo numero de phenomenos, a que este agente dá lugar: e descreveremos os engenhosos, e delicados instrumentos, por meio dos quaes podemos medir, e tornar sensiveis, as menores quantidades de electricidade; assim como aquelles, que nos permitem dirigir as porções consideraveis deste fluido, e pôr-nos ao abrigo dos seus estragos: isto feito, estudaremos os diversos meios de desenvolver a electricidade, e muito especialmente o do contacto, de que tanto partido tem tirado as sciencias naturaes, e que he huma das mais bellas descobertas, feitas na electricidade.

Tudo o que temos a expôr são consequencias necessarias da theoria exposta, e outros tantos desenvolvimentos, que nos mostrarão a sua admiravel fecundidade.

Machina Electrica.

87. Os tubos de diferentes materias esfregados á mão, de que até agora nos temos servido no decurso das experiencias, são insufficientes para produzir huma desenvolução continuada, e consideravel de principios electricos. Os Physicos, que successivamente se tem occupado do estudo da electricidade, tem imaginado apparatusos mais commodos para o mesmo fim, e as machinas electricas, imperfeitas, e grosseiras em seu principio, tem sido successivamente melhoradas. Não sendo da nossa intenção tratar a historia da Sciencia, omitiremos relatar aqui estes aperfeiçoamentos successivos, e passaremos immediatamente á discripção das machinas electricas, de que hoje commumente se faz uso nas experiencias.

88. Huma machina electrica, he hum instrumento destinado a accumular em hum conductôr isolado, a maior quantidade possivel de electricidade. Compõe-se por tanto a machina electrica, de duas partes: a primeira destinada a desenvolver a electricidade; a segunda a accumular, e reter em si, o principio electrico desenvolvido,

A primeira parte de huma machina electrica, he composta de hum disco, ou cylindro de vidro atravessado por hum eixo, que movido por huma manivella lhe communica hum movimento de rotaçãõ. Contra a superficie do disco, ou do cylindro, estão applicadas, por meio de huma molla, almofadas de couro estufadas, que produzem a fricçãõ. A fim de que por esta maneira se desenvolva no disco de vidro, a maior quantidade de electricidade, saõ necessarias as seguintes disposições.

Em primeiro lugar, a experiencia mostra, que a fricçãõ do couro sôbre o vidro, desenvolve frouxamente os principios electricos; o que se designa dizendo, que aquella fricçãõ produz huma força electromotriz fraca, chamando-se *força electromotriz*, a força, qualquer que ella seja, que tende a separar nos côrpos, os dois principios do fluido electrico natural. Para augmentar a força electromotriz, he conveniente cubrir a superficie das almofadas, de huma amalgama de estanho, e mercurio, ou de ouro mussivo em pó, a fricçãõ destas preparações sôbre o vidro, produzindo huma força electromotriz, muito mais consideravel.

Em segundo lugar, he evidente pela theoría da electricidade, que suppostos isolados os côrpos, entre os quaes se effectúa a fricçãõ, tres causas se oppõe ao effeito da força electromotriz. A primeira he, a repulsãõ das molléculas do fluido resinoso, humas para as outras; força esta, que se oppõe á introducçãõ de novas quantidades deste principio, no côrpo, que o toma. A segunda he, a repulsãõ das molléculas do principio vitreo, sôbre si mesmo, no côrpo, que toma o principio vitreo. Finalmente a attracçãõ reciproca dos principios vitreo, e resinoso.

Para diminuir o effeito destas causas, na primeira parte de huma machina electrica, e fazer por conseguinte, que o cylindro, ou disco de vidro tome a maior quantidade possivel de electricidade, convem que as almofadas communicem exactamente com o sólo: entãõ estas almofadas perdendo a electricidade resinosa á medida, que a adquirem pela fricçãõ, a primeira, e a ultima causas, oppostas á força electromotriz desaparecem, e o disco poderá carregar-se de electricidade vitrea, até que a repulsãõ reciproca das molléculas do fluido vitreo, nelle accumulado, resistindo á introducçãõ

de novas quantidades deste principio, faça equilibrio por si só á força electromotriz.

89. O limite, no qual a repulsaõ reciproca das molléculas do principio vitreo, accumulado na superficie do vidro, faz equilibrio á força electromotriz produzida pela fricçaõ, seria brevemente attingido, se não houvesse côrpo algum, que neutralisasse a electricidade vitrea, á medida que ella se desenvolvesse, e por este meio sustenta-se inferior á força electromotriz, a sua repulsaõ. Assim tambem a primeira parte de huma maquina electrica só por si, tocaria no fim de poucas voltas hum estado electrico, além do qual não poderia passar, quaesquer voltas, que lhe dêssemos; não fazendo as fricções neste caso, senão supprir a electricidade perdida pelo contacto do ar humido.

Imaginemos porém defronte do disco, ou cylindro, e a pouca distancia deste, hum côrpo conductôr isolado: he claro, que o disco de vidro electrizado vitreamente, attrahirá a electricidade resinosa do conductôr isolado para a parte mais visinha a elle, e repellirá para o resto do conductôr a electricidade vitrea do mesmo; mas se o conductôr fôr pontegudo para o lado do disco, a accumulacão de electricidade resinosa será tal, naquelle ponto, que a pressaõ athmosferica a não poderá detêr, e desde entaõ esta electricidade precipitando-se sôbre o disco, neutralizará a sua electricidade vitrea, e o conductôr ficará contendo huma igual quantidade de principio vitreo livre, e este effeito continuará, até que a repulsaõ do principio vitreo no conductôr seja tal, que equilibre a força electromotriz.

Para que este limite seja tocado tarde, mostra a experiencia, e pôde mesmo deduzir-se da theoria, que a melhor forma de conductôres, saõ cylindros delgados e compridos, terminados por algumas pontas do lado do disco, ou cylindro, as quaes devem ficar, quasi em contacto com elle.

90. Como os conductôres devem retêr por outra parte a electricidade o mais perfeitamente possivel, he necessario evitar nelles as arestas vivas, as pontas, &c., para o que todas as tarrachas, que os unem, e todas as suas extremidades se terminaõ em esferas. Finalmente para tornar, quanto possivel, completo o isolamento, sustentaõ-se estes conductôres com columnas de vidro, cobertas de hum verniz de gomma lacca.

91. A fig. (II) representa huma machina electrica ordinaria; *A* he o disco de vidro, *B* a manivella, *C* e *C'* dois pares de almofadas, *D* e *D'* os dois ramos do conductôr, que ficão armados de pontas, junto do disco; *P* e *P'* dois cylindros, que unidos por hum terceiro *F*, formão os conductôres isolados, sôbre as columnas de vidro *V, V, V, V*; finalmente *t*, e *t'* são dois envollucros de tafeta gomado, que abrigoando o disco, desde a fricção entre as almofadas, até á passagem diante dos ramos *DD'* do conductôr, evitaão a perda, que o ar sempre hum pouco humido, podia occasionar na electricidade do disco. Fig. II.

Esta construcção, que he a mais ordinaria, varia em algumas machinas electricas; mas huma vez comprehendido, o que acabãmos de expôr, facilmente, pela simples inspecção, se comprehenderá qualquer outra machina electrica.

92. Se ao conductôr fixo da machina electrica, se apresentar outro côrpo conductôr isolado, o conductôr fixo, exercitará sôbre elle a sua influencia, decompondo o seu fluido natural, atrahindo o principio resinoso, e repellido o vitreo. A attracção reciproca do fluido vitreo do conductôr fixo, e do fluido resinoso do outro conductôr, poderá ser tal, que exceda a resistencia da pressão atmosphérica, e desde então o principio vitreo, e o principio resinoso combinar-se-hão através do ar, e o segundo conductôr ficará com huma carga de electricidade vitrea; mas como esta combinação neutraliza parte do fluido vitreo do conductôr fixo, este se torna apto para receber pelo disco, nova porção de electricidade vitrea, a qual obrará por influencia sôbre o segundo conductôr, e isto até que as repulsões reciprocas das molleculas do fluido vitreo accumulado nos conductôres, fação equilibrio á força electromotriz.

Se porém o segundo conductôr communicar com o sólo, o fluido vitreo não ficando jámais nelle, cessa a resistencia da sua repulsão, e poderá em quanto girarmos com a machina, produzir-se huma serie de recombinções de fluidos oppostos entre os dois conductôres, quer dizer, huma serie de faiscas, ou descargas electricas. Quando este segundo conductôr he hum orgão qualquer, *v. g.*, a mão, sente-se huma sensação particular, tanto mais energica, quanto he maior a quantidade de principios electricos, que constituem cada descarga.

93. Se hum observador subido sôbre hum banco sustenta-

do por columnas de vidro, a fim de ficar isolado, se põe em communicacão com o conductôr da machina electrica; este observador ficará fazendo parte do conductôr da mesma machina; toda a sua superficie se cobrirá de hum stracto electrico, e qualquer cõrpo conductôr, appresentado a este observador, tirará delle huma faisca, ou descarga, como do conductôr mesmo da machina. Os cabellos do observador, isolado, em contacto com huma machina forte, irriçãose, e divergem da mesma maneira, e pela mesma razão, que se erigem os fios de hum pendulo electroscoptico em contacto com hum conductôr isolado, e quando a experiencia se faz na escuridade, as extremidades dos cabellos parecem luminosas, em virtude da electricidade, que por elles se dissipa da mesma maneira, que pelos vertices de hum conductôr pontegudo.

Condensador.

94. Acabamos de vêr, que se entre dois cõrpos, obra huma força electromotriz qualquer, tres são as causas, que se oppõe ao seu effeito; a saber: as repulsões de cada hum dos dois principios sôbre si mesmo, e a attracção reciproca de hum para outro principio accumulado. Já vimos, que para destruir duas destas causas, basta communicar com o sólo, hum dos cõrpos, entre os quaes a força electromotriz se exerce: supponhamos para fixar o raciocinio, que o cõrpo não isolado, seja o que toma o principio resinoso; nestas circumstancias, a força electromotriz he sómente combatida pela repulsão do principio vitreo, accumulado no cõrpo sôbre si mesmo; o cõrpo carregar-se-ha pois de electricidade, até que a repulsão reciproca do fluido, que encerra, seja igual á força electromotriz.

Temos por outra parte visto, que só podemos medir, comparar, e até constatar, e reconhecer a presença de hum principio electrico livre, pelas attracções, e repulsões, que os cõrpos manifestaõ, quando estão electrisados: e vista a imperfeita mobilidade de todos os nossos apparatus, he claro, que huma infinidade de forças electromotrices, seriaõ para nós desconhecidas, todas as vezes, que fõssem assás fracas para produzir cargas, cujas attracções, e repulsões, não fõssem superiores a esta inercia dos apparatus. Com effei-

to, hum grande numero de forças eléctromotrices, seriaõ ainda hoje desconhecidas, se não possuíssemos hum meio de multiplicar o seu effeito, isto he, de attenuar a resistencia, que a repulsaõ reciproca da electricidade contida em hum côpo, oppõe á introduccaõ de novas quantidades de principio electrico no mesmo côpo. Possuimos porém este meio, e o instrumento denominado *condensadôr*, he destinado a produzir este importante resultado.

95. Isto posto, se suppozermos hum disco metalico isolado, em contacto com hum foco de electricidade qualquer, o disco tomará huma carga electrica Q , cujo limite será quando a repulsaõ reciproca da electricidade nelle accumulada, fizer equilibrio á força electromotriz do foco. Se porém ao disco apresentarmos hum conductôr, não isolado, o disco decomporá a electricidade natural deste conductôr, repellirá para o reservatorio commum, a electricidade do mesmo nome, e attrahirá a do nome opposto; mas pela acçaõ do principio attrahido, perderá a electricidade nelle existente, huma parte da sua força repulsiva, e tornar-se-ha em parte dissimulada, e o disco poderá tomar ao foco, huma nova quantidade de electricidade. Quando depois de separar o disco do foco, retirarmos o conductôr, não isolado, a electricidade dissimulada pela presença delle ficará livre, e poder-se-hão observar os seus effeitos.

96. Como as attracções, e repulões reciprocas dos principios electricos seguem a razãõ inversa dos quadrados das distancias, he evidente, que tanto menor fôr a distancia entre o disco, e o côpo conductôr, não isolado, sem que entre elles haja explosãõ, tanto maior será a quantidade de electricidade dissimulada; e consequentemente tanto maior a carga, que hum disco poderá tomar a hum foco de electricidade, dotado de huma força electromotriz constante.

Sobre estes principios se funda a construcçaõ, e o uso do instrumento chamado *condensadôr*. Este instrumento compõe-se de hum disco de metal A , sustentado por hum cato isolante, collocado sobre outro disco conductôr A' , commu-
cando com o sólo, e separado do primeiro por hum strato mui delgado de huma materia impermeavel á electricidade, v. g.: huma lamina de vidro, ou o que he melhor, hum tafetã gomado, ou huma camada de hum verniz resinoso. Põe-se o disco superior em contacto com o foco de electricidade

de, e logo que está carregado, retira-se; tomando então pelo cabo isolante C , o disco superior A , separa-se do inferior A' , e a carga antes dissimulada em A , apparece gozando de toda a sua força repulsiva.

97. Por este meio podemos mostrar a existencia de huma força electromotriz; mas para avaliar a sua intensidade, he necessario saber passar do conhecimento da carga tomada pelo condensador, ao da carga Q , que o disco superior A , tomaria só por si, e em virtude simplesmente da força electromotriz do foco; hum calculo simplicissimo vai pôr-nos em estado de resolver esta questão.

Representemos por V a electricidade, que o disco superior toma do foco, quando está applicado sobre o disco inferior em contacto com o sólo: esta quantidade V de electricidade, dissimulará huma quantidade $-R$ de electricidade opposta no disco inferior, e em razão da espessura do strato isolante, que separa os discos, isto he, da distancia entre elles, será a quantidade $-R < V$. A quantidade de electricidade $-R$, existente no disco inferior, dissimulará por seu turno huma quantidade V' da electricidade opposta do disco superior; quantidade esta, que por estar dissimulada, não exercerá repulsão: logo a quantidade de electricidade, que no disco superior exerce repulsão, e que como tal se oppõe á força electromotriz, será $V - V'$; mas a força electromotriz faz equilibrio a huma repulsão Q : logo o disco superior, carregar-se-ha até que tenhamos - - - - -

$$V - V' = Q \quad \text{- - - - -} \quad (a)$$

Em razão da distancia, que separa os discos, achámos $-R < V$: logo, pela mesma razão, será $V' < -R$; e como a distancia, que separa V de $-R$ he a mesma, que separa $-R$ de V' ; segue-se, que $-R > V'$, na mesma proporção, em que $V > R$: se pois tór r a relação entre $-R$, e V , de tal maneira, que tenhamos - - - - -

$$V : -R :: 1 : r, \text{ teremos tambem } -R : V' :: 1 : r,$$

donde vem

$$R + rV = 0 \quad \text{- - - - -} \quad (1.^a)$$

$$V' + rR = 0 \quad \text{- - - - -} \quad (2.^a)$$

A primeira equação dá $R = -rV$, a segunda dá

$V' = -rR$, e substituindo o valôr de R na equação de V' , vem

$$V' = r^2 V.$$

Pondo este valôr de V' na equação (a), teremos

$$Q = V - r^2 V = (1 - r^2) V,$$

donde

$$Q : V :: (1 - r^2) \text{ isto he, } \frac{Q}{V} = \frac{1}{1 - r^2} :$$

logo a carga, que o disco tomaria ao fôco só por si, está para a carga, que toma no condensador, como

$(1 - r^2)$: logo $\frac{1}{1 - r^2}$ he a força condensante do instru-

mento, pela qual devemos dividir a carga V do disco superior, para ter a força electromotriz, ou o que he o mesmo, a carga, que o disco superior tomaria só por si ao fôco.

98. A força condensante do aparelho, depende, como vemos, de r , para ter o valôr, do qual nos servirá a equação (1.^a), da qual se tira $r = \frac{-R}{V}$, e que nos mostra,

que r he sempre menor, que a unidade, visto ser sempre $-R < V$. Tomaremos pois para achar o valôr de r , o condensador, e pôlo-hemos em contacto com hum fôco qualquer de electricidade, estando o disco inferior em contacto com o sólo. Carregado o instrumento, isola-lo-hemos, e separando os dois discos, mediremos na balança de Coulomb, pelos angulos de torção, a carga de cada hum dos discos, e dividindo a carga $-R$ do disco inferior, pela carga V do superior, o quociente será o valôr de r , que empregaremos, sempre que nos servirmos do mesmo condensador.

99. Em todo o condensador carregado, as duas electricidades oppostas, desenvolvidas no disco superior, e inferior, exercem huma sôbre outra, huma attracção tanto mais energica, quanto he menor a espessura do strato isolante, que separa estes discos; sendo a impermeabilidade deste strato, a causa unica, que se oppõe á recombinacção dos dois principios. Se pois por meio de hum arco conducção, communicâmos os dois discos, aquelles principios recombinar-se-hão, o que produz, o que chamamos huma descarga electrica: para o diante trataremos particularmente dos phenomenos, que accompa-

*segue da
de (1 - r^2)*

naõ estas descargas, das formas mais convenientes do condensador para produzi-las, e tornar mais energica a sua intensidade.

Electróphoro.

Temos visto, que os principios electricos naõ gozaõ nos corpos isolantes da sua mobilidade, e que semelhantes corpos naõ podem ser carregados de electricidade, nem della privados por communicacão, senaõ depois de hum tempo mui consideravel. Se pois tocarmos com hum disco de metal, hum disco de resina electrizado por fricção, roubaremos a este, huma pequenissima quantidade da sua carga electrica, esta propriedade dá lugar ao uso, e construcção do *Electróphoro*, instrumento mui commodo para obter huma quantidade sensivel de electricidade.

Fig. 13.^a

100. Hum electróphoro compõe-se de hum disco *R* de resina, e de hum disco *V* de metal, sustentado por hum cabo isolante *C*. Para fazer uso deste apparelho, estrega-se com huma pelle de gato o disco de resina *R*, e carrega-se por este modo de electricidade resinosa: applicando sôbre elle o disco *V*, he claro, que a electricidade resinosa de *R*, decomporá pela sua influencia a electricidade natural de *V*, atrahindo para a face inferior deste disco, a electricidade vitrea, e repellindo para a face superior, a resinosa: se tendo o disco superior sempre isolado, o retirassemos de cima de *R*, a influencia vindo a cessar, os principios vitreo, e resinoso, por ella separados em *V*, recombinar-se-hiaõ, e este disco ficaria no estado natural; mas se em quanto a superposiçãõ permanece, pômos em communicacão com o sólo o disco *V*, a electricidade resinosa repellida, perder-se-ha no reservatorio commum, e tirando *V* da influencia, ficará carregado de electricidade vitrea. Vê-se pois quaõ facilmente se obtem huma carga electrica, por meio deste simplicissimo apparelho.

101. Quando a superposiçãõ dos discos, dura por muito tempo, o disco *V* acha-se carregado vitreamente, ainda que se naõ tivesse communicado com o sólo, sendo a razãõ, a imperfeicão com que o ar resiste á dissipacão da electricidade resinosa, que repellida pela influencia, tende continuamente a sahir do corpo *V* no decurso da superposiçãõ.

Electroscópios.

102. Chamaõ-se electroscópios, os instrumentos destinados a patentear a presença, e determinar a natureza de qualquer principio electrico livre: assim os corpos léves, os pendulos conductôres, de que nos servimos nas nossas primeiras experiencias, são outros tantos electroscópios. Como porém as forças electromotrices fracas, desenvolvem apenas quantidades de electricidade mui frouxas, he preciso para que estas escapem o menos possivel á observação, dar a esta especie de instrumentos toda a delicadeza, e sensibilidade, de que são susceptiveis.

103. A agulha movel, e isolada descripta no (§ 23), he hum electroscópio mui commodo, na maior parte dos casos; mas as fricções, que necessariamente resistem ao seu movimento, as agitações do ar, a que se acha exposta, não a tornão propria para a indicação das electricidades extremamente frouxas, que se desenvolvem em virtude de forças electromotrices extremamente fracas, quaes são o contacto dos corpos heterogeneos, por exemplo.

104. Compõem-se ordinariamente os electroscópios de humma caixa, ou campanulla de vidro, fechada inferiormente por hum fundo metalico, e na parte superior por huma viróla de metal, atravessada por huma hastea metalica, tudo unido ao vidro com huma argamaça de resina; esta hastea terminada na parte exterior por huma esfera metalica, sustenta na extremidade interior, dois fios de linho terminados por bolinhas de sabugueiro, duas palhas, ou duas tiras de folha de ouro de dourar, estas ultimas pela sua levêza, tornão o instrumento mui sensivel. A Fig. (14) representa ^{este} hum electroscópio de folhas de ouro, *AA* he a caixa, ou campanulla de vidro revestida até *BB* de hum verniz resinôso, para isolar mais perfeitamente a parte superior do apparelho, *CC* he o fundo do metal, *V* a viróla superior, *H* a hastea metalica, terminada exteriormente pela esfera *E*, e interiormente pelas duas folhas de ouro, palhas, ou pendulos *pp*. Estes instrumentos servem, não sómente para manifestar a electricidade livre nos corpos, que se lhes apresentão; mas tambem para determinar a natureza vitrea, ou resinosa desta mesma electricidade.

Fig. 14.*

105. Se do botão superior do electroscópio, aproximarmos gradualmente, e sem que haja descarga, hum tubo electrizado, *v. g.*, resinosamente; observaremos, que os pendulos divergem. A razão disto he clara, por quanto a electricidade resinosa do tubo, obrando por influencia sobre a electricidade natural do botão, hastea, e pendulos, fixa no botão a electricidade vitrea, e repelle para os pendulos, parte a mais remota do systema, a electricidade resinosa, e os pendulos, achando-se ambos electrizados do mesmo principio, repellem-se mutuamente, e divergem.

106. Se em quanto o electroscópio se acha sob a influencia do tubo electrizado, se põe o botão superior em communicação com o sólo, tocando-o, *v. g.*, com o dedo, a divergencia dos pendulos cessa; porque toda a electricidade repellida, que produzia a divergencia, se escapa para o sólo, e fica sómente a electricidade vitrea dissimulada no botão do electroscópio: retirando porém o tubo, esta electricidade derramando-se em todo o apparelho, faz de novo divergir os pendulos, e o electroscópio fica carregado. Podemos pois carregar o electroscópio, ou por contacto, ou por influencia, da electricidade, que convier ás experiencias.

107. Se de hum electroscópio carregado de huma electricidade qualquer, aproximâmos gradualmente hum tubo electrizado da mesma maneira; he claro, que a divergencia dos pendulos será cada vez maior, quanto menor fôr a distancia entre o tubo, e o botão do electroscópio; por quanto o effeito da influencia do corpo, he decompôr as electricidades naturaes do systema, fixando no botão, a de nome opposto, e repellindo para os pendulos a do mesmo nome, que unido-se á que nelles já existia pela carga inicial, augmentará cada vez mais a divergencia.

108. Se pelo contrario, de hum electroscópio carregado de huma electricidade qualquer, *v. g.*, vitrea, aproximarmos gradualmente hum corpo electrizado do principio opposto, quer dizer, resinoso; os pendulos commearão por diminuir em divergencia, e esta irá diminuindo successivamente, com a maior proximidade do corpo, até se tornar nulla; mas continuando a aproximar o tubo, os pendulos divergirão de novo, mais e mais; porém em virtude de hum principio electrico opposto ao primitivo.

109. Todos estes phenomenos são consequencias directas,

e necessárias das leis da influencia. O primeiro effeito da presença do corpo electrizado resinosamente, sôbre o electros-cópio carregado de electricidade vitrea, he attrahir, e fixar no botaõ do electrosκόpio a electricidade vitrea, que deixando os pendulos, vem refugiar-se toda na esfera, em tanto maior quantidade, quanto o corpo influente se acha mais proximo: ao mesmo passo o fluido natural do systema he decomposto, e em quanto o principio vitreo se acumula no botaõ, o principio resinoso he repellido para os pendulos, e nelles neutralisa igual porção de fluido vitreo; chega pois huma distancia do corpo influente, na qual a acção destas causas, reduz os pendulos ao estado natural, e toda a divergencia cessa. Se porém entaõ, aproximâmos ainda mais o corpo influente, huma nova porção de fluido natural sendo decomposta, novas quantidades de fluido resinoso, são repellidas para os pendulos, e não achando já ali fluido, que as neutralise, os pendulos começam de novo a divergir; em virtude porém de huma electricidade resinosa.

110. He evidente, que retirando gradualmente o corpo influente, pela mesma maneira, que o aproximâmos, passaremos pelos mesmos estados de equilibrio, que acabâmos de considerar: e por consequente a divergencia depois de diminuir até ser nulla, tornará a manifestar-se de novo; mas em virtude de hum principio opposto, ao que produzia a divergencia primitiva.

Reunião do Electrosκόpio, e Condensador. Apparelho de Volta.

111. Quando a força electromotriz, cujos effeitos pertendemos estudar, he mui fraca, a electricidade por ella desenvolvida, não pôde adquirir huma força repulsiva sufficiente, para manifestar a sua presença no electrosκόpio simples, ainda o mais sensível, e delicado. Neste caso he necessario multiplicar o effeito da força electromotriz, por meio do condensador, e appresentar este ao electrosκόpio.

112. Para tornar este processo mais cómodo, e mais isento de causas de perda, o celebre Volta imaginou reunir no mesmo apparelho, o electrosκόpio, e o condensador. Substituiu para este fim, ao botaõ do electrosκόpio ordinario, hum disco metalico, coberto de hum stracto de verniz resinoso,

Fig.^a 15. sôbre o qual se applica hum segundo disco de metal, sustentado por hum cabo isolante, (Fig.^a 15). O disco inferior tem huma hastezinha com huma pequena esfera, para o pôr em contacto com o fôco da electricidade, e applicando o dedo sôbre o disco superior, dá-se sahida ao principio repellido, ficando unicamente no apparelho as electricidades dissimuladas: finalmente retirando o disco superior pelo cabo isolante, a electricidade do fôco multiplicada pela dissimulação, ficando livre, manifesta a sua presença no electros-cópio, e permite assim, a determinação da sua natureza.

113. Se em vez de pôr o fôco em contacto com o disco inferior, o pozessemos em contacto com o superior, e o primeiro em comunicação com o sólo, procedendo em quanto ao resto da maneira indicada, o electros-cópio ficaria igualmente carregado; porém de huma electricidade contraria á do fôco.

Das attracções, e repulsões dos corpos electrizados.

114. Desde as nossas primeiras observações sôbre a electricidade vimos, os corpos electrizados de principios oppostos, precipitarem-se reciprocamente huns para os outros, pelo contrario fugirem-se reciprocamente os corpos electrizados do mesmo principio, e finalmente todos os conductôres no estado natural, serem apparentemente attrahidos por hum corpo electrizado de huma electricidade qualquer.

Não nos era possível, antes de ter penetrado mais avante no estudo das propriedades electricas, formar huma idéa exacta da causa destas apparencias; agora porém, que possuímos os necessarios conhecimentos, passaremos a mostrar, que não ha entre a materia dos conductôres electrizados, acção alguma attractiva, ou repulsiva, adquirida, ou perdida pela electrização, e que todas as attracções, ou repulsões apparentes, são produzidas pelo fluido electrico contido nestes corpos, e em certos casos, pela pressão atmosphérica, sob a qual se achão os conductôres submettidos ás experiencias.

115. Sabemos, que os corpos pôdem dividir-se em relação aos principios electricos em duas classes, que são a dos corpos conductôres, e a dos corpos isolantes, e que nos primeiros, os principios electricos livres, não estando ligados

por attracção alguma com a materia dos referidos corpos, são unicamente detidos nelles pela pressão atmosphérica; em quanto nos segundos, estes principios estão unidos ás particulas materiaes do corpo, pela força, qualquer que seja, que produz a inconductibilidade.

116. Esta differença no modo, pelo qual, os principios electricos livres residem, e se conservaõ nestas duas especies de corpos, introduz huma distincção essencial na causa, que em huns, e outros, produz as repulsões, e attracções apparentes de que ora nos occupâmos. Commeçaremos pois pelo exame das attracções, e repulsões entre dois corpos não conductôres, passando depois a examinar os mesmos phenomenos entre hum corpo isolante, e hum corpo conductôr, e finalmente entre dois corpos, ambos conductôres.

1.º Caso.

Dois corpos isolantes.

117. Os principios electricos adherindo, pela força qualquer, que constitue a inconductibilidade, á materia dos corpos isolantes; se os principios electricos nelles residentes fôrem attrahidos, ou repellidos, estas acções communicar-se-hão á materia dos corpos, á qual estes principios adherem, e taes corpos estarão nas mesmas circumstancias, que se elles mesmos fôsem attrahidos, ou repellidos.

Assim, se a hum corpo isolante no estado natural, apresentarmos outro corpo isolante electrizado, não haverá nem attracção, nem repulsão; por quanto existindo em todos os pontos do corpo isolante, no estado natural, quantidades iguaes de principios electricos oppostos, as acções contrarias da electricidade do outro corpo, sobre estes principios, destruir-se-hão, e o corpo não será attrahido, nem repellido, e reciprocamente não exercerá attracção, nem repulsão sobre o outro corpo.

118. Quando a hum corpo isolante, e electrizado de hum certo modo, se apresentar hum outro corpo isolante electrizado da mesma maneira, os dois corpos fugir-se-hão, por quanto repellindo-se os principios electricos nelles existentes, a materia dos corpos, a que estes principios estão ligados, obedecerá a esta mesma repulsão. Quando finalmente os dois

córpous isolantes fôrem electrizados de maneiras diversas, a attracção, que terá lugar entre os principios electricos adherentes a elles, fará com que os dois córpous se attrahião reciprocamente.

2.º Caso.

Hum côrpo isolante com hum conductôr.

119. Se o côrpo conductôr estiver electrizado de huma maneira qualquer, e se appresentar a hum côrpo isolante, não exercerá sôbre elle nem attracção, nem repulsaõ apparente; por quanto o principio electrico existente no conductôr, obrando oppostamente sôbre os principios contrarios, existentes em cada ponto do côrpo isolante, a resultante de todas as acções será nulla.

Fig. 16.^a

120. Se porém se appresentar hum côrpo isolante *A*, electrizado, v. g. resinosamente, a hum côrpo conductôr, livre de mover-se; como por exemplo, hum pendulo *B*, o pendulo será attrahido. Com effeito a electricidade resinosa de *A*, obrando por influencia sôbre o fluido natural de *B*, o decomporá, repellido para a parte mais remota *R*, o fluido resinoso, e attrahindo para *V*, o fluido vitreo; mas por ser a distancia de *A*, a *R* maior, que a distancia de *A*, a *V*, o fluido vitreo será mais fortemente attrahido, do que repellido o fluido resinoso; e por conseguinte a pressaõ atmosphérica em *V*, será mais fortemente combatida pela electricidade, do que em *R*; e por tanto o côrpo será mais fortemente comprimido em *R*, do que em *V*, pela athmosfera, o que o determinará a mover-se para o lado de *V*, como se fôra effectivamente attrahido pelo côrpo *A*.

Supponhamos agora o pendulo *B* electrizado vitreamente; quando lhe appresentarmos *A* electrizado resinosamente, todo o fluido vitreo livre se accumulará em *V*, assim como o mesmo principio provindo da decomposição do fluido natural, em quanto só a parte resinosa do fluido natural decomposto, será repellida para *R*; e por conseguinte neste caso, a differença de pressões sôbre o côrpo *B*, em *V*, e em *R*, será da mesma natureza, que no caso antecedente, porém ainda mais forte; o que determinará neste caso, huma attracção apparente, ainda mais energica, e tanto mais, quanto maiores fôrem as cargas primitivas.

121. Se porém estando *B* electrizado vitreamente, aproximarmos *A*, electrizado tambem vitreamente, haverá repulsão apparente entre os corpos. Com effeito, *A* repellirá para *R*, a electricidade vitrea livre de *B*, e com ella o principio vitreo provindo da decomposição do fluido natural daquelle corpo; em quanto attrahirá somente para *V*, a electricidade resinosa, provinda do fluido decomposto; donde resultará ser a carga electrica em *R*, superior á carga em *V*; e por consequente a pressão atmosphérica em *V*, superior á pressão atmosphérica em *R*, o que determinará o movimento de *B* no sentido de *V* para *R*, quer dizer, a repulsão apparente.

Se porém advertirmos, que a maior distancia, que ha de *A* a *R*, do que de *A* a *V*, faz com que a repulsão provinda de *A*, sobre huma quantidade do principio em *R*, seja menor, que a attracção sobre huma igual quantidade do principio opposto em *V*, he facil vêr, que poderá ser tal a differença destas cargas, no qual caso, a repulsão apparente, trocar-se-ha em attracção. E com effeito, he facil effectuar esta mudança da repulsão em attracção sobre hum pendulo electrizado, aproximando rapidamente, e a mui pequena distancia o tubo electrizado, do conductôr carregado de principio opposto.

3.º Caso.

Dois corpos conductôres.

122. Imaginemos dois pendulos *A*, e *B*, ambos conductôres, e hum só, v. g., *A*, carregado de electricidade, que suppremos vitrea, a electricidade vitrea de *A*, decomporá o fluido natural de *B*, repellindo para *V* a electricidade vitrea, e attrahindo para *R* a electricidade resinosa; mas por ser maior a distancia de *A* a *R*, que a distancia de *A* a *V*, a pressão atmosphérica será menos fortemente combatida em *R*, do que em *V*: e por tanto o excêso de pressão, que tem lugar em *R*, moverá o corpo *B*, para o lado do corpo *A*, como se por elle fosse attrahido. Por outra parte, o fluido resinoso existente em *V*, obrando sobre a carga de *A*, de mais perto, que o fluido vitreo existente em *R*, fixará aquelle fluido na parte *V*, mais visinha a *V*; logo a pres-

Fig. 17.º

são atmosférica sobre o corpo A , será mais fortemente combatida em V' , que em R' , o que determinará o corpo A , a mover-se para B , como se por elle fôra attraído.

Raciocínios semelhantes aos que acabámos de fazer, nos explicarão a razão das repulsões apparentes de dois corpos conductôres electrizados do mesmo modo, e das attracções de dois corpos conductôres, electrizados de maneiras diversas.

123. Tudo o que temos dito sobre as attracções, e repulsões apparentes dos corpos electrizados, nos confirma, e prova, que estas attracções, e repulsões não tem lugar entre a materia dos corpos, aos quaes a electrização não communica propriedade alguma attractiva, ou repulsiva; mas tem unicamente por causa, a acção propria dos principios electricos hum sobre o outro, a qual acção vimos, se transmittir aos corpos por meio da inconductibilidade, ou da ruptura de equilibrio das pressões atmosphéricas, nos seus diversos pontos.

Para que as experiencias sobre estes phenomenos, sejaõ rigorosamente conformes á theoria, he necessario, que naquellas em que entrão corpos isolantes, estes estejaõ completamente secos, e alías, o strato de humidade, que os cobre sendo conductôr, a decomposição do seu fluido natural complica os resultados.

124. A's attracções, e repulsões electricas, cuja theoria agora conhecemos perfeitamente, he devída á acção dos diversos apparatus inventados para divertimento, quaes são, o carrilhaõ, e theatro electrico, de que nos não occuparemos, por nada ensinarem, além do que fica exposto, e bastar a simples inspecção delles, para fazer immediatamente perceber o seu jogo.

Das descargas electricas, botelha de Leyde, batarias, e apparatus analogos.

125. Damos o nome de descarga electrica á combinação subita das electricidades oppostas, ou esta se faça através do ar, ou de outro qualquer corpo isolante, ou finalmente de hum conductôr qualquer.

126. A descarga electrica através do ar, faz-se, todas as vezes, que a attracção das electricidades oppostas, existentes em dois conductôres, sendo superior á resistencia, que á sua uniaõ oppõe a pressão atmosphérica, o ar he apartado, e

as electricidades effectuaõ, rompendo este meio, a sua combinaçãõ. Tal he a origem das descargas electricas, desde as pequenas faiscas, que produz hum tubo electrizado, até ás enormes descargas, que constituemmos raios. Toda a differença, que existe entre estes phenomenos, consiste na quantidade de principios electricos, que constituem a descarga, a qual he tanto mais forte, quanto he maior a quantidade de electricidade, que a compõe.

Se pois quizermos obter huma descarga electrica energica, deveremos procurar reunir em dois conductôres visinhos, a maior quantidade possível de electricidades oppostas, e pôr depois os conductôres em communicaçãõ por meio de hum arco qualquer, ou aproxima-los bastante, para que a attracçãõ reciproca dos dois principios electricos suppere a resistencia do ar. O condensador reúne as condições expostas, como fica demonstrado (§ 94, e seguintes).

127. Antes porém da invençãõ dos condensadores, e até de conhecimentos menos adiantados, sôbre a natureza da electricidade, o acaso produzio a descoberta das descargas electricas fortes, e do meio de obtê-las; e ao mesmo passo da violenta commoçãõ, que estas descargas produzem nos órgãos dos animaes, quando estes servem de canal aos principios electricos, que se reúnem.

Cuneeus, e Moschenbroeck em Leide receberam por acaso a commoçãõ devida á recombinãõ dos principios electricos oppostos, fazendo experiencias para hum fim mui diverso. O seu primeiro movimento foi a surpresa, e talvez o terror; mas bem depressa voltãõ a observar as circumstancias do phenomeno. Todos os Physicos daquella época, á medida que delle tiverãõ conhecimento, procurarãõ as circumstancias mais proprias para o produzir, e destas indagações proveio o instrumento, que ainda hoje conserva o nome de *Botella de Leyde*, do nome da Cidade, em que pela primeira vez o phenomeno havia sido observado.

128. A Botella de Leyde, qual hoje a possuímos, consiste em hum frasco de vidro, Fig.^a (18), contendo no seu interiôr fragmentos delgados de metall, como por exemplo folhas delgadas de cobre, ou outras, e revestido na parte exterior até hũa certa altura, de huma lamina metalica, e tapado com huma rolha de cortiça, atravessada por huma hastea metalica, que communicando interiõrmente com as la-

Fig. 18.1

minas metallicas, tem na parte exterior a forma de hum gancho, terminado por huma esfera. Fig. 129. Para repetir com este instrumento, a experiencia de Leyde, toma-se a garrafa pela parte exterior, envolvendo com a maõ a lamina, ou armadura externa, e pondo o gancho em contacto com hum foco de electricidade, v. g., com os conductõres da machina electrica ordinaria, carregase o interior da botelha; porẽm a electricidade accumulada na armadura interior, reage sobre o fluido natural da armadura externa, repellindo para o sólo atraves dos orgãos, o principio do mesmo nome, e fixando o principio de nome opposto; passando-se neste instrumento exactamente o mesmo, que no condensador. Carregada a botelha, se pozermos em contacto as suas duas superficies por meio de hum arco metalico, sustentado por cabos isolantes, a que demos o nome de hum excitador, haverá descarga, e as electricidades recombinar-se-hão.

130. A simples descripção da botelha de Leyde basta para nos fazer vêr, que este instrumento he exactamente o mesmo, que o condensador ordinario, differindo unicamente na figura, e que as fórmulas analyticas, que applicamos aquelle apparelho, são exactamente applicaveis a este. Quando he a face interior da botelha quem communica com o foco de electricidade, e a exterior como o sólo, a face interior faz as vezes do disco superior do condensador, e se a sua carga fôr V , teremos por carga da superficie exterior $R = Vr$, sendo r hum coefferiente sempre menor, que a unidade, e dependente da espessura do vidro, que constitue a botelha, e tanto mais proximo á unidade, quanto este vidro fôr mais delgado. Se fôr porẽm a face exterior quem communica com os conductõres, e a face interior com o sólo, tudo o que acabamos de dizer terá ainda lugar, tomando taõ sómente a face externa pela interna. Examinemos agora mais miuda, e circunstanciadamente, o que se passa na descarga de huma botelha de Leyde, ou de qualquer condensador.

131. Se o que resiste á recombinção das electricidades oppostas na botelha de Leyde, he a resistencia da atmosphera, á passagem destas electricidades, diminuindo a pressãõ do ar, em grão sufficiente, a descarga deve ter lugar. Com effeito, se sob o recipiente da machina pneumatica introduzirmos huma botelha de Leyde carregada, e rarezermos o

ar, chegado hum certo ponto, a botelha descarregar-se-ha, partindo a electricidade a reunir-se entre o botaõ, ou esfera da hastea, e a parte a mais vizinha da superficie exterior.

Se porêm a distancia entre a extremidade da hastea, e a superficie externa fór assás consideravel, para que a attracção electrica entre estes pontos seja mui fraca, comparativamente á que tem lugar através da parêde da botelha, esta parêde poderá ser rôta pelas electricidades oppostas, que tendem através della, á recombinação.

132. Esta attracção reciproca das electricidades da superficie interior, e exterior através do strato isolante, que as separa, he assás forte, para que as electricidades oppostas deixem quasi completamente a armadura interior, e exterior, e se collem, por assim me explicar, ás parêdes oppostas do strato isolante, aonde adherem com grande energia. Para o proyar, tomemos dois discos metalicos, separados por hum disco de vidro isolado; ponhamos hum dos discos metalicos em communicacão com o sólo, e ao outro dêmos huma forte carga de electricidade; isolando a final o apparelho, retiramos isolados cada hum dos discos metalicos, acha-los-hemos sensivelmente no estado natural; mas se pozermos em communicacão as faces oppostas do vidro, que os separava, applicando as palmas das mãos sôbre aquellas superficies, receberemos a descarga: logo as electricidades oppostas estavaõ accumuladas nas faces oppostas do strato isolante. A descarga, neste ultimo caso, não será completa pelo primeiro contacto, em virtude da difficuldade com que as electricidades abandonão os côrpos isolantes, quando huma vez se achão nelles accumuladas; mas só poderemos descarregar completamente o apparelho por meio de contactos varias vezes repetidos. Esta he tambem a causa, pela qual, depois de descarregarmos huma botelha de Leyde por hum só contacto, o segundo, o terceiro, e ás vezes ainda hum quarto contacto, produzem descargas sensiveis.

133. Para formarmos huma idéa exacta, do que se passa na descarga da botelha de Leyde por meio de hum arco conductor qualquer, faremos a seguinte experiencia.

Toma-se huma botelha de Leyde, e depois de a carregar á maneira ordinaria, isola-se a botelha: he claro, que a quantidade de principio electrico, existente na face interior, he maior que a quantidade de principio opposto na face ex-

terior; ha pois no interior da botelha huma certa quantidade de electricidade livre. Se aproximarmos hum conductôr da parte interior da botelha, esta electricidade livre decomporá as electricidades naturaes daquelle conductôr, atrahindo a de nome opposto, e repellindo para o sólo a do mesmo nome; e se a distancia fôr assás pequena, haverá entre a face interior, e o conductôr huma descarga, e a electricidade livre na superficie interior, saturar-se-ha; porém apenas se saturar aquella electricidade, a quantidade de principio opposto, por ella dissimulado na superficie exterior, ficará livre; havará pois huma tensão electrica na superficie exterior. Praticando então com esta superficie, como fizemos com a primeira, saturaremos a sua electricidade livre, e manifestar-se-ha nova tensão na superficie interior, e assim por diante: podendo por tanto, por meio de contactos alternativos em huma, e outra face, descarregar-se gradualmente a botelha sem explosão.

Fig. 19.^a 134. Imaginemos agora a botelha *A* carregada, e isolada, aproximemos o arco conductôr *B*, como se vê na figura (19). A electricidade vitrea de *A*, decomporá as electricidades naturaes de *R'B*, chamando para *R'* o principio resinoso, repellindo para *V''* o vitreo; do mesmo modo, a electricidade de *R* chamará para *V'* o principio vitreo, e repellirá para *R''* o resinoso; chegará hum momento, no qual a attracção de *V* para *R'*, e de *R* para *V'*, vencendo a resistencia do ar, haverá recombinação de *V* com *R'*, de *R* com *V'*, e no mesmo momento *V''*, e *R''* se recombinarão no interior mesmo do conductôr.

Se este conductôr fôr hum animal, a recombinação dos fluidos oppostos produzirá nelle a commoção electrica, que segundo a sua energia, e a disposição do animal, poderá produzir desde huma leve commoção, até á morte.

Fig. 20.^a 135. Tanto maiores fôrem as superficies das botelhas, tanto mais consideraveis poderão ser as suas cargas, e mais energicos por consequente os seus effeitos; porém em vez de dar a huma botelha hum grande volume, o que seria incommodo, reúnem-se muitas botelhas em huma caixa, communicando todas as superficies internas, e todas as superficies externas, o que faz as vezes de huma botelha mui consideravel. Este aparelho, representado fig. (20), he o que chamamos huma bateria electrica. Os seus effeitos podem ser

mui energicos, especialmente quando se reúnem muitas baterias.

136. Daõ-se aos condensadores, destinados a produzir descargas, diversas figuras, v. g., duas laminas de metal, coladas de hum, e outro lado de huma vidraça, o que se chama *vidraça fulminante*. A theoria de todos estes apparatus sendo a mesma, que a do condensador, e botelha de Leyde, não nos occuparemos em descreve-los com especialidade.

Carga por cascata, e pilhas electricas.

137. Se huma botelha isolada se pozer em contacto, pelo gancho superior, com hum fóco de electricidade, só a face interior da botelha se carregará, e não a face externa; por quanto a electricidade repellida daquella face, não tem por onde possa escapar-se, e perder-se no reservatorio commum; para onde he effectivamente repellida a electricidade do mesmo nome da que reside na face interior, quando a botelha se carrega ao modo ordinario, quer dizer, não isolada.

138. Em vez de deixar perder este principio electrico repellido, imaginemos huma serie de botelhas de Leyde A_1 , A_2 , A_3 , A_4 , &c. ligadas de maneira, que a face exterior de A_1 , communique com a interior de A_2 , a face exterior de A_2 , com a interior de A_3 , e assim por diante; communicando a face interior da primeira botelha A_1 , com hum fóco de electricidade, que para fixar as idéas, supporêmos vitrea, e a face exterior da ultima botelha A_n , communicando com o sólo.

Fig. 21.^a

He claro, que o principio vitreo, introduzido pelo fóco na face interior de A_1 , decompõe por influencia o fluido natural da face exterior da mesma botelha, fixa naquella face o principio resinoso, e repelle o vitreo para a face interior de A_2 : este principio introduzido em A_2 , decompõe o fluido natural da face externa desta mesma botelha, fixa o principio resinoso nesta face, repellindo o vitreo para o interior de A_3 , e assim por diante até A_n , cuja face exterior communicando com o sólo, deixa nelle perder-se o fluido vitreo, e conserva o resinoso.

Carregada pois a primeira botelha, todas as outras, que compõem a serie, se carregarão, e será facil conhecer o estado de equilibrio da electricidade neste systema.

Com effeito, suppondo todas as botelhas semelhantes, e formadas de vidro em todas da mesma espessura; suppondo além disto, as botelhas assás separadas, para que a influencia de humas sôbre as outras seja nulla, e representando por V a carga da primeira botelha na superficie interior, teremos as cargas seguintes.

$$\begin{array}{l}
 A_1 \left\{ \begin{array}{l} \text{na face interior} - - - - - V \\ \text{na face exterior} - - - - - -rV \end{array} \right. \\
 A_2 \left\{ \begin{array}{l} \text{na face interior} - - - - - rV \\ \text{na face exterior} - - - - - -r^2V \end{array} \right. \\
 A_3 \left\{ \begin{array}{l} \text{na face interior} - - - - - r^2V \\ \text{na face exterior} - - - - - -r^3V \end{array} \right. \\
 \vdots \\
 A_n \left\{ \begin{array}{l} \text{na face interior} - - - - - r^{n-1}V \\ \text{na face exterior} - - - - - -r^nV \end{array} \right.
 \end{array}$$

Sendo r hum coefficiente, sempre menor que a unidade, e dependente da grossura do vidro, que fôrma as botelhas.

139. Deste equilibrio resulta, que se communicarmos a superficie interior de A_1 , com a exterior de A_n , todo o aparelho se descarregará; mas a descarga será composta unicamente de V electricidade vitrea da primeira botelha, e $-r^nV$ de electricidade resinosa da ultima; por quanto os outros termos da serie, se destruirão entre si, combinando-se todas as electricidades das faces interiores, e exteriores, que são iguaes, e oppostas cada huma a cada huma. Se porém, servindo-nos de hum cabo isolante, separarmos as diversas botelhas, cada huma dellas se achará carregada; e se pousando-as sôbre huma base commum, as communicarmos humas ás outras, pela face interior, isto he, pelos ganchos: quando pozermos em communicação todas as faces interiores, com as exteriores, teremos huma descarga, que se comporá da somma de todas as electricidades vitreas, e resinosa do aparelho.

140. O que aqui dissémos de huma serie de botelhas; diz-se igualmente de huma serie de batarias electricas, e este modo de carregar as batarias, tem o nome de *carga por cascata*; he porém necessario na practica trabalhar com grande attenção, a fim de não receber por descuido huma descarga, que sendo fortes, e em grande numero as baterias,

pôde ser perigosa; ou pelo menos incommoda para o operador: eis-aqui pois como convem opperar.

Para carregar por cascata huma serie de baterias, e tirar a descarga total, collocaremos cada bateria sôbre hum isolador (Fig.^a 22). Isto feito, communicaremos a face exterior E da primeira, com a face interior I' da segunda, a face exterior E' da segunda, com a interior I'' da terceira, e assim por diante; e finalmente a face exterior da ultima com o sólo: e pondo então a face interior I da primeira, em contacto com o conductôr da machina, porêmos esta em movimento, até que hum electrosκόpio simples, collocado na primeira bateria, se erija consideravelmente.

Desfaremos então a communicação das baterias com a machina, e da ultima face com o sólo, e poderemos tirar á mão as outras communicações; por quanto a electricidade das faces externas contendo as electricidades internas, não pôde, neste caso haver descarga. Collocaremos depois com cabos isolantes hasteas, que communicuem entre si I, I', I'' &c., e então, pondo com hum excitador de cabos de vidro, hum ponto qualquer do conductôr interior dos I, I', I'' &c., com hum ponto qualquer das faces externas, obteremos a descarga total das baterias.

141. Para verificar os resultados, que o calculo pôde dar, sendo applicado á carga por cascata, o Professor Biot construiu o apparelho, a que chamou *pilha electrica*, e que não he outra cousa mais, que huma serie de placas de vidro isoladas, armadas de folhas metalicas em ambas as faces, e communicando de huma á outra da maneira, que o exige a carga por cascata: estas pilhas, quando depois de carregadas se isolão, appresentão as suas duas faces extremas em estados electricos oppostos, hum vitreo, outro resinoso; as tenções electricas diminuem mui rapidamente de lamina para lamina, e a partir das extremidades para o centro, e no meio da pilha são nullas.

142. Se huma similhante pilha se fracciona, cada secção appresenta dois pólos. situados da mesma maneira, que na pilha primitiva. Tudo isto são consequencias necessarias da carga por cascata, e do equilibrio electrico nestes apparelhos. A simples reflectão sobre o que temos dito neste capitulo basta para deduzir estas conclusões, e o calculo para prevê-las, e medi-las com todo o rigor; como porém este calculo he mais

longo, que difficil, omitti-lo-hemos, por não ser nimiamen-
te extensos. Os leitores, que quizerem exercitar-se nelle, po-
derão consultar a Physica Experimental, e Mathematica de
Biot, 2.º Vol. Liv. 3.º Cap. X.

Efeitos da descarga electrica.

143. Quando as electricidades oppostas se recombinaõ
appresentão phenomenos diversos, segundo a natureza do ar-
co de communicação, e segundo a intensidade das electrici-
dades, cuja combinaçãõ se oppera: vamos occupar-nos de al-
guns destes phenomenos, que appresentão hum interesse par-
ticular.

144. Quando orgãos animaes servem de arco de com-
munição ás electricidades oppostas, sente-se huma commo-
çãõ particular, e desagradavel, a que se dá o nome de *cho-
que electrico*: esta commoção pouco sensivel, quando as quan-
tidades de electricidade, que constituem a descarga, são in-
significantes; torna-se incommoda, dolorosa, perigosa, e até
mortal, quando a descarga he produzida por grandes quan-
tidades de fluido electrico.

Para que hum animal seja affectado por esta commoção,
não he sempre necessario, que sirva de communicação entre
a face interior, e exterior de huma bateria; basta que pela
cessação de huma causa influente, se faça através dos orgãos
do animal a recombinação das electricidades. Se se toma hu-
ma rã, animal por extremo sensivel ás commoções electri-
cas, e depois de haver separado as partes superiores do cõr-
po, se põe a nú os musculos lombares, e se suspende a rã
em frente de hum conductôr; a cada faisca, que se tirar ao
conductôr, a rã experimentarã hum movimento convulsivo.
Neste caso, pela influencia do conductôr electrizado, as elec-
tricidades da rã são decompostas, a de nome opposto a que
reside no conductôr, he repellida para o sólo, e pelo con-
trario a de ~~mesmo~~ nome he attrahida; quando eu tiro huma
faisca ao conductôr, diminuo a sua carga, e por consequente
huma parte da electricidade, que a acção da carga total ha-
via decomposto, deve recompôr-se, e o animal, através de
cujos orgãos se faz a reuniaõ, experimenta, pelo effeito del-
la, o movimento convulsivo indicado.

145. Se a carga do conductôr influente fõsse mui grande,

e mui grandes por consequente as quantidades de electricidade, que se combinao através dos órgãos do animal, pela cessação subita da influencia, o effeito poderia ser mortal: não só para hum animal tão sensivel, como huma rã; mas até para hum animal robusto, como v. g., hum homem, hum cavallo, ou hum boi. Adiante veremos, que este effeito tem realmente lugar em certas circumstancias.

146. Se pegâmos em huma botelha de Leyde carregada, e com o excitador simples communicâmos a face interna, e externa, a descarga far-se-ha toda pelo arco metalico, sem que se experimente commençação. Com effeito, sempre que a combinaçao das electricidades se pôde fazer por dois arcos, cujas conductibilidades são muito diversas, a recombinacaõ faz-se sensivelmente toda através do melhor conductôr. Se porém o melhor conductôr não tem capacidade sufficiente para dar livre passagem a toda a electricidade, a descarga far-se-ha por ambos; mas sempre em maior quantidade pelo melhor conductôr. Mas se a differença de conductibilidade he muito pequena, a electricidade passa por ambos, em quantidades relativas á conductibilidade de cada hum.

147. Como não ha côrpo algum, por maior que seja a sua conductibilidade, que não offerença alguma resistencia ao movimento dos fluidos electricos, segue-se; que tanto mais comprido fôr, em circumstancias aliás iguaes, o arco de communicacaõ, mais resistencias opporá á recombinacaõ das electricidades; e com effeito, quando dois arcos de huma conductibilidade igual, porém diversos em seus comprimentos, se offerecem por communicacaõ á electricidade, a descarga faz-se quasi toda pelo mais curto.

148. Quando as electricidades, que tendem a reunir-se; em vez de acharem hum arco conductôr, que lhes dê passagem, achão hum arco não conductôr, e que a força attractiva he sufficiente para isso; as electricidades rompem o obstaculo, affastaõ as molleculas do côrpo não conductôr, e abrem-se através da sua massa hum canal vazio de communicacaõ. Deste modo he que tem lugar as descargas através do ar, e de todos os gazes; porém o mesmo effeito se pôde observar através dos côrpos sólidos, do vidro por exemplo.

Tome-se hum aparelho consistindo em huma base *AB*, Fig. 23.^a duas columnas isolantes *CD*, hum côrpo conductôr terminado por huma ponta *F*: na base haja huma igual ponta *F'* cerca-

da por hum cylindro de cristal aberto em cima, para collocar huma lamina de vidro entre as duas pontas. Por meio de huma cadeia *R*, ponha-se a base em contacto com a face exterior de huma botelha de Leyde bem carregada, e toque-se com o gancho da botelha em *E*: as electricidades, que não podem passar de ponta a ponta, senão através da lamina de vidro, a furarão, e recombinar-se-hão. Huma gota de azeite, que una a ponta superior ao vidro, ajudará o effeito, sem que a razão seja até agora bem conhecida.

149. Entre os fluidos aeriformes, nem todos offerecem igual resistencia á passagem da electricidade; ainda quando se achão sujeitos á mesma pressão, quer dizer, reduzidos ao mesmo grão de força elastica. Para verificar, e até medir estas differenças, usa-se de hum aparelho mui comodo, que consiste 1.^o em huma botelha de Leyde, cuja haste termina por huma esfera metalica, 2.^o huma columna isolante, sustentando hum conductôr, que termina tambem em huma esfera, e pôde por meio de huma cadeia pôr-se em communicação com o sólo, e aproximar-se mais, ou menos da esfera da botelha. He evidente, que a distancia, que medear entre as duas esferas determinará a maior, ou menor facilidade da descarga. Se hum fóco de electricidade communicar com este aparelho, e por outra parte com duas esferas *a*, e *b* encerradas em hum ellipsoyde de vidro, cheio de hum outro gaz, e estas esferas podêrem tambem aproximar-se mais, ou menos, aquelle dosapparelhos, em que a descarga se fizer com maior distancia entre os conductôres, indicará, que o gaz nelle contido offerece menos resistencia á recombinção das electricidades oppostas: e comparando as distancias, em que a descarga he possível, teremos a relação entre as resistencias.

150. Quando dois côrpos conductôres, dos quaes hum se acha electrizado, não estão assás proximos, para que entre elles se effectue a descarga electrica; mas entre elles pende huma esfera conductôra: a esfera vai successivamente de hum a outro, e serve por assim dizer de carretar as electricidades oppostas, e descarregar o côrpo. Da-se ordinariamente aos conductôres a fôrma de campainhas, e o pendulo, que oscilla, ferindo huma, e outra campainha, produz, o que chamamos *carrilho electrico*. Na Physica de espectáculo dão-se a este phenomeno infinidade de apparencias, já de bonécos

dançando, já de outras fórmās, &c. A razão deste phenomeno he facil de perceber; com effeito, supponhamos a campainha *A* electrísada vitreamente, a campainha *B*, que commu- Fig. 26
 nica com o sólo, estará electrísada resinosa; o cõrpo *C* será attrahido para *A*, onde a carga electrica he mais forte; mas tocando *A*, electrísar-se-ha vitreamente, e *A* o repellirá, e *B* o attrahirá; por conseguinte irá para *B*; chegando a *B*, o fluido vitreo, que leva, será neutralisado por parte do resinoso de *B*, e o cõrpo tomará electricidade resinosa; neste estado será repellido por *B*, attrahido por *A*: logo irá ter a *A*, e assim por diante.

151. No momento, em que a descarga electrica tem lugar através de hum gaz, o gaz he repellido para todos os lados, o que o fõrça a condensar-se, quando o espaço he limitado por hum envolucro resistente. Seja por exemplo, o cylindro de vidro *A* terminado nas suas duas extremidades Fig. 27.
 por dois fundos de metal, que o fechem hermeticamente, e através dos quaes passem os conductõres *a* e *b*, separados a ponto de não poder a electricidade passar de hum ao outro, sem huma descarga energica: no fundo inferior haja hum tubo recurvado *C*, communicando com o interior do cylindro: lance-se mercurio no vaso até *or*, e ponha-se o conductõr *a* em communicação com o sólo, e o conductõr *b*, com huma machina electrica. Cada descarga, que tiver lugar entre *a* e *b*, fará subir o mercurio em *o*; prova evidente da compressão, que a descarga exerce sôbre o ar contido em *A*. Este instrumento chama-se impropriamente thermometro de Kinnersley.

152. Quando a descarga electrica se effectua por hum conductõr, cuja capacidade não he muito consideravel relativamente á intensidade da descarga, a temperatura do conductõr eleva-se mais, ou menos, e esta elevação de temperatura pôde ser sufficiente para produzir a incandescencia, a fuzão, e até a volatilisação do arco conductõr. Estes phenomenos tornão-se mui apparentes, communicando por fios mais, ou menos delgados, os dois conductõres do excitador universal, e proporcionando a força da bateria, e a grossura, e comprimento do fio, ao effeito, que se pertende Fig. 28.
 obter.

153. Quando a descarga volatilisa o fio, nunca he total; o que nos mostrá: 1.^o que a descarga não he rigorosamen-

te instantanea: 2.º, que os melhores conductôres resistem a algum tanto á passagem de huma grande quantidade de fluido electrico.

154. Quando os metaes, expostos á descarga, são de natureza a oxidar-se pela elevação de temperatura, a oxidação tem lugar: o ferro, v. g., he susceptivel de oxidar-se pela acção da electricidade, o ouro ou se oxida, ou se divide a ponto de tomar huma côr rôxa, pela descarga, e de podêr servir por este meio, para produzir huma infinidade de desenhos variados á vontade do operador: os quaes se obtem comprimindo a lamina de ouro, o papel em que se pertende o desenho, e o outro, em que o desenho está recortado entre duas chapas de vidro, em huma prensa, e fazendo passar a faisca electrica.

155. O calôr, produzido pela descarga electrica, parece em grande parte ser devido á compressão subita, que o fluido exerce, chocando as molléculas dos côrpos na sua passagem; e como os gazes subitamente comprimidos, evolvem huma grande quantidade de calorico, esta elevação de temperatura he sufficiente para produzir a detonnação de certas misturas de gazes, que, como veremos no estudo chymico, são susceptiveis de detonnar pelo calôr. Existe hum aparelho, a que se chama *pistola de Volta*, que serve para mostrar este phenomeno, e consiste em hum vaso de vidro, ou de metal, em que se introduz oxigenio, e hydrogenio, e depois tapa-se com huma rôlha de cortiça; no interior do vaso ha dois conductôres, entre os quaes se effectua huma descarga, quando hum delles se põe em communicação com a machina. Esta descarga inflama o gaz, produz a detonnação, e projecta a rôlha de cortiça, que fechava o aparelho. A descarga electrica inflama tambem os côrpos liquidos inflamaveis facilmente.

Lance-se ether em hum vaso metalico, não isolado, isole-se hum individuo, e ponha-se em contacto com a machina, appresentando o dedo ao ether, inflama-lo-ha. A razão he evidente.

156. Se porém o arco de communicação tem capacidade sufficiente para dar passagem livre a toda a descarga, a elevação de temperatura não he sensivel, e as materias as mais inflamaveis podem, como v. g., a polvora, cercar sem perigo o arco conductôr,

Luz electrica.

157. Quando as electricidades oppostas se combinão, e em geral, quando o fluido electrico atravessa hum meio transparente, ha sempre produçãõ de luz, a qual varia segundo a fórma, e distancia dos corpos, entre os quaes tem lugar a descarga, segundo a natureza da electricidade, e segundo finalmente a resistencia do meio, que a electricidade atravessa. A produçãõ de luz devida á electricidade, parece ser produzida pela compressãõ do meio; e com effeito, tanto mais raro he o meio, tanto mais fraca he a luz. A existencia da dita luz no vácuo, não contradiz este principio; pois que todos os vácuos, que podêmos obter, são sómente aproximados, e podem ainda considerar-se como meios bastante densos, relativamente á velocidade enorme do fluido electrico em movimento. Vamos apontar alguns destes phenomenos de luz.

Experiencia 1.^a

Atarrache-se no conductôr da electrica huma ponta metálica, faça-se girar a machina; vêr-se-ha na extremidade da ponta, hum pincel brilhante, devido á dissipaçãõ do fluido vitreo do conductôr. Se em vez de electricidade vitrea, a da machina fôsse resinosa, o pincel luminoso tornar-se-hia em hum simples ponto.

Experiencia 2.^a

A^a ponta empregada na experiencia antecedente, apresente-se huma esfera não isolada: quando a distancia fôr mui pequena, haverá entre a ponta, e a esfera, huma serie de faiscas, de huma luz branca, e viva: augmentando a distancia, as faiscas serão menos continuadas, e de côr azulada. Finalmente augmentando mais a distancia, formar-se-ha huma piramide conica luminosa, de luz rôxa, e fraca, que tem por base metade da esfera, e por vertice a ponta. Estas differenças de côres, produzidas pelas diversas distancias, tem lugar pela rarefaçãõ do ar, quando as descargas se fazem entre

conductôres encerrados em hum vaso, do qual se pôde rarefazer o ar com a pneumática.

Experiencia 3.^a

Quando a hum conductôr electrizado se apresenta de longe huma ponta, observar-se-ha o pincel de raios na extremidade da ponta, se a electricidade do conductôr fôr resinosa; e pelo contrario, hum simples ponto, se fôr vítrea. Com effeito, no primeiro caso a electricidade accumulada na ponta he vítrea, e no segundo resinosa.

Experiencia 4.^a

Se se collaõ sôbre huma superficie de vidro, huma serie de pontos metallicos, separados por pequenos intervalos, e se communica o primeiro com o conductôr da machina electrica: a serie das descargas de hum ponto ao outro, formará hum traço de luz, que apresentará hum desenho illuminado. Por meio da luz electrica se produzem, variando osapparelhos, huma infinidade de espectáculos summamente agradaveis á vista.

158. Para terminar o que temos a dizer sôbre as descargas electricas dos nossos apparelhos, resta-nos saber, se quando a descarga tem lugar entre dois conductôres, he a electricidade vítrea, que vai buscar a resinosa, ou vice versa; ou se em fim as duas electricidades se precipitaõ huma para a outra?

Suspenda-se huma carta envernizada, e isolada *A*, entre dois conductôres *V* e *R*, que não fiquem fronteiros, communique-se a parte exterior de huma botelha carregada com *R*, e o gancho com *V*: a descarga furará a carta em *R*: logo a electricidade vítrea, he que foi buscar a resinosa. Rarefazendo o ar successivamente, vê-se que o buraco, que indica a uniaõ, se aproxima de *V*: logo o ar exerce maior resistencia para conter a electricidade resinosa, que a vítrea; e por consequente a electricidade vítrea he quem, sob a pressaõ ordinaria, vai buscar a resinosa, e não a resinosa a vítrea.

Fig. 29.^a

Electricidade atmospherica, e pára-raios.

159. A materia, que constitue o terrivel meteoro do raio; a cujo movimento he devido o estampido horrendo do trovão, era inteiramente desconhecida aos Physicos, anteriores a Franklin. Este sabio foi o primeiro, que persuadido pela analogia das descargas das baterias electricas, com os phenomenos dos trovões, suspeitou, que estes dois phenomenos podiaõ mui bem ter huma mesma causa, e mostrou evidentemente, que a explosão espantosa do raio, não era senão huma simples descarga electrica. Varios Physicos na Europa, excitados pela idéa do Philosopho de Phyladelfia, repetirão, ampliãrão, ou aperfeçoãrão as suas experiencias, e acabãrão de dar á doutrina de Franklin toda a evidencia.

Naõ seguiremos aqui, assim como o naõ temos feito no resto deste tractado, a marcha das descobertas, nem a serie de experimentos, que conduzirão ao grão actual de perfeição os conhecimentos, que hoje possuímos nesta materia; mas apontaremos unicamente as experiencias, das quaes se deduz evidentemente a natureza da materia do raio, e exporemos os principaes phenomenos, a que dá lugar a electricidade atmospherica.

160. O primeiro passo necessario para conhecer a natureza da materia dos raios, he indubitavelmente recolher esta materia. Para este fim, isola-se huma barra de metal terminada em ponta, e no momento, em que a nuvem, que traz os raios, passa sôbre a ponta, esta dá faiscas electricas, de que se pôde examinar a natureza, e por ellas conhecer a da nuvem. Porque se a nuvem contém electricidade vitrea, a electricidade, que sahe da barra, debaixo da influencia da nuvem, será tambem vitrea. Tanto mais proxima estiver da nuvem a ponta, tanto maior será a quantidade de electricidade, que della se tirará; pois sabemos, que as quantidades de fluido electrico natural, decompostas por influencia, estão na razão inversa dos quadrados das distancias, que separão os côrpos influente, e influído.

161. Estes phenomenos, que são consequencias necessarias da theoria da electricidade, são rigorosamente taes na observação. Franklin, e outros Physicos depois delle, na falta de edificios assás elevados para aproximar sufficientemente a pon-

ta da nuvem, imaginárao ligá-la a hum papagaio sustentado por huma corda de materia conductôra, e por este meio obtiveráo da corda, naõ só faiscas; mas laminas de fogo de huma pollegada de grossura, e sete a oito pés de comprimento, que faziáo hum estrondo superior ao de hum tiro de pistola. Similhanes experiencias devem ser tentadas com toda a cautela. He evidente: 1.º, que se o observador tivesse na maõ a corda conductôra, fazendo elle mesmo parte do arco de communicação de similhanes descargas, seria infallivelmente fulminado: 2.º, que deve sempre estar a huma distancia maior da extremidade da corda, do que o estão os bons conductôres, sôbre os quaes se devem dirigir as descargas. O apparelho o mais perfeito para este objecto, he o de que usa o Professor Charles.

Este Professor, lança o papagaio, antes que a trovoadá esteja eminente, e em vez de ter, para o dirigir, a corda na maõ, enrolá-a em hum cylindro sustentado sôbre quatro columnas de vidro, e movido com huma manivella isolante. Em quanto se larga a corda, põe-se o cylindro em communicação com duas estacas de ferro, que se espetaõ em chaõ humido; e quando se quer commecar a experiencia, tira-se a cadeia de communicação, e o observador se affasta do apparelho, a huma distancia sensivelmente maior, que a do cylindro ás estacas. Se ha huma explosão subita, a descarga faz-se, do cylindro para as estacas, sem perigo do observador. Por meio destes, e outros similhanes apparelhos, naõ sómente se prova, que as nuvens de trovoadá, são nuvens carregadas de electricidade; mas observa-se, que esta he em humas vitrea, e em outras resinosa.

162. Com estes conhecimentos, todos os phenomenos das trovoadas se acháo completamente explicados. Com effeito se duas nuvens, huma trazendo em si a electricidade vitrea por exemplo, e outra a resinosa, se acháo em distancia huma da outra, attrahir-se-háo, e com a diminuição da distancia, augmentará a attracção reciproca das suas electricidades: chegará em fim hum momento, no qual esta attracção, sendo superior á resistencia do ar entrepôsto entre as duas nuvens, a recombinção das electricidades oppostas terá lugar, e neste instante vêr-se-ha partir de huma nuvem para a outra hum raio, e a vibração communicada ao ar, nos fará distinguir o estampido, a que chamâmos trovão. Esta he

a razão pela qual nas trovoadas o maior numero de raios não cahem sôbre a terra; mas são despedidos de humas para outras nuvens. Se huma das nuvens estivesse no estado natural, a decomposição das suas electricidades naturaes, daria do mesmo modo lugar á attracção reciproca, e esta á descarga, em consequencia do incremento da attracção dos fluidos, com a diminuição da distancia.

163. Consideremos agora, porque maneira he fulminado hum objecto terrestre. He evidente, que se huma nuvem carregada de electricidade, se aproxima de hum objecto, as electricidades naturaes do objecto, e do sólo adjacente, são decompostas: a electricidade do mesmo nome, que a da nuvem, he repellida para o sólo, em quanto a de nome opposto he attrahida para o cume do objecto, e isto em tanto maior quantidade, quanto he mais forte a electricidade da nuvem. A medida, que se accumula a electricidade no cume do objecto, igual accumulacão se faz na nuvem; e se as accumulacões são taes, que a pressão do ar, não offerece ás suas attracções sufficiente resistencia, o ar será affastado, a reunião das electricidades oppostas terá lugar, o objecto será fulminado. Daqui se infere, que em geral os objectos mais elevadas, sendo aquelles, que por mais proximos ás nuvens, devem accumular maior somma de electricidade, são os mais expostos a serem fulminados; as altas torres, nas cidades, as arvores nas planicies, os mastros dos navios nos mares, são em geral mais expostos ao raio, que os pontos adjacentes.

164. Vimos que as descargas das baterias electricas podião tornar incandescentes, fundir, e até volatilisar os metaes; que rompiaõ o vidro, produziaõ a morte dos animaes, &c. Ora se compararmos as superficies destes apparatus, com a extensa superficie de huma nuvem electrizada, he facil vêr, quanto incomparavelmente mais forte pôde ser a descarga desta ultima, que a dos nossos apparatus; e por consequente nada nos devem espantar os terriveis effeitos dos raios. Do mesmo modo tendo observado qual era a impressão, que a descarga subita de hum corpo influente, pôde ter sôbre os conductôres influidos, ainda quando estes não fazem parte do arco de communicacão das electricidades oppostas; he facil conceber, como no momento de huma descarga de electricidade atmospherica, podem perecer os animaes sujeitos á

ta da nuvem, imaginárao ligá-la a hum papagaio sustentado por huma corda de materia conductôra, e por este meio obtiveráo da corda, naõ só faiscas; mas laminas de fogo de huma pollegada de grossura, e sete a oito pés de comprimento, que faziao hum estrondo superior ao de hum tiro de pistola. Similhanes experiencias devem ser tentadas com toda a cautela. He evidente: 1.º, que se o observador tivesse na maõ a corda conductôra, fazendo elle mesmo parte do arco de communicação de similhanes descargas, seria infallivelmente fulminado: 2.º, que deve sempre estar a huma distancia maior da extremidade da corda, do que o estaõ os bons conductôres, sôbre os quaes se devem dirigir as descargas. O apparelho o mais perfeito para este objecto, he o de que usa o Professor Charles.

Este Professor, lança o papagaio, antes que a trovoadá esteja eminente, e em vez de ter, para o dirigir, a corda na maõ, enrola-a em hum cylindro sustentado sôbre quatro columnas de vidro, e movido com huma manivela isolante. Em quanto se larga corda, põe-se o cylindro em communicação com duas estacas de ferro, que se espetaõ em chaõ humido; e quando se quer commecar a experiencia, tira-se a cadeia de communicação, e o observador se affasta do apparelho, a huma distancia sensivelmente maior, que a do cylindro ás estacas. Se ha huma explosão subita, a descarga faz-se, do cylindro para as estacas, sem perigo do observador. Por meio destes, e outros similhanes apparelhos, naõ sómente se prova, que as nuvens de trovoadá, saõ nuvens carregadas de electricidade; mas observa-se, que esta he em humas vitrea, e em outras resinosa.

162. Com estes conhecimentos, todos os phenomenos das trovoadas se acháo completamente explicados. Com effeito se duas nuvens, huma trazendo em si a electricidade vitrea por exemplo, e outra a resinosa, se acháo em distancia huma da outra, attrahir-se-haõ, e com a diminuição da distancia, augmentará a attracção reciproca das suas electricidades: chegará em fim hum momento, no qual esta attracção, sendo superior á resistencia do ar entrepôsto entre as duas nuvens, a recombinação das electricidades oppostas terá lugar, e neste instante vêr-se-ha partir de huma nuvem para a outra hum raio, e a vibração communicada ao ar, nos fará distinguir o estampido, a que chamâmos trovão. Esta he

a razão pela qual nas trovoadas o maior numero de raios não cahem sôbre a terra; mas são despedidos de humas para outras nuvens. Se huma das nuvens estivesse no estado natural, a decomposição das suas electricidades naturaes, daria do mesmo modo lugar á attracção reciproca, e esta á descarga, em consequencia do incremento da attracção dos fluidos, com a diminuição da distancia.

163. Consideremos agora, porque maneira he fulminado hum objecto terrestre. He evidente, que se huma nuvem carregada de electricidade, se aproxima de hum objecto, as electricidades naturaes do objecto, e do sólo adjacente, são decompostas: a electricidade do mesmo nome, que a da nuvem, he repellida para o sólo, em quanto a de nome opposto he attrahida para o cume do objecto, e isto em tanto maior quantidade, quanto he mais forte a electricidade da nuvem. A medida, que se accumula a electricidade no cume do objecto, igual accumulacão se faz na nuvem; e se as accumulacões são taes, que a pressão do ar, não offerece ás suas attracções sufficiente resistencia, o ar será affastado, a reuniao das electricidades oppostas terá lugar, o objecto será fulminado. Daqui se infere, que em geral os objectos mais elevadas, sendo aquelles, que por mais proximos ás nuvens, devem accumular maior somma de electricidade, são os mais expostos a serem fulminados; as altas torres, nas cidades, as arvores nas planicies, os mastros dos navios nos mares, são em geral mais expostos ao raio, que os pontões adjacentes.

164. Vimos que as descargas das baterias electricas podião tornar incandescentes, fundir, e até volatilisar os metaes; que rompiaõ o vidro, produziaõ a morte dos animaes, &c. Ora se compararmos as superficies destes aparelhos, com a extensa superficie de huma nuvem electrizada, he facil vêr, quanto incomparavelmente mais forte pôde ser a descarga desta ultima, que a dos nossos aparelhos; e por consequente nada nos devem espantar os terriveis effeitos dos raios. Do mesmo modo tendo observado qual era a impressão, que a descarga subita de hum corpo influente, pôde ter sôbre os conductôres influidos, ainda quando estes não fazem parte do arco de communicacão das electricidades oppostas; he facil conceber, como no momento de huma descarga de electricidade atmospherica, podem perecer os animaes sujeitos á

ta da nuvem, imaginá-la ligá-la a hum papagaio sustentado por huma corda de materia conductôra, e por este meio obtiverão da corda, não só faiscas; mas laminas de fogo de huma pollegada de grossura, e sete a oito pés de comprimento, que faziao hum estrondo superior ao de hum tiro de pistola. Similhanes experiencias devem ser tentadas com toda a cautela. He evidente: 1.º, que se o observador tivesse na mão a corda conductôra, fazendo elle mesmo parte do arco de comunicação de similhanes descargas, seria infallivelmente fulminado: 2.º, que deve sempre estar a huma distancia maior da extremidade da corda, do que o estão os bons conductôres, sôbre os quaes se devem dirigir as descargas. O apparelho o mais perfeito para este objecto, he o de que usa o Professor Charles.

Este Professor, lança o papagaio, antes que a trovoadá esteja eminente, e em vez de ter, para o dirigir, a corda na mão, enrola-a em hum cylindro sustentado sôbre quatro columnas de vidro, e movido com huma manivella isolante. Em quanto se larga corda, pôe-se o cylindro em comunicação com duas estacas de ferro, que se espetao em chão humido; e quando se quer commecar a experiencia, tira-se a cadeia de comunicação, e o observador se affasta do apparelho, a huma distancia sensivelmente maior, que a do cylindro ás estacas. Se ha huma explosão subita, a descarga faz-se, do cylindro para as estacas, sem perigo do observador. Por meio destes, e outros similhanes apparelhos, não sómente se prova, que as nuvens de trovoadá, são nuvens carregadas de electricidade; mas observa-se, que esta he em humas vitrea, e em outras resinosa.

162. Com estes conhecimentos, todos os phenomenos das trovoadas se achão completamente explicados. Com effeito se duas nuvens, huma trazendo em si a electricidade vitrea por exemplo, e outra a resinosa, se achão em distancia huma da outra, attrahir-se-hão, e com a diminuição da distancia, augmentará a attracção reciproca das suas electricidades: chegará em fim hum momento, no qual esta attracção, sendo superior á resistencia do ar entrepôsto entre as duas nuvens, a recominação das electricidades oppostas terá lugar, e neste instante vêr-se-ha partir de huma nuvem para a outra hum raio, e a vibração communicada ao ar, nos fará distinguir o estampido, a que chamâmos trovão. Esta he

a razão pela qual nas trovoadas o maior numero de raios não cahem sobre a terra; mas são despedidos de humas para outras nuvens. Se huma das nuvens estivesse no estado natural, a decomposição das suas electricidades naturaes, daria do mesmo modo lugar á attracção reciproca, e esta á descarga, em consequencia do incremento da attracção dos fluidos, com a diminuição da distancia.

163. Consideremos agora, porque maneira he fulminado hum objecto terrestre. He evidente, que se huma nuvem carregada de electricidade, se aproxima de hum objecto, as electricidades naturaes do objecto, e do sólo adjacente, são decompostas: a electricidade do mesmo nome, que a da nuvem, he repellida para o sólo, em quanto a de nome opposto he atrahida para o cume do objecto, e isto em tanto maior quantidade, quanto he mais forte a electricidade da nuvem. A medida, que se accumula a electricidade no cume do objecto, igual accumulacão se faz na nuvem; e se as accumulacões são taes, que a pressaõ do ar, não offerece ás suas attracções sufficiente resistencia, o ar será affastado, a reuniaõ das electricidades oppostas terá lugar, o objecto será fulminado. Daqui se infere, que em geral os objectos mais elevadas, sendo aquelles, que por mais proximos ás nuvens, devem accumular maior somma de electricidade, são os mais expostos a serem fulminados; as altas torres, nas cidades, as arvores nas planicies, os mastros dos navios nos mares, são em geral mais expostos ao raio, que os pontos adjacentes.

164. Vimos que as descargas das baterias electricas podiaõ tornar incandescentes, fundir, e até volatilisar os metaes; que rompiaõ o vidro, produziaõ a morte dos animaes, &c. Ora se compararmos as superficies destes apparatus, com a extensa superficie de huma nuvem electricada, he facil vêr, quanto incomparavelmente mais forte pôde ser a descarga desta ultima, que a dos nossos apparatus; e por consequente nada nos devem espantar os terriveis effeitos dos raios. Do mesmo modo tendo observado qual era a impressaõ, que a descarga subita de hum côrpo influente, pôde ter sobre os conductôres influidos, ainda quando estes não fazem parte do arco de communicacão das electricidades oppostas; he facil conceber, como no momento de huma descarga de electricidade atmospherica, podem perecer os animaes sujeitos á

Fig. 30.^a

influencia da nuvem electrizada; ainda achando-se em distancias consideraveis, do lugar em que se faz a explosão.

165. Posto que a descarga electrica seja instantanea, o estrondo do trovão parece ter sempre huma certa duração; porém este phenomeno he huma consequencia necessaria da transmissão do som. Com effeito, supponhamos que o observador estando em O , a descarga se faz de T para T' , todos os pontos da linha TT' serão agitados no mesmo instante physico, visto ser infinitamente grande a velocidade da electricidade; mas se tomamos na linha TT' , os tres pontos m , m' , m'' , como as distancias $m''O$, $m'O$, e mO ao observador são diversas, os sons produzidos em m'' , m' , e m , posto que originados no mesmo instante physico, chegarão huns após outros ao ouvido do observador em O , que por este meio terá a sensação de hum estrondo prolongado. Ha além disto phenomenos de éco, que augmenta ainda a duração, e fazem variar a intensidade do som.

166. Franklin, depois de haver descoberto, tanto a natureza da materia dos raios, como o poder das pontas para em distancia descarregar hum conductor electrizado, applicou estes conhecimentos aos appparelhos proprios para preservar os edificios dos estragos daquelle terrivel meteoro. Estes appparelhos consistem em huma ponta metalica, situada no cume do edificio, e communicando por meio de huma barra, de huma serie não interrompida de barras, ou em fim de huma corda metalica, com hum sólo humido, e bom conductor. Estes appparelhos, a que se dá vulgarmente o nome de conductôres, e que nós para os distinguirmos, do que até agora temos denominado conductôres, chamaremos *Pára-raios*, são tão interessantes, que convém examinar qual he a sua acção, e quaes os meios de lhes dar o gráo de perfeição, de que são susceptiveis.

167. Se, v. g., huma nuvem carregada de electricidade vitrea, vem aproximar-se de hum edificio destituido de Pára-raio, de huma torre, v. g., a electricidade natural da torre será decomposta; a electricidade resinosa será attrahida ao cume da torre, e a vitrea repellida para o sólo; a torre tendo hum cume arredondado, não dará sahida á electricidade nelle accumulada; senão quando a accumulacão no alto da torre, e na parte mais proxima da nuvem, tornando-se sup-

perior á resistencia do ar entreposto, as duas electricidades se combinarão por explosão; mas a explosão saturando a maior parte da electricidade da nuvem, a electricidade vitrea repellido buscará restabelecer-se em equilibrio, e achando nas parêdes da tôrre conductôres imperfeitos, relativamente á sua enorme velocidade, abalá-las-ha, e poderá faze-las em pedaços, quer dizer, o edificio será fulminado.

168. Supponhâmos agora a nuvem aproximando-se da tôrre, munida do Pára-raio; logo que a nuvem commença a exercer a sua influencia, as electricidades da tôrre serão decompostas; mas a menor quantidade de electricidades decompostas appresentará na ponta uma intensidade electrica mui consideravel, e por conseguinte a ponta, em virtude desta grande tensão electrica, hirá neutralizando pouco e pouco, e sem explosão, a electricidade da nuvem, e poderá em muitos casos reduzi-la ao estado natural. Se porém a nuvem se aproxima assás rapidamente, para que esta neutralisação lenta não seja sufficiente, a descarga inevitavelmente se fará sôbre a ponta, e todas as correntes electricas, que o restabelecimento do novo equilibrio exigem, achando para estabelecimento o bom conductôr do Pára-raio, o edificio não poderá ser fulminado. Porém para que os Pára-raios possam realmente salvar os edificios, he necessario, que sejam em numero sufficiente, para que a sua influencia os domine inteiramente; e sôbre tudo, que os conductôres sejam continuados da base da ponta ao sólo sem interrupção, e assás espessos para não serem fundidos, nem sensivelmente aquecidos pela electricidade. Hum Pára-raio, assim estabelecido, he hum guarda seguro contra aquelle terrivel phenomeno; e as materias as mais combustiveis podem tocar o conductôr, no acto da descarga, sem que haja o menor perigo de inflamação, com tanto, que este tenha a continuidade, e as dimenções, que acima dissemos.

169. Alguns outros metheóros, além dos trovões, e dos raios, parecem depender da electricidade atmospherica, taes, como por exemplo, são a saraiva. O celebre Volta, dá da formação da saraiva, huma explicação mui plausivel, suppondo que esta se fórma entre duas nuvens electrizadas diversamente. Então os globulos de agoa lançados de huma nuvem á outra, poderão aglomerar-se, se o frio he assás forte, e cahir finalmente quando as nuvens por huma explosão se

descargaõ. Tal pôde ser tambem a causa das chuvas enormemente grossas, que cahem ás vezes no acto das descargas electricas em huma trovoadã.

Se se toma hum apparelho, composto de huma campanula de vidro, e dois discos metalicos, dos quaes se electriza o superior por communicaçãõ, e o inferior consequentemente por influencia, e se mettem entre ambos ballas de miõlo de sabugueiro, estas ballas imitarãõ o movimento das molléculas aquosas, na hypothese de Volta.

170. Finalmente, não só existe electricidade livre na athmosfera no estado passageiro, e fortuito das trovoadas; mas habitualmente, e n'hum tempo perfeitamente claro, e sereno, observa-se no ar hum estado electrico vitreo, crescente com as alturas; porém a menor nuvem interrompe este estado. Para provar esta verdade, basta armar o electroscopio bem sensivel de huma ponta, o electroscopio divergirã, e a electricidade será vitrea, e tanto mais forte, quanto se elevar mais o instrumento. Pôde tambem opperar-se, como fazia Saussure, atando huma bolla a hum fio metalico enrolado ao botãõ do electroscopio, e atirando a bolla ao ar, esta no seu movimento, em quanto o comprimento do fio o permitia, communicava ao electroscopio o estado electrico do ar, que atravessava, por meio do mesmo fio; mas logo que hia além deste comprimento, desenrolava o fio todo, e a electricidade communicada ao electroscopio, ficava nelle isolada.

A athmosfera pôde pois suppôr-se como hum meio composto de molléculas, não conductôras; mas a superficie das quaes adhire huma pequena camada de electricidade vitrea, o que vem a ser o mesmo, que considerar o ar como hum meio, não conductôr, penetrado daquella electricidade, em huma progressãõ crescente com as alturas.

Idéa geral da electricidade por contacto.

171. O simples contacto de certas substancias heterogeneas, e especialmente de dois metaes diversos, constitue estes metaes em estados electricos oppostos, taes que se representarmos por V o estado de hum dos metaes, depois do contacto, — V será o estado do outro. Para o provar, tomaremos dois discos, hum de cobre por exemplo, e o outro de zinco, sustentados por cabos de vidro isolantes, e depois

de os pôr em contacto, separalos-hemos: e tocando com hum delles o electroscopio armado do condensador, e repetindo varias vezes os contactos, a fim de carregar o mais possivel este ultimo apparelho, acharemos o electroscopio electrizado, e quando o disco, com que o carregarmos, fôr o de cobre, a electricidade será resinosa; pelo contrario, será vitrea, quando o disco fôr o de zinco.

172. Poderia lembrar á primeira vista, que por mais leve, e delicadamente, que os dois discos metallicos se applicuem hum sôbre o outro, pôde suspeitar-se sempre a existencia de huma pressaõ, e attribuir a esta pressaõ a evoluçãõ das electricidades. Para pôr fóra de toda a dũvida, que a força electromotriz, neste caso, he produzida pelo simples contacto, uniremos huma á outra, como se vê na (Fig. 31), Fig. 31.* duas laminas, huma de cobre, outra de zinco. Se tomarmos a lamina de zinco com a mão, e tocarmos o electroscopio com a lamina de cobre, o electroscopio carregar-se-ha resinosamente: logo a electrizaçãõ não depende de choque, ou pressaõ; mas a força electromotriz existe todas as vezes, que tem lugar o contacto dos metaes heterogeneos. Esta força he diversa, em diversos metaes, e para que ella exista, basta a mais leve differença entre elles, assim por exemplo, o contacto do chumbo ordinario sempre impuro, com o chumbo de copéla perfeitamente desembaraçado de materias estranhas, produz ainda huma força electromotriz sensivel, como he possivel mostrar, multiplicando o seu effeito, por meio do condensador.

173. Podemos pois estabelecer em principio para o contacto, assim como fizemos para a fricçaõ, a regra seguinte:

Todas as vezes, que dois metaes heterogeneos isolados se achãõ em contacto, constituem-se em estados electricos oppòstos; e como, estando isolados os metaes, estes principios só podem provir da decomposiçãõ do seu fluido natural; segue-se, que além de oppòstos em natureza, estes principios serãõ iguaes em quantidade.

174. Todos os phenomenos de electricidades desenvolvidas pelo contacto, têm commumente o nome de phenomenos Galvanicos, do nome de Galvani, que foi o primeiro, que os estudou; postoque da sua causa formasse huma idéa mui errada. A theoria destes phenomenos he devida ao illustre Volta, Professor de Pavia; foi elle, quem mostrou, que o Galva-

nismo, nada mais era, que a electricidade produzida pelo contacto das materias heterogeneas, e que estes phenomenos podião em tudo submeter-se, como em breve o mostraremos, á theoria geral da electricidade. Não he da nossa intenção seguir, nesta parte, a marcha das descobertas; mas conformando-nos com o nosso plano, trataremos esta materia na ordem, que nos parece mais propria para a completa intelligencia da sua verdadeira theoria, explicando depois os variados, e importantes phenomenos, que podem produzir as electricidades desenvolvidas pelo contacto.

Exame do que se passa no contacto das substancias heterogeneas.

Fig. 32.^a 175. Supponhâmos collocadas sôbre hum isolador *A*, as duas laminas, *Z* de zinco, e *C* de cobre, que se tocam em *t*: Sabemos, que o contacto destas duas laminas gera huma força electromotriz; e postoque não possâmos saber como se gera esta força, sabemos com tudo, que a sua existencia dura, em quanto dura o contacto. Com effeito, tocando huma numero qualquer de vezes as laminas *Z* e *C*, e roubando-lhes por estes contactos, as suas cargas electricas, novas electricidades se desenvolverão de novo, e o apparelho estará sempre carregado, como antes de haver sido tocado a primeira vez. O effeito pois da força electromotriz, quando o apparelho se acha isolado, he unicamente limitado pelas forças, que tendem a reunir as electricidades oppostas, separadas pelo contacto; ora estas forças são aqui, como na fricção, a repulsão das molléculas de cada hum dos fluidos sôbre si mesmas, as quaes repulsões se oppõe á accumulacão de novas quantidades de principio vitreo em *Z*, e de principio resinoso em *C*; se pois representarmos por *E*, a força electromotriz, e por *r* cada huma das repulsões, teremos o apparelho n'hum estado estacionario, quando fôr $E = 2r$.

Ponhamos agora huma das laminas, v. g., *C*, em contacto com o sólo, o seu estado electrico será zero, e por tanto não haverá nella repulsão; e como *E* fica sempre constante, pois só depende do contacto, deverá para que haja equilibrio, ser ainda $E = 2r$: logo, a repulsão electrica deverá dobrar na chapa de zinco, quer dizer, que o zinco tornará neste caso huma carga dupla. Se pois no primeiro mo-

mento, isto he, quando o aparelho estava isolado, representarmos por A a quantidade de fluido natural decomposto pela força electromotriz, affectando do sinal $+$ a electricidade vitrea, e do sinal $-$ a electricidade resinosa, o estado electrico de Z será $+\frac{1}{2}A$, e o de C será $-\frac{1}{2}A$; mas quando C se communicar com o sólo, o seu estado electrico será 0 , e o estado de Z tornar-se-ha $+A = 2\frac{1}{2}A$, como o exige o equilibrio.

Daqui resulta, que todas as vezes, que dois metaes heterogêneos se achão em contacto, existe entre os seus estados electricos, huma differença $+A$, constante para os mesmos metaes, e diversa em metaes diversos.

Se tendo na mão a lamina de zinco, pômos a lamina de cobre, em contacto com o botaão de cobre de hum condensador (*), o contacto deste instrumento diminuirá a repulsaão da electricidade na chapa de cobre, e o condensador tomará huma carga resinosa dependente da sua força condensante, que será ainda limitada pela condição fundamental de $E = 2r$, sendo $2r$ neste caso, a repulsaão da electricidade livre na chapa de cobre, e no disco superior do condensador.

Quando porém tomâmos na mão a chapa de cobre, e pômos a chapa de zinco em contacto com o botaão do condensador, tambem de cobre, este não adquire carga electrica. Este phenomeno, que á primeira vista excita surprêza, he com tudo huma consequencia necessaria do principio expôsto, e como tal, nos dá huma confirmação experimental da verdade daqueile principio. Com effeito, a chapa de cobre communicando com o sólo, o seu estado electrico he zero: logo, pelo principio geral, o zinco deverá ter hum estado electrico $+A$; mas este zinco tóca o condensador, que he de cobre: logo para que a differença entre zinco, e cobre em contacto, se conserve sempre $+A$, como he de necessidade, por aquelle principio, o condensador terá o estado electrico zero, como tem com effeito, visto que não he possível carrega-lo por esta maneira.

(*) Postoque os botões dos condensadores sejaõ em geral de lataõ, que he huma liga de cobre, e zinco, a experiencia mostra, que esta liga em contacto com o zinco, tem humã força electromotriz, quasi identica com a do cobre.

176. A força electromotriz no contacto das substancias depende, como já dissemos, da natureza destas substancias. Muitas dellas, e taes são a agoa, as dissoluções salinas, &c., tem em contacto com os metaes huma força electromotriz sensivelmente nulla, e obraõ entãõ como simples conductôres, carregando-se, e transmittindo aos outros côrpos a electricidade do metal, com que se achãõ em contacto. Se pois na experiencia, que acabãmos de analisar, se pôe a lamina de zinco em communicacão com o condensador, por meio de hum semelhante côrpo, como v. g., hum papel molhado, o condensador carregar-se-ha vitreamente, pois que a interposiçãõ do conductôr humido, destroe a força electromotriz, que se oppunha á passagem da electricidade, do zinco para o condensador.

177. Do que temos expôsto sôbre os phenomenos, a que dá lugar o contacto dos metaes heterogeneos, se vê a grande analogia, que existe entre as duas laminas *Z* e *C* em contacto, e huma botelha de Leyde, ou em geral hum condensador qualquer. Com effeito em todo o condensador de qualquer especie ha duas superficies contiguas em estados electricos oppostos, e se communicãmos as duas superficies por hum arco conductôr, as electricidades oppostas recombinaõ-se, e o arco experimenta os effeitos de huma descarga. Similhantermente, se por hum arco conductôr communicãmos as chapas *C* e *Z*, as electricidades oppostas, nellas desenvolvidas pelo contacto, recombinaõ-se-haõ, e o arco experimentará os effeitos da descarga. Existe porém huma differença essencial entre o condensador, e o apparelho *Voltaico*. Com effeito o condensador, apenas se pôe em contacto, as suas duas superficies, ficaõ plenamente, ou quasi plenamente descarregadas, porque não tem em si huma força electromotriz propria, que possa carrega-las novamente; em quanto o apparelho *Voltaico*, não podendo existir sem a differença constante entre os estados electricos das chapas, que o compõe, carrega-se por si mesmo, á medida, que o contacto pelo arco conductôr o descarrega, o que estabelece huma corrente continua dos principios electricos, ou huma descarga não interrompida, através do arco conductôr.

178. A força electromotriz provinda do contacto, he pois eminentemente propria para por em hum movimento não interrompido os principios electricos, e por esse motivo a

designaremos daqui em diante pelo nome de força *Electrodinamica*. Postoque a força electrodinamica seja em geral fraca, ainda naquelles corpos, que della gozaõ no mais alto grão, com tudo a continuidade das descargas torna mui sensiveis os seus effeitos nos conductõres mui sensiveis á acção da electricidade, como são os orgãos animaes, e especialmente os dos animaes de sangue frio, que tem huma susceptibilidade particular para esta especie de effeitos.

Se na parte inferior da lingua applicãmos huma chapa de metal, cobre por exemplo, e na parte superior huma segunda chapa, v. g., de zinco, ou de prata, nenhum effeito se sentirá; mas se se tocarem as chapas huma com outra, pela parte saliente, experimentar-se-ha huma sensação particular, que poderá ser acompanhada de huma agitação do nervo optico, que figura huma especie de ralampago á vista. Esta sensação he devida á recombinação das electricidades oppostas através da lingua, electricidades separadas pela força electrodinamica dos metaes oppostos, que se tocaõ. Esta experiencia, tirada pelo genio de Volta do esquecimento, em que havia cahido, era muito anterior aos conhecimentos adiantados sôbre a electricidade, e não tinha nas mãos dos primeiros observadores feito dar passo algum á sciencia: tanto he verdade, que se hum concurso fortuído de circunstancias basta para patentear ao mais commum observador hum phenomeno desconhecido; só ao homem de talento pertence penetrar na verdadeira indicação do phenomeno, ligá-lo á serie das causas, de que depende, e tirar d'elle partido para o adiantamento da theoria.

Huma experiencia da mesma natureza, que a precedente; porém mais visível, e mais apparente, consiste em tomar huma rã, corta-la transversalmente por baixo dos braços, e despojar da pelle a parte inferior do tronco, com as pernas; depois disto separaõ-se todas as carnes, que cobrem os nêrvos lombáres *LL* (fig. 33), e corta-se a columna dorsal, como mostra a mesma figura, de tal maneira, que as pernas fiquem unicamente unidas pelos nêrvos *LL*. Isto feito, envolvem-se as extremidades *C* dos dois nêrvos, com huma folha de cobre, ou zinco, e deita-se a rã assim preparada, sôbre huma placa de vidro. Tomando entãõ hum excitador curvo, de outro metal, que não seja o que arma os nêrvos, toque-se aquella armadura com huma ponta do excita-

Fig. 33.

dor, e os musculos da perna com a outra: a rã entrará em hum movimento convulsivo, devido á corrente electrica, estabelecida pela força electrodinamica. Este phenomeno continuará até á total extincção da excitabilidade dos órgãos do animal.

A observação occasional deste phenomeno, foi quem suscitou em Galvani, Professor de Bolonha, a primeira idéa do Galvanismo. Assás bom observador para vêr neste phenomeno todo o interesse, que elle podia offerecer, e para o variar, e encarar por diversos lados, Galvani não tinha os conhecimentos de Physica necessarios, nem a vastidão de genio precisa, para penetrar na sua verdadeira theoria. Esta gloria pertenceo ao célebre Volta; e apezar das objecções do Professor de Bolonha, e dos sequazes da sua doutrina, a theoria de Volta, deduzida pela agudêza do seu genio, e apoiada do rigor da analyse, triumphou completamente das hypotheses, tão sómente engenhosas, dos seus adversarios.

179. Agora que nos são conhecidos os effeitos da força electrodinamica, passemos a estudar a maneira, pela qual Volta, combinando os corpos possuidores de acção electrodinamica energica, com aquelles, que obraõ no contacto sensivelmente como simples conductôres, soube engrandecer os effeitos desta força, e crear hum dos mais importantes apparelhos, de que a Physica he possuidôra, e do qual, como para o diante veremos, a Chymica retirou as maiores vantagens.

Das pilhas Voltaicas, ou apparelhos electromotôres.

180. Quando estiverem em contacto dois discos, hum de cobre, outro de zinco, estes dois discos se acharão constantemente constituidos em estados electricos oppostos, e taes, que o primeiro possui huma quantidade de electricidade resinosa igual á quantidade de electricidade vitrea, que possui o segundo. Isto entendido, imaginemos hum disco de cobre pousado sôbre o sólo, e em contacto com hum disco de zinco: he evidente, que estes dois discos se constituirão em estados electricos taes, que a differença entre a electricidade do zinco, e a do cobre, será huma certa quantidade constante, e que chamaremos D , sendo D dependente da grandeza da superficie dos discos. Porém como o disco inferior, isto

he o de cobre, communica com o sólo, perderá continuamente o estado electrico, que o contacto com o disco superior lhe dá, ou por outras palavras, o seu estado electrico será zero: logo o estado electrico do disco de zinco será $+D$.

Se sôbre o disco de zinco pozermos hum disco conductor, que não exercite acção electromotriz sôbre o dito zinco, como v. g., hum disco de trapo humido, este disco tomará o estado electrico $+D$ do zinco; e se sôbre elle collocarmos hum disco de cobre, este terá ainda o estado $+D$. Pönhâmos sôbre elle hum novo disco de zinco, he evidente, que este, como conductor, deve ter ainda o estado electrico $+D$; mas por outra parte, em razão da força electromotriz, produzida pelo contacto do cobre inferior, deve a differença entre os estados electricos destes dois discos ser $+D$: logo o estado electrico do segundo disco de zinco, deve ser $+D + D = 2D$.

Se sôbre este segundo zinco pozermos hum disco conductor como acima, este tomará o estado electrico $+2D$ do zinco; e se sôbre elle collocarmos hum disco de cobre, este terá ainda o estado $+2D$. Pönhâmos sôbre elle hum novo disco de zinco, he evidente, que este, como conductor, deve ter ainda o estado electrico $+2D$; mas por outra parte, em razão da força electromotriz, produzida pelo contacto do cobre inferior, deve a differença entre os estados electricos destes dois discos ser $+D$: logo o estado electrico do terceiro disco de zinco deve ser $+2D + D = +3D$.

Temos pois mostrado, que os esta-

dos electricos do - - - - - 1.^o, 2.^o, 3.^o zíncos
são representados por - - - - - $+D, +2D, +3D$

e que os estados dos cobres correspondentes são representados por - - - $0, +D, +2D$.

Do mesmo modo se provaria,

que os estados electricos do - - - - - 4.^o, 5.^o, 6.^o zíncos
serião representados por - - - - - $+4D, +5D, +6D$

e que os estados dos cobres correspondentes seriaõ representados por - $+3D, +4D, +5D$:

logo, suppondo a pilha composta de n elementos, o zinco do elemento n terá hum estado electrico, que será $+nD$, e o cobre correspondente terá hum estado electrico, que será $+(n-1)D$.

Do que temos dito se segue evidentemente, que o estado

electrico de huma pilha não isolada, he vitreo crescente para a parte superior, pois que as cargas dos zyncos formão a seguinte progressão arithmetica - - - - -

$$+D. +2D. +3D \dots +nD \dots (1.^a),$$

e as dos cobres formão estoura - - - - -

$$0. +D. +2D \dots +(n-1)D \dots (2.^a).$$

181. Se communicarmos o alto da pilha com o baixo della, a pilha deverá necessariamente descarregar-se, e nada mais facil, do que avaliar a quantidade total de electricidade, que constitue a descarga.

Com effeito, se suppozermos os conductôres humidos infinitamente delgados, e taes, que se possa sem erro desprezar a sua carga, será a carga total da pilha, igual á somma das cargas dos zyncos, mais a somma das cargas dos cobres. Reduz-se pois tudo a achar as expressões das sommas dos termos das duas progressões arithmeticas acima.

$$\text{Estas expressões são } \begin{cases} \text{para } a (1.^a) \dots \frac{n(n+1)D}{2} \\ \text{para } a (2.^a) \dots \frac{n(n-1)D}{2} \end{cases}$$

logo a carga total, que constitue a descarga, será - - - - -

$$\frac{n(n+1)D}{2} + \frac{n(n-1)D}{2} = \frac{(n^2+n+n^2-n)D}{2} = n^2 D.$$

182. A descarga de outra pilha de m elementos da mesma grandeza, e qualidade, seria $m^2 D$: logo a intensidade da primeira, seria para a intensidade da segunda, como $n^2 : m^2$, quer dizer, como o quadrado do numero dos elementos, de que cada pilha se compõe.

183. Para que este estado possa subsistir na pilha, he evidentemente necessario, que o sólo forneça a electricidade sufficiente; mas quando a pilha não communica com o sólo, he forçoso, que todas, e quaesquer electricidades livres, que nella se manifestem, resultem da decomposição das electricidades naturaes da mesma pilha: logo a somma das vitreas deve ser igual á somma das resinosas, isto he, deverão estas electricidades oppostas ser taes, que se as representarmos com signaes contrarios, a sua somma seja igual a zero.

184. Imaginemos pois, sôbre hum isolador os dois discos cobre, e zinco, da experiencia antecedente, e procuremos conhecer quaes serãõ os seus estados electricos. Representemos por x o estado electrico do zinco. Como sabemos, que a differença entre o estado electrico deste, e o do seu cobre correspondente deve ser D , he claro, que o estado electrico deste cobre, será $x - D$; mas a somma da electricidade do zinco, e do cobre deve ser igual a zero: logo teremos a equação - - - - -

$$x + x - D = 0,$$

donde

$$x = \frac{1}{2} D;$$

e por tanto

$$x - D = -\frac{1}{2} D.$$

Tal he o estado electrico da pilha isolada, sendo de hum só elemento.

Imaginemos outro pár de discos, cobre, e zinco, separados do primeiro por hum disco de trapo humido, e procuremos conhecer quaes serãõ os estados electricos dos quatro discos metallicos. Representemos por x' o estado do zinco superior, o estado do seu cobre correspondente será $x' - D$; este será tambem o estado do disco conductôr, e o do zinco inferior; e por consequente o estado do cobre inferior será $x' - 2D$; mas a somma de todas estas electricidades, deve ser igual a zero: logo teremos a equação - - - - -

$$x' + (x' - D) + (x' - D) + (x' - 2D) = 0,$$

ou

$$4x' - 4D = 0,$$

donde

$$x' = D,$$

e por tanto

$$x' - D = 0, \text{ e } x' - 2D = -D.$$

Tal he o estado da pilha isolada, sendo de dois elementos.

Imaginemos hum terceiro pár de discos, cobre, e zinco; separado do segundo por outro disco de trapo humido, e procuremos conhecer quaes serãõ os estados electricos dos seis

discos metallicos. Representemos por x'' o estado do 3.^o zinco, o estado do seu cobre correspondente, será $x'' - D$; este será tambem o estado do 2.^o zinco: logo o estado do 2.^o cobre, será $x'' - 2D$; este será tambem o estado do 1.^o zinco: logo o estado do 1.^o cobre, será $x'' - 3D$; mas a somma de todas estas electricidades deve ser igual a zero: logo teremos a equação

$$x'' + (x'' - D) + (x'' - D) + (x'' - 2D) + (x'' - 2D) + (x'' - 3D) = 0,$$

$$\text{ou} \\ 6x'' - 9D = 0,$$

donde

$$x'' = \frac{3}{2}D,$$

e por tanto

$$x'' - D = \frac{1}{2}D; \quad x'' - 2D = -\frac{1}{2}D; \quad x'' - 3D = -\frac{3}{2}D.$$

Tal he o estado da pilha isolada, sendo de 3 elementos.

Temos pois mostrado, que os estados electricos dos zinchos, são os seguintes.

Na pilha de 1 só elemento, o estado electrico do zinco he - - - - - x
 Na pilha de 2 elementos, o estado electrico do segundo zinco sendo - - - - - x'
 - - - - - o do primeiro he - - - - - $x' - D$
 Na pilha de 3 elementos, o estado electrico do terceiro zinco sendo - - - - - x''
 - - - - - o do segundo he - - - - - $x'' - D$
 - - - - - e o do primeiro he - - - - - $x'' - 2D$.

Os estados electricos dos cobres são os seguintes.

Na pilha de 1 só elemento, o estado electrico do cobre he - - - - - $x - D$
 Na pilha de 2 elementos, o estado electrico do segundo cobre he - - - - - $x' - D$
 - - - - - e o do primeiro cobre he - - - - - $x' - 2D$
 Na pilha de 3 elementos, o estado electrico do terceiro cobre he - - - - - $x'' - D$
 - - - - - e o do segundo he - - - - - $x'' - 2D$
 - - - - - e o do primeiro he - - - - - $x'' - 3D$.

Esta mesma demonstração, que se pôde continuar para 4, 5, 6, &c. elementos, nos mostra, que em huma pilha

de n elementos, representando por x a carga do elemento n , as cargas dos zínco formão a progressão arithmetica seguinte.

$$x. x - D. x - 2D. x - 3D. \dots x - (n - 1)D,$$

e as cargas dos cobres, estoura - - - - -

$$x - D. x - 2D. x - 3D. x - 4D. \dots x - nD.$$

A somma de todos os termos da 1.^a progressão he - - -

$$n \left\{ \frac{x + x - (n - 1)D}{2} \right\} = nx - \frac{n(n - 1)D}{2}.$$

A somma de todos os termos de 2.^a progressão he - - -

$$n \left\{ \frac{(x - D) + (x - nD)}{2} \right\} = nx - \frac{n(n + 1)D}{2}.$$

Logo a somma destas duas ultimas quantidades, deve ser a electricidade total livre, que existe na pilha; será esta pois -

$$= nx - \frac{n(n - 1)D}{2} + nx - \frac{n(n + 1)D}{2} = 2nx - n^2D;$$

porém sabemos, que a somma das electricidades livres da pilha isolada, deve ser zero: logo teremos a equação - - -

$$2nx - n^2D = 0,$$

donde

$$x = \frac{n}{2}D.$$

Tal será pois o estado electrico do zinco superior da pilha isolada.

A expressão da carga do cobre inferior, he na mesma pilha $x - nD$; pondo por x o seu valôr, vem - - - - -

$$\frac{n}{2}D - nD = -\frac{n}{2}D.$$

Tal será o estado electrico do cobre inferior da mesma pilha. Comparando estes dois estados electricos, conhecemos, que o cobre inferior da pilha tem hum estado resinoso, igual ao vitreo do zinco superior da mesma pilha.

Hum zinco qualquer da pilha, cujo numero fosse m , terá por expressão da sua carga $x - (m - 1)D$, ou pondo por x o seu valor $\frac{n}{2}D - (m - 1)D$.

Hum cobre da mesma pilha, que estivesse a igual dis-

tancia do outro extremo da columna, e cujo numero seria por conseguinte $n - (m - 1)$, teria huma carga, cuja expressão he

$$x - (n - (m - 1)) D = x - nD + (m - 1) D,$$

ou pondo por x o seu valôr

$$\frac{n}{2} D - nD + (m - 1) D = -\frac{n}{2} D + (m - 1) D,$$

quantidade igual á achada para o zinco, mas de nome opposto.

185. Supponhamos, que a pilha se compõe de hum numero par de elementos, e procuremos o estado electrico do zinco, que se achasse no grão $1 + \frac{1}{2} n$, a expressão da sua carga sera

$$x - (1 + \frac{1}{2} n - 1) D = x - \frac{nD}{2};$$

porém já vimos, que $x = \frac{nD}{2}$: logo, substituindo este valôr,

virá a carga do dito zinco a ser zero. O cobre immediatamente superior a este zinco, achasse no grão $\frac{1}{2} n$, a expressão da sua carga será por conseguinte $x - \frac{1}{2} nD$, quantidade que tambem se reduz a zero, pondo por x o seu valôr.

Segue-se pois, que, a partir do meio da pilha para as suas extremidades, o estado electrico, nullo no dito meio, vai successivamente crescendo de huma maneira igual, e symetrica de hum, e outro lado; com a unica differença, que o estado crescente para o lado inferior, isto he, dos cobres, he resinoso, e que pelo contrario o estado crescente para o lado superior, isto he, dos zincos, he vitreo. A nullidade de electricidade do meio da pilha existe, sendo esta de hum numero par de elementos, nos dois discos zinco, e cobre, que estão em contacto com o disco conductôr, que divide exactamente o meio da pilha, achando-se por tanto este disco conductôr igualmente sem electricidade. Porém na pilha composta de hum numero impar de elementos em parte alguma ha nullidade de electricidade, porque neste caso o estado electrico do elemento, que divide exactamente o meio da pilha he $+\frac{1}{2} D$ no zinco, e $-\frac{1}{2} D$ no cobre.

186. Huma pilha isolada acha-se pois absolutamente no estado de hum condensador, ou de huma botelha de Leyde: a parte inferior da pilha, a contar do seu meio, representa o disco inferior do condensador, ou a superficie externa da

botelha, e a parte superior da pilha, a contar tambem do seu meio, representa o disco superior do condensador, ou a superficie interna da botelha. Se por tanto, tocando com hum das mãos a base da pilha, se tocar com a outra o seu cume, haverá hum descarga, e receber-se ha hum choque.

No condensador, e na botelha de Leyde, o effeito cessará, logo que a descarga esteja effectuada; porém como a pilha não pôde existir descarregada, e que o seu estado electrico he forçado pela sua natureza, á medida, que o conductor, que reune os seus pólos, a descarrega, a pilha se carregará de novo; e supposta perfeita a conductibilidade, tudo isto se passará em hum tempo indivisivel, ou o que he o mesmo, a corrente electrica será continua, e por conseguinte, ainda que a acção da pilha, ou a descarga por ella produzida em cada instante indivisivel, seja frouxa, a rapidez da sua acção supprindo esta frouxidão, põe a pilha em circumstancias de produzir effeitos electricos, mais energicos, que as mais fortes baterias electricas ordinarias.

187. He evidente, que as quantidades de electricidades, que tomão a carga da pilha, dependem unicamente do numero, e da grandeza superficial dos elementos, de maneira que hum mesma pilha tomará sempre hum mesma carga electrica, qualquer que seja a natureza dos conductôres interpostos entre os seus elementos; unicamente quando elles forem dotados de maior conductibilidade, o equilibrio definitivo, e estavel da pilha, estabelecer-se-ha mais promptamente; do que quando a conductibilidade dëlles fôr menos perfeita; porém em todos os casos, a carga definitiva será sempre a mesma, e igual a $2nx - n^2 D$.

Porém ainda que as cargas definitivas das pilhas de conductôres mais, ou menos perfeitos, sejam rigorosamente iguaes; os effeitos da pilha serão tanto mais energicos sôbre os corpos, que estabelecerem a communicação dos seus pólos, quanto a conductibilidade fôr mais perfeita; porque á medida, que a conductibilidade diminue, a continuidade de descargas, da qual vimos, que dependia a energia da pilha, diminuirá proporcionalmente, chegando-se esta mais e mais ao estado de hum botelha de Leyde, ou bateria ordinaria.

Estas consequencias rigorosas da theoria, são confirmadas pela experiencia; porém como a força electromotriz do apparelho voltaico he mui pequena, não podem as experien-

cias fazer-se tomando immediatamente com hum disco isolado as electricidades livres dos pólos da pilha, e ensaiando-as no electrometro; he por isso necessario recorrer a hum condensador, e para que os effeitos sejaõ izentos de toda a causa de erro, ou inexactidaõ, he forçoso, que os contactos se estabeleçaõ de hum modo identico em todas as observações, o que se consegue mergulhando os fios conductôres da pilha em mercurio, e mergulhando no mesmo mercurio a bolla do condensador.

O Mappa A inserto no fim desta Secção, representa o estado dos diversos elementos das pilhas voltaicas isoladas, e não isoladas.

Diversas fórmãs de pilhas humidas, e sécas.

188. Acabâmos de vêr, que em toda a pilha Voltaica, a intensidade da carga electrica nos elementos extremos, depende unicamente do numero de elementos da pilha, e da natureza dos metaes, que a fórmaõ: logo a quantidade absoluta de electricidade reunida nestes elementos, será, sendo tudo o mais igual, proporcional á grandeza superficial dos mesmos elementos; e como por outra parte, a energia da acção da pilha depende da maior conductibilidade dos córpos, que communicão hum a outro elemento, convém para obter huma pilha energica, que os elementos tenhaõ grande superficie, e que os conductôres sejaõ os melhores possiveis.

189. Huma pilha de columna, formada de elementos mui grandes, sería, por huma parte, mui incommoda nas experiencias, e por outra parte, o pêso considerabilissimo destes elementos, expreméria as rodélas humidas, o que diminuiria a sua conductibilidade, e descarregaria em parte a pilha, pelos fios aquósos, que estabeleceria do cume della, até á base. Para remover estes inconvenientes, e dar ás pilhas elementos de grande superficie, sem que o seu pêso destrua parte do effeito, constroem-se estes instrumentos por outra maneira. As duas melhores fórmãs, são as de pilhas de caixa, e pilhas de Acum.

Pilha de caixa.

190. As pilhas de caixa, (fig. 34), compõem-se de chapas Fig. 34.^a rectangulares de cobre, e zinco, soldadas duas a duas *CC*, e fixadas em distancias iguaes em huma caixa comprida *AB*, forrada interiormente de huma argamassa isolante; dois elementos successivos *C* e *C* deixão entre si hum intervallo *i*, que se enche de huma dissolução salina ou acida, que faz as vezes das rodélas humidas da pilha vertical. Para não dar a estas pilhas hum comprimento, e hum pêso, que as tornaria incommodas, reúnem-se para formar hum aparelho unico diversas caixas, mergulhando duas chapas de lataô, ligadas por hum arco conductôr, nos dois banhos extremos, de maneira, que os dois banhos, que o arco conductôr torna equivalentes a hum só, fiquem entre zinco, e cobre; e por esta maneira duas, ou hum numero qualquer de caixas, constituem hum aparelho unico de grande energia.

A estreitêza dos espaços, em que se lança o liquido, torna estas pilhas difficeis de limpar, e enxugar; o que faz com que os metaes dos elementos sejaô pouco, e pouco atacados pela dissolução ácida, que se lança na pilha, e que esta por conseguinte se enfraquêça, e destrua com facilidade; além de que, as pilhas de caixa tem o inconveniente de se não poderem pôr repentinamente em acção, nem suspender-se esta, sendo preciso para isto encher, e vasar os intervallos dos elementos, o que he sempre demorado.

Pilha de Acum.

191. Para prevenir estes inconvenientes, e augmentar as superficies de contacto entre os elementos, e o fluido conductôr, Acum, Physico Inglez, imaginou as pilhas de cobre dobrado, nas quaes os elementos estão ligados a huma travessa *AB*, que pelas extremidades se fixa mais baixo, ou mais alto, em duas columnas *C* e *C'*, e por este meio, ou os elementos mergulhaô na dissolução contida nos vasos *VVV* &c., e a pilha oppéra o seu effeito, ou ficaô fóra da dissolução, no qual caso a pilha não obra.

Esta pilha he construída da maneira, que se vê na (fig. 35). *AB* he a travessa horisontal, que, ou se pousa em *x*, Fig.^a 35.
Tom. II. N

quando a pilha não trabalha, ou em x' , quando esta está em acção. CC' são as columnas, que sustentão a travessa, $V_1, V_2, V_3, \&c.$ os vasos contendo a dissolução salina, ou ácida, que forma os conductôres. $C_1, C_2, C_3, C_4, \&c.$ são as laminas de cobre, que envolvem as de zinco $Z_1, Z_2, \&c.$ e são dellas separadas por pedaços de pào, ou cortiça $P_1, P_2, P_3, \&c.$: de cada lamina de zinco parte huma chapa, ou tira de cobre $l l'$, que vem unir-se sob a travessa com igual lamina, que parte do cobre seguinte, e assim por diante. Das laminas extremas partem as duas tiras v e r , que atravessando a travessa, terminaõ na parte superior em dois cylindros DD' , que são os pólos da pilha, e aos quaes se unem os conductôres. Os elementos deste apparelho tendo muita superficie, e sendo nella mui grande a capacidade dos conductôres, fazem com que estas pilhas sejaõ de todas, as mais energicas; ainda quando tem hum pequeno numero de elementos, como 6, 8, ou 12.

Para concluir o que temos a dizer sôbre a construcção das pilhas, resta-nos fallar das pilhas sêcas, ou de Zamboni. Estas pilhas destinadas a estar sempre em acção, não contém conductôres humidos, mas sêcos; e para que possaõ encerrar o maior numero possível de elementos, fazem-se estes, assim como os conductôres intermedios, mui delgados. Zamboni as construía com rodas de papel, prateado de hum lado, e do outro, coberto de peroxido de manganese, e accumulando rodélas deste papel humas sôbre outras, de maneira, que o peroxido, e o prateado fiquem em contacto; o papel supre aqui os conductôres humidos das pilhas ordinarias. Estas pilhas tem porém, em virtude da imperfeita conductibilidade, difficuldade em carregar-se, e no fim de hum certo tempo a sua acção desaparece. Similhantes pilhas são mais objecto de curiosidade, que proprias para as observações.

Effeito das descargas das pilhas voltaicas.

192. Os efferitos das descargas voltaicas podem reduzir-se a tres especies, que são: efferitos physicos, chymicos, e physiologicos.

Os efferitos physicos consistem na elevação de temperatura do arco de communicação, elevação que pôde chegar até

á incandescencia do fio conductôr, e até á volatilisação do referido arco, conforme a sua maior, ou menor conductibilidade, e massa.

193. Se communicamos os dois pólos da pilha por meio de hum fio de ferro delgado, o fio será promptamente fundido, e consequentemente oxidado. Se o fio em vez de ser de ferro, he de platina, a sua temperatura poderá ser elevada até ao rubro claro. Finalmente se se faz passar a descarga da pilha por huma pequena folha de ouro de dourador, o ouro he subitamente volatilizado. Todos estes phenomenos são conformes aos da descarga electrica das baterias poderosas; e com effeito, na pilha, a continuidade das acções, equivale á intensidade dellas nosapparelhos electricos ordinarios.

194. Os effeitos chymicos da pilha, como v. g., a decomposição da agoa, e dos alcalis produzem-se, quando estes corpos fazem parte do arco de communicação entre os pólos da pilha: trataremos mais particularmente destes effeitos na segunda parte deste tractado.

195. A primeira acção physiologica da pilha voltaica consiste na commoção continuada, que a pilha faz sentir aos animaes, que servem de arco de communicação entre os seus pólos. A sensação, que a descarga produz, he mais, ou menos sensivel, e ás vezes só he sensivel nas partes do animal, que avisinhaõ os pólos da columna voltaica. Se huma cadeia de pessoas descarregaõ a pilha, tendo-se pela mão, as mais das vezes só aquellas, que tocaõ o apparelho, sentem a commoção. Este phenomeno nos mostra, quanto o effeito se enfraquece á distancia, pela imperfeição de conductibilidade do arco formado pelos orgãos dos animaes. As commoções das grandes pilhas são incommodas, dolorosas, e até perigosas em certos casos.

A descarga voltaica he hum poderosissimo excitante; a sua acção manifesta-se, não só nos orgãos do animal vivo, mas em quanto permanece no cadaver, algum resto de vitalidade, produzindo por meio desta acção, contracções violentas, e movimentos convulsivos. A vitalidade fortemente excitada por este meio, perde-se porém mais promptamente, como em geral succede com todos os estimulos, que por assim me exprimir canção, quando excitaõ, a sensibilidade dos orgãos. Se depois que o cadaver cessa de ser sensivel ao es-



timulo electrico, lhe applicâmos outros excitantes da vitalidade, a sensibilidade renova-se, e o cadaver manifesta ainda pela pilha as contracções, e movimentos convulsivos, que havião cessado.

196. Finalmente ao mesmo tempo que o arco de communicação, que reúne os pólos da columna voltaica, experimenta alterações, e efeitos dependentes da sua natureza, o mesmo còrpo da pilha he tambem alterado. Toda a pilha em acção absorve huma certa quantidade de gaz oxigeno, que se combina com a parte zinco dos elementos, e a presença de huma quantidade maior, ou menor de oxigenio na athmosfera, que banha a pilha, influe sôbre a intensidade da sua acção. Estes phenomenos são faceis de constatar, limitando com huma campanula, a athmosfera, que rodeia a pilha, e observando as variações desta athmosfera, ou fazendo-a variar em composição, pelos meios, e processos, que nos ensinará o estudo da Chymica.

Electricidade produzida pelo calor, e pelos orgãos de certos animaes.

197. Hum grande numero de cristaes são susceptiveis quando se eleva a sua temperatura, de manifestar as propriedades electricas, neste caso os cristaes adquirem hum pólo vitreo, e hum pólo resinoso.

Se v. g. se aquece, mergulhando na agoa fervendo, huma tourmalina exagonal, cuja fôrma he hum prisma de nove faces, terminado de hum lado por hum cume de 3, e pelo outro, por hum cume de 6 faces; o cume de 3 faces toma a electricidade resinosa, e o cume de 6 faces a electricidade vitrea. A partir dos cumes para o meio do cristal, a intensidade electrica diminue mui rapidamente, e torna-se insensivel na parte media do cristal. Se se quebra a tourmalina electrisada, em dois, ou mais fragmentos, cada hum delles appresentará dois pólos, como a tourmalina inteira, e hum espaço intermedio sensivelmente no estado natural.

198. Todos estes phenomenos são faceis de patentear, aquecendo a tourmalina, e pegando-lhe pelo meio com huma pinça, e appresentando-a pelos seus diversos pontos a hum electroscopio bem sensivel, carregado de electricidade conhecida. A exposição dos phenomenos, que appresentaõ as

tourmalinas electrizadas, nos faz vêr; que abstrahindo a maneira, porque tomaõ a carga electrica, a tourmalina, e as pilhas electricas discriptas (§ 137) tem entre si a maior analogia, e que podemos conceber o cristal, como formado de huma serie de laminas semelhantes ás daquellas pilhas.

199. A electrizaçãõ das tourmalinas pelo calôr subsiste por hum certo tempo, ainda depois que o cristal tem esfriado; se pelo contrario, o cristal se aquece além de hum certo limite, a electrizaçãõ he frouxa, e pôde até não ter lugar. Finalmente, se a tourmalina he aquécida desigualmente, como v. g. expondo-a sómente ao calôr, em parte do seu comprimento, a electrizaçãõ faz-se; mas inversamente, manifestando-se o pólo vitreo no cume de 3 faces, e o pólo resinôso no cume oppôsto.

200. A propriedade de se electrisar, e adquirir pólos pelo calôr, não pertence exclusivamente á tourmalina; mas sim a muitos outros cristaes, e o illustre Abbade Hauy notou, que os cristaes susceptiveis de polarisar-se, saõ sempre irregulares na sua configuraçãõ, e que os pólos se manifestaõ naquellas partes, que discrêpaõ da disposiçãõ symétrica. Ha alguns cristaes, e tal he o Spatho de Islanda, que a mais léve pressãõ electriza; porém de hum só principio electrico em toda a sua extensãõ.

201. Finalmente existem na classe dos peixes hum certo numero de animaes, cujos orgãos susceptiveis de fazer as funcções de huma bateria electrica, ou pilha voltaica, servem de deffêza aos referidos animaes, que por meio delles fazem sentir hum choque violento aos animaes, que os tocaõ, taes saõ a torpilha, a anguia electrica, &c.



...aureas electivas; nos sex (6) que abstrahendo a ma-
 ...aureas, e que tomamos a parte electrica, a tomamos a
 ...aureas electricas (2) e (3) com entre si a maior an-
 ...aureas, e que podemos conceber o cristal, como formado de
 ...aureas de lamellas similitas as dasellas pilulas.
 ...aureas. A electricidade das lamellas pelo calor torçea
 ...aureas como tempo; e anda depois que o cristal tem estir-
 ...aureas pelo contrario, o cristal se aprece ali de hum cer-
 ...aureas, e electricidade de humes, e fôrça se não ter in-
 ...aureas, as a tomamos de humes designamen-
 ...aureas, e expõe-se somente ao calor, em parte do
 ...aureas, a electricidade faz se, mas inversamente,
 ...aureas o polo vireo no cume de fôrças, e o polo
 ...aureas no cume opposto.
 ...aureas de se electricar, e additir polos pe-
 ...aureas, nas partes exclusivamente a tomamos; mas
 ...aureas, e o illustre Abbade Hany no-
 ...aureas susceptivas de polarisarse, são sempre
 ...aureas, e que os polos se mantem
 ...aureas da dispozição symmetrica,
 ...aureas, e tal he o espaço da lamella, que a mais
 ...aureas, e com de hum só principio electrico
 ...aureas.
 ...aureas em classe dos partes hum certo
 ...aureas, e os orgaos susceptivos de fazer as
 ...aureas electricas, ou pela voltagem, ter-
 ...aureas, que por mais doles
 ...aureas nos animas, e os
 ...aureas, e angulos electricos, etc.

E

ADO DAS FILIAS ISOLADAS

De 1 Elemento.

$$\begin{array}{r}
 -x - D \\
 -x - D \\
 \hline
 2x - D = 0
 \end{array}
 \left. \begin{array}{l} + D \\ - D \end{array} \right\} \text{Dif.} = D$$

De 2 Elementos.

$$\begin{array}{r}
 -x' - D \\
 -x' - D \\
 \hline
 4x' - 4D = 0
 \end{array}
 \left. \begin{array}{l} + D \\ 0 \end{array} \right\} \text{Dif.} = D$$

De 3 Elementos.

$$\begin{array}{r}
 -x'' - D \\
 -x'' - D \\
 \hline
 6x'' - 9D = 0
 \end{array}
 \left. \begin{array}{l} + \frac{1}{2}D \\ + D \end{array} \right\} \text{Dif.} = D$$

De 4 Elementos.

$$\begin{array}{r}
 -x''' - D \\
 -x''' - D \\
 \hline
 \end{array}
 \left. \begin{array}{l} + 2D \\ + D \end{array} \right\} \text{Dif.} = D$$

Z
C

D
C
Z
O
M

terminações electricas, nos tax vtz, que abstrahidos a ma-
 neta, porque tomados a taxa electrica, a terminação, e as
 outras electricas distinctas (§ 177) tem entre si a maior simi-
 logia, e que podemos conceber a crystal, como formado de
 hums serie de lamellas semelhantes as daquellas pilhas
 de 1770. A electricidade das terminações pelo crystal substa-
 por hum certo tempo; ainda depois que o crystal tem estir-
 do que pôde continuar, o crystal se aquece ahi de hum cer-
 to humor, a electricidade he forte, e pôde ser não ter in-
 gressivamente, as terminações he a mesma designação
 exp, como vtz expõe a somente ao calor, em parte do
 seu equipamento, a electricidade faz-se, mas inversamente,
 manifestando-se o pelo vites no cume de; faces, e o fôlo
 tomados no cume oposto.
 1780. A propiedade de se electricar, e adunir pólos pe-
 lo calor, não parece exclusivamente a terminações; mas
 sim a muitos outros cristaes, e o illustre Abbade Hauy no-
 ta, que os cristaes susceptiveis de polarizar, são sempre
 irregulares na sua configuração, e que os pólos se manifes-
 tão nas partes, que descrevem da disposição symmetrica.
 Ha alguns cristaes, e tal he o sphato de Islanda, que a mais
 têm partes electricas; porém de hum só principio electrico
 em toda a sua extensão.
 1781. Finalmente existem na classe dos pezes hum certo
 numero de animaes, cujos orgaos susceptiveis de fazer as
 funcões de hums partes electricas, ou pela voltagem, ser-
 vem de defensas aos tentados animaes, que por meio dallas
 fazem sentir hum choque violento nos animaes, que os to-
 cam, e os abstrahidos a torçãõ, a angaria electrica, etc.

ESTADO DAS PILHAS NAÕ ISOLADAS.

De 1 Elemento.

$$\begin{array}{l} Z_1 - \dots - \dots - \dots + D \\ C_1 - \dots - \dots - \dots \quad 0 \end{array} \left. \vphantom{\begin{array}{l} Z_1 \\ C_1 \end{array}} \right\} \text{Dif.} = D$$

De 2 Elementos.

$$\begin{array}{l} Z_2 - \dots - \dots - \dots + 2D \\ C_2 - \dots - \dots - \dots + D \end{array} \left. \vphantom{\begin{array}{l} Z_2 \\ C_2 \end{array}} \right\} \text{Dif.} = D$$

$$\begin{array}{l} Z_1 - \dots - \dots - \dots + D \\ C_1 - \dots - \dots - \dots \quad 0 \end{array} \left. \vphantom{\begin{array}{l} Z_1 \\ C_1 \end{array}} \right\} \text{Dif.} = D$$

De 3 Elementos.

$$\begin{array}{l} Z_3 - \dots - \dots - \dots + 3D \\ C_3 - \dots - \dots - \dots + 2D \end{array} \left. \vphantom{\begin{array}{l} Z_3 \\ C_3 \end{array}} \right\} \text{Dif.} = D$$

$$\begin{array}{l} Z_2 - \dots - \dots - \dots + 2D \\ C_2 - \dots - \dots - \dots + D \end{array} \left. \vphantom{\begin{array}{l} Z_2 \\ C_2 \end{array}} \right\} \text{Dif.} = D$$

$$\begin{array}{l} Z_1 - \dots - \dots - \dots + D \\ C_1 - \dots - \dots - \dots \quad 0 \end{array} \left. \vphantom{\begin{array}{l} Z_1 \\ C_1 \end{array}} \right\} \text{Dif.} = D$$

De 4 Elementos.

$$\begin{array}{l} Z_4 - \dots - \dots - \dots + 4D \\ C_4 - \dots - \dots - \dots + 3D \end{array} \left. \vphantom{\begin{array}{l} Z_4 \\ C_4 \end{array}} \right\} \text{Dif.} = D$$

$$\begin{array}{l} Z_3 - \dots - \dots - \dots + 3D \\ C_3 - \dots - \dots - \dots + 2D \end{array} \left. \vphantom{\begin{array}{l} Z_3 \\ C_3 \end{array}} \right\} \text{Dif.} = D$$

$$\begin{array}{l} Z_2 - \dots - \dots - \dots + 2D \\ C_2 - \dots - \dots - \dots + D \end{array} \left. \vphantom{\begin{array}{l} Z_2 \\ C_2 \end{array}} \right\} \text{Dif.} = D$$

$$\begin{array}{l} Z_1 - \dots - \dots - \dots + D \\ C_1 - \dots - \dots - \dots \quad 0 \end{array} \left. \vphantom{\begin{array}{l} Z_1 \\ C_1 \end{array}} \right\} \text{Dif.} = D$$

De n Elementos.

$$\begin{array}{l} Z_n - \dots - \dots - \dots + nD \\ C_n - \dots - \dots - \dots + (n-1)D \end{array} \left. \vphantom{\begin{array}{l} Z_n \\ C_n \end{array}} \right\} \text{Dif.} = D$$

$$\begin{array}{l} Z_{n-1} - \dots - \dots - \dots + (n-1)D \\ C_{n-1} - \dots - \dots - \dots + (n-2)D \end{array} \left. \vphantom{\begin{array}{l} Z_{n-1} \\ C_{n-1} \end{array}} \right\} \text{Dif.} = D$$

$$\begin{array}{l} \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \end{array}$$

$$\begin{array}{l} Z_2 - \dots - \dots - \dots + 2D \\ C_2 - \dots - \dots - \dots + D \end{array} \left. \vphantom{\begin{array}{l} Z_2 \\ C_2 \end{array}} \right\} \text{Dif.} = D$$

$$\begin{array}{l} Z_1 - \dots - \dots - \dots + D \\ C_1 - \dots - \dots - \dots \quad 0 \end{array} \left. \vphantom{\begin{array}{l} Z_1 \\ C_1 \end{array}} \right\} \text{Dif.} = D$$

ESTADO DAS PILHAS ISOLADAS.

De 1 Elemento.

$$\begin{array}{l} Z_1 - \dots - x - \dots - \dots + \frac{1}{2}D \\ C_1 - \dots - x - D - \dots - \dots - \frac{1}{2}D \end{array} \left. \vphantom{\begin{array}{l} Z_1 \\ C_1 \end{array}} \right\} \text{Dif.} = D$$

$$\frac{2x - D = 0}{}$$

De 2 Elementos.

$$\begin{array}{l} Z_2 - \dots - x' - \dots - \dots + D \\ C_2 - \dots - x' - D - \dots - \dots \quad 0 \end{array} \left. \vphantom{\begin{array}{l} Z_2 \\ C_2 \end{array}} \right\} \text{Dif.} = D$$

$$\begin{array}{l} Z_1 - \dots - x' - D - \dots - \dots \quad 0 \\ C_1 - \dots - x' - 2D - \dots - \dots - D \end{array} \left. \vphantom{\begin{array}{l} Z_1 \\ C_1 \end{array}} \right\} \text{Dif.} = D$$

$$\frac{4x' - 4D = 0}{}$$

De 3 Elementos.

$$\begin{array}{l} Z_3 - \dots - x'' - \dots - \dots + \frac{3}{2}D \\ C_3 - \dots - x'' - D - \dots - \dots + \frac{1}{2}D \end{array} \left. \vphantom{\begin{array}{l} Z_3 \\ C_3 \end{array}} \right\} \text{Dif.} = D$$

$$\begin{array}{l} Z_2 - \dots - x'' - D - \dots - \dots + \frac{1}{2}D \\ C_2 - \dots - x'' - 2D - \dots - \dots - \frac{1}{2}D \end{array} \left. \vphantom{\begin{array}{l} Z_2 \\ C_2 \end{array}} \right\} \text{Dif.} = D$$

$$\begin{array}{l} Z_1 - \dots - x'' - 2D - \dots - \dots - \frac{1}{2}D \\ C_1 - \dots - x'' - 3D - \dots - \dots - \frac{3}{2}D \end{array} \left. \vphantom{\begin{array}{l} Z_1 \\ C_1 \end{array}} \right\} \text{Dif.} = D$$

$$\frac{6x'' - 9D = 0}{}$$

De 4 Elementos.

$$\begin{array}{l} Z_4 - \dots - x''' - \dots - \dots + 2D \\ C_4 - \dots - x''' - D - \dots - \dots + D \end{array} \left. \vphantom{\begin{array}{l} Z_4 \\ C_4 \end{array}} \right\} \text{Dif.} = D$$

$$\begin{array}{l} Z_3 - \dots - x''' - D - \dots - \dots + D \\ C_3 - \dots - x''' - 2D - \dots - \dots \quad 0 \end{array} \left. \vphantom{\begin{array}{l} Z_3 \\ C_3 \end{array}} \right\} \text{Dif.} = D$$

$$\begin{array}{l} Z_2 - \dots - x''' - 2D - \dots - \dots \quad 0 \\ C_2 - \dots - x''' - 3D - \dots - \dots - D \end{array} \left. \vphantom{\begin{array}{l} Z_2 \\ C_2 \end{array}} \right\} \text{Dif.} = D$$

$$\begin{array}{l} Z_1 - \dots - x''' - 3D - \dots - \dots - D \\ C_1 - \dots - x''' - 4D - \dots - \dots - 2D \end{array} \left. \vphantom{\begin{array}{l} Z_1 \\ C_1 \end{array}} \right\} \text{Dif.} = D$$

$$\frac{8x''' - 16D = 0}{}$$

De n Elementos.

$$\begin{array}{l} Z_n - \dots - x - \dots - \dots + \frac{n}{2}D \\ C_n - \dots - x - D - \dots - \dots + \frac{(n-2)D}{2} \end{array} \left. \vphantom{\begin{array}{l} Z_n \\ C_n \end{array}} \right\} \text{Dif.} = D$$

$$\begin{array}{l} Z_{n-1} - \dots - x - D - \dots - \dots + \frac{(n-2)D}{2} \\ C_{n-1} - \dots - x - 2D - \dots - \dots + \frac{(n-4)D}{2} \end{array} \left. \vphantom{\begin{array}{l} Z_{n-1} \\ C_{n-1} \end{array}} \right\} \text{Dif.} = D$$

$$\begin{array}{l} \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \end{array}$$

$$\begin{array}{l} Z_2 - \dots - x - (n-2)D - \dots - \frac{(n-4)D}{2} \\ C_2 - \dots - x - (n-1)D - \dots - \frac{(n-2)D}{2} \end{array} \left. \vphantom{\begin{array}{l} Z_2 \\ C_2 \end{array}} \right\} \text{Dif.} = D$$

$$\begin{array}{l} Z_1 - \dots - x - (n-1)D - \dots - \frac{(n-2)D}{2} \\ C_1 - \dots - x - nD - \dots - \frac{n}{2}D \end{array} \left. \vphantom{\begin{array}{l} Z_1 \\ C_1 \end{array}} \right\} \text{Dif.} = D$$

$$\frac{2nx - n^2D = 0}{}$$

SECCÃO V.

MAGNETISMO.

1. Os antigos davaõ o nome de *magnètes*, ou *pedras de cevar*, a certos mineraes, que extrahidos da terra possuem a propriedade singular de attrahir o ferro com maior, ou menor energia. Esta propriedade foi por muito tempo o unico conhecimento, que houve do magnetismo; assim como a propriedade de attrahir os corpos léves, depois de esfregado, descuberta de ha muito no succino, foi por muito tempo o unico phenomeno electrico observado.

2. As pedras de cevar, ou magnetes naturaes, são minas de ferro, nas quaes este metal se acha em hum estado de oxidação inferior ao de tritoxido. Quasi todas estas minas, quando as tiramos da terra, possuem a propriedade magnética, quer dizer, exercem huma attracção mais, ou menos energica, sôbre o ferro, que se lhes apresenta. Se v. g., se rolla hum magnéte natural em limalha de ferro, a limalha adhere a elle, formando como huma especie de pêllos, ou raios divergentes na sua superficie.

3. O contacto de quaesquer corpos não rouba aos magnétes naturaes as suas propriedades. Por mais que estes contactos se reeterem, o magnete continuará a exercer sôbre o ferro sensivelmente a mesma acção attractiva.

4. Se se divide em pedaços regulares, ou irregulares qualquer magnéte natural, cada hum delles será hum pequeno magnéte, attrahirá o ferro, e a elle se pegaráõ as parcelas ferreas da limalha, como ao magnéte primitivo.

5. A acção attractiva dos magnetes para o ferro, não he igualmente energica em todos os seus pontos; mas incompa-

ravelmente mais energica em dois pontos sensivelmente oppostos do magnéte, a que daremos, pelas razões que para o diante se veráõ, o nome de *pólos do magnéte*.

Com effeito, se rolâmos hum magnete na limalha de ferro, dois tuffos de limalha, muito mais abundantes nos pólos, que no resto do magnete, indicarão a posição destes, e a maior energia da sua acção.

Similhantermente se suspendemos ao magnéte arames de ferro de pêsos diversos, veremos que as regiões polares do magnéte sustentaráõ arames incomparavelmente mais peza-dos, que as partes do magnéte comprehendidas entre os pólos: finalmente correndo os arames por todo elle, será facil observar huma região, ou secção intermedia aos dois pólos, na qual a acção attractiva será sensivelmente nulla.

6. Observando attentamente a maneira pela qual a limalha de ferro adhere aos magnétes, veremos que cada raio de limalha he formado por hum grande numero de parcelas de ferro, das quaes sómente algumas tocaõ o magnéte; em quanto as mais adherem humas ás outras: consequentemente a propriedade attractiva do magnéte communica-se aos pedaços do ferro, que o tocaõ, e estes tornaõ-se aptos para attrahir, e communicar a propriedade a outros pedaços, e assim até huma certa distancia do magnéte.

Para verificar mais commodamente esta propriedade, Fig. 1.^a corte-se em pedaços hum fio de ferro bem brando, e macio, e suspenda-se hum pedaço *AB* ao pólo do magnéte, pondo em contacto com elle a extremidade *A* do fio; ponha-se então em contacto pelo extremo *C* com a extremidade *B* do primeiro pedaço, hum novo pedaço *CD*, e assim por diante: os pedaços sustentar-se-hão reciprocamente, até que o seu pêso sendo superior á força attractiva, os pedaços inferiores commecarão a destacar-se.

7. Para que esta attracção do primeiro fragmento para outro fragmento qualquer se manifeste, não he necessario, que esteja em contacto com o magnéte; mas basta que se ache em pequena distancia do seu pólo; observar-se-ha porém, que tanto mais nos aproximâmos do contacto, tanto mais energico he o effeito.

8.^o Se ao ferro empregado nas experiencias antecedentes, substituirmos o cobalto, ou nickel, os mesmos phenomenos terãõ ainda lugar; se porém empregarmos outras quaesquer

substancias, ou qualquer materia organizada, o effeito do magnéte sôbre ellas será sensivelmente nullo.

9. Quando em vez do ferro brando, e macio, sem mistura de corpos estranhos, empregâmos nas experiencias citadas o aço, o ferro contendo algum phosphoro, ou algum enxôfre, os effeitos seráo tanto mais lentos em produzir-se, quanto o aço empregado fôr mais duro, e temperado mais rijo, e ao mesmo tempo o arame, ou barra de aço, depois de separado do magnéte, conservará as propriedades magneticas, que o contacto nelle desenvolveira.

Vê-se pois, que o ferro brando manifesta as propriedades magneticas, em quanto se acha unido, ou influido em pequena distancia por hum magnéte; mas que tirado do contacto, ou da influencia, perde as propriedades magneticas, e volta ao estado natural; que o aço porém, toma lentamente as propriedades magneticas no contacto, ou sob a influencia de hum magnéte; mas permanece magnetisado depois de sahir do contacto, ou da influencia.

10. Este phenomeno nos dá o meio de formar por meio de barras, de agulhas, e de quaesquer figuras de aço, magnétes, cuja forma regular ajudará extremamente as nossas observações. Para o diante indicaremos quaes são os meios de dar a maior energia, e perfeição aos magnétes artificiaes.

11. Quando por meio de hum magnéte natural, ou artificial, magnetisamos huma nova massa de ferro, de aço, de cobalto, ou de nickel, não se observa enfraquecimento algum na energia das propriedades do corpo magnetisante, e isto qualquer que seja a massa, e o numero das massas magnetisadas: donde devemos concluir, que qualquer que seja o modo por que hum corpo communica ao outro as propriedades magneticas, não he sem dúvida cedendo-lhe parte do principio magnetico, que contém.

12. A existencia de methodos de magnetisação independentes da presença de hum magnéte natural, ou artificial, acabaõ de pôr fóra de toda a dúvida, a conclusão que acabámos de tirar: com effeito, podemos communicar ao aço as propriedades magneticas, sem usar de corpo algum previamente magnetisado.

Tome-se hum aráme de aço, e ensaiando a sua acção sôbre o ferro, verifiquemos, que o aráme existe no estado natural: fixando as suas extremidades com dois tórnos, e torç

cendo o arãme até o quebrar, cada hum dos fragmentos se achará magnetizado.

Tome-se huma barra de aço não muito dura, e sustentando-a verticalmente, dêem-se com hum martêlo pancadas repetidas na extremidade da barra, a barra, depois desta operação, achar-se-ha gozando das propriedades magneticas. Deixando cahir verticalmente huma barra de aço sôbre hum côpo duro, a barra magnetisa-se pelo choque: as thesouras, que cortaõ metaes, e especialmente ferro, as tenazes, e ustencilios dos Ferreiros, pelos choques, que continuamente recebem, achão-se de ordinario magnetizadas.

Se através de hum fio de aço no estado natural, fazemos passar a descarga electrica, o fio adquire por este meio as propriedades magneticas.

13. Do que fica exposto se vê, que sem que haja hum côpo, que reparta com os metaes magneticos o principio magnetico, que contém, podem estes metaes magnetisar-se. Do mesmo modo podemos tirar ao aço, ao cobalto, ou ao nickel, o estado magnetico, sem que outro côpo se apodêre daquelle principio.

Com effeito, se voltãmos em sentido contrario ao primitivo a barra, magnetizada pelas percussões repetidas, e a percutimos de novo pela outra extremidade em sentido inverso, as suas propriedades magneticas dissipão-se novamente.

Se elevãmos á temperatura rubra qualquer pedaço de aço magnetizado, o aço voltará ao estado natural.

14. Não conhecemos côpo algum, que pôssa servir de obstaculo á influencia magnetica; com effeito, hum magnête obrará sôbre o ferro, através do vidro, das rezinas, da madeira, das pelles, &c. &c.

15. Quando hum côpo recebe, ou perde as propriedades magneticas, o seu pêso, e o seu volume, não soffrem alteraçãõ alguma.

A nullidade de variaçãõ em pêso, pôde constatar-se com o simples uso de huma balança mui sensivel, pesando nella o côpo antes, e depois de magnetizado.

Devemos a Gay-Lussac huma experiencia, por meio da qual se prova, que o volume dos côpos não varia sensivelmente pela magnetisaçãõ. Tome-se hum tubo de ferro *AB*, fechado por huma das extremidades, e communicando pela outra com o tubo de vidro extremamente delgado *ab*: encha-

Fig. 2.^a

se este apparelho de agoa até hum ponto qualquer c do tubo de vidro, e logo que a uniformidade de temperatura esteja estabelecida em todo o apparelho, marque-se o ponto c , em que a columna de agoa termina. Magnetise-se então o tubo AB , o ponto c , extremo da columna liquida não variará; o que teria necessariamente lugar, se a magnetisação alterasse o volume do ferro.

Da existencia de dois principios magneticos diversos, e propriedades, que os distinguem.

16. Suspendâmos livremente no ar hum magnéte natural, ou artificial, *v. g.*, huma agulha de aço AB magnetisada: depois de oscilar por hum certo tempo a agulha, fixar-se-ha em huma certa direcção, e se della a desviarmos, voltará a esta mesma direcção, depois de hum certo numero de oscillações. Se suspendermos assim livremente hum numero qualquer de magnétes, assás distantes huns dos outros para se não desarranjarem reciprocamente, acharemos, que concebendo unidos os dois pólos de cada magnéte por huma recta, estas rectas nos diferentes magnétes serão parallelas entre si, e a sua direcção formará hum certo angulo com o meridiano do lugar, em que fizermos a observação; angulo variavel com o tempo, e com o lugar, como para o diante mostraremos.

Fig. 3.*

17. Assignalemos agora de huma maneira qualquer, os pólos, que nos diversos magnétes olhaõ para o mesmo lado, e chamemos temporariamente pólos a , os que olhaõ para o pólo boreal do globo, e pólos b , os que olhaõ para o pólo austral; e examinemos, que differença de propriedades, além da direcção, que dão ao magnéte, caracteriza, e distingue os pólos a dos pólos b .

Em primeiro lugar apresentando ao ferro, ao cobalto, ou ao nickel, qualquer dos dois pólos a , ou b , estes metais serão attrahidos: em segundo lugar o aço, o cobalto, e o nickel endurecidos, são magnetisados tanto pelo contacto de hum, como pelo do outro pólo.

Se porém suspendermos livremente hum dos nossos magnétes, *v. g.*, a agulha AB , e depois de a deixar fixar-se na sua direcção natural, apresentâmos ao seu pólo a , o pólo b do outro magnéte, observaremos attracção entre estes pólos; do mesmo modo notaremos attracção, quando ao pólo b

da agulha apresentarmos o pólo *a* do magnéte; mas se apresentarmos o pólo *a* ao pólo *a*, ou o pólo *b* ao pólo *b*, em vez de attracção, manifestar-se-ha repulsão entre os pólos.

18. Os pólos oppostos dos magnétes, distinguem-se pois essencialmente nas suas propriedades, e esta distincção he semelhante áquella, que distingue os dois principios electricos, isto he, que os pólos de nomes oppostos attrahem-se, e os pólos do mesmo nome repellem-se. Existem pois dois principios magnéticos oppostos, assim como dois principios electricos, e cada hum destes principios obra repulsivamente sobre si mesmo, e attractivamente sobre o principio opposto.

19. Todos os nossos magnétes dirigem, como vimos, os pólos *a* para o hemisferio boreal, e pelo contrario os pólos *b* para o hemisferio austral; ora tal seria necessariamente a direcção dos magnétes, se no hemisferio boreal existisse huma quantidade de principio *b* livre, o qual repelliria o pólo *b*, e attrahiria o pólo *a* dos magnétes livres, e pelo contrario no hemisferio austral houvesse huma quantidade de principio *a* livre, que repelliria o pólo *a*, e attrahiria o pólo *b*. Chamando pois principio boreal ao principio magnético livre, residente no hemisferio boreal, e principio austral, o principio residente no hemisferio austral, teremos huma designação natural, e commoda dos dois principios magnéticos, e transportando-a ao magnéte, diremos: *que o principio boreal, he o que reside na parte do magnéte, que se volta para o sul, e que o principio austral, he o que reside na parte da agulha, que olha para o norte.*

20. Isto posto he facil vêr, que todas as vezes, que hum pequeno arâme se põe por huma das extremidades em contacto com hum dos pólos de hum magnéte, ou sob a influencia deste pólo, o arâme adquire na parte mais proxima ao magnéte, hum pólo sempre de nome opposto ao pólo influente; e pelo contrario, na parte a mais remota, hum pólo semelhante ao do pólo influente do magnéte.

21. O globo terrestre obrando sobre os magnétes, como se no hemisferio boreal existisse huma porção de principio boreal livre, e no hemisferio austral, huma porção igualmente livre de principio austral, deve obrar sobre o ferro, o cobalto, &c. submettidos á sua influencia, como hum verdadeiro magnéte, e gerar pólos nas massas destes metaes.

Com effeito, se se toma hum vergalhão de ferro bran-

do, e se dirige na direcção, que para o diante mostraremos ser a resultante das acções magneticas do globo, o vergalhão acha-se magnetisado; o que se mostra, appresentando, sem lhe mudar a posição, cada huma das suas extremidades ao mesmo pólo de hum magnéte livre.

Desenvolvimento, e disposição dos principios magneticos.

22. Os factos, que acabámos de observar, nos mostraõ em primeiro lugar, que os principios magneticos são como os principios electricos intangiveis, invisiveis, e imponderaveis: em segundo lugar, vêmos pelas mesmas experiencias, que estes principios são de duas especies, principio austral, e principio boreal, e que os principios do mesmo nome se repellem, em quanto os principios de nomes oppostos se attrahem reciprocamente.

Mostraõ mais as mesmas experiencias, que todas as vezes, que por hum meio qualquer magnetisamos hum côipo, e que do mesmo modo, quando por hum meio qualquer, hum côipo vem a perder o seu estado magnetico, nada se dá, ou se tira ao côipo, por quanto o côipo magnetisante nada perde magnetizando outro côipo; e aquelle que perde o estado magnetico, não o communica a outra alguma substancia. Daqui devemos concluir, que a magnetisação de hum côipo, não he mais, que a separação dos dois principios magneticos nelle existentes, a qual separação permite a cada hum delles manifestar as suas propriedades, neutralisadas antecedentemente pela combinação reciproca. E por isso que, empregando os meios os mais energicos de magnetisação, de que aprenderemos a dispôr para o diante, jamais cessa o côipo de magnetisar-se, diremos: que os côipos magnetisaveis, e taes são, como vimos, o cobalto, o ferro, o nickel, o aço, &c. encerraõ os dois principios magneticos em huma quantidade indefinida, e em quantidades iguaes, applicando aqui a palavra igualdade no mesmo sentido, em que a applicámos aos principios electricos oppostos (Secção IV. §. 26).

23. Quando pozémos hum dos pólos, v. g., o pólo boreal de hum magnéte, em contacto com hum fio de ferro, ou de aço, observámos, que o principio austral do fio era attrahido para a parte a mais proxima do magnéte, e pelo

contrario o principio boreal repellido, formando-se na primeira hum pólo austral, e na segunda hum pólo boreal, e que o mesmo tinha lugar sem contacto, e pela simples influencia em distancia. Reflectindo sôbre esta experiencia notaremos, que o fio, ou por melhor dizer, o seu magnetismo natural, he influido por todo o magnéte; mas com energias differentes para hum, e outro pólo; por quanto o pólo boreal mais visinho ao fio, obra com mais energia, que o pólo austral, que oppéra de mais longe; de maneira, que este segundo pólo só pôde destruir huma parte do effeito do primeiro, e o fio acha-se no mesmo caso, que se sómente fosse influido por huma força de magnetismo boreal, igual á differença, que a distancia, ou a obliquidade de direcção, introduz entre a acção dos pólos do magnéte influente.

A magnetisação pois, não he outra cousa mais, que a separação dos principios austral, e boreal, que existião combinados no côrpo, e he geralmente produzida pela acção attractiva, e repulsiva, de huma quantidade de magnetismo livre, obrando sôbre o magnetismo natural do mesmo côrpo.

24. A decomposição das electricidades naturaes nos côrpos conductôres pela influencia de hum principio electrico livre faz-se, assim como a dos magnetismos, pela acção attractiva, e repulsiva sôbre os principios da electricidade natural do côrpo; existe porém huma grande differença na maneira, pela qual os principios magnéticos, e electricos, no caso ponderado, se separão, e distribuem no côrpo.

Com effeito, no conductôr electrico influido ha duas regiões mais, ou menos extensas, separadas pelo estado natural, nas quaes domina hum unico principio electrico livre, de tal maneira, que se dividissemos em porções quaesquer, cada huma destas regiões, a carga de cada fragmento seria ou totalmente vitrea, ou totalmente resinosa, conforme a região a que pertencesse. No conductôr magnetico pelo contrario, cada fragmento, cortado em qualquer parte, será hum pequeno magnéte completo, tendo dois pólos, hum boreal, e outro austral, dirigidos da mesma maneira, que no fio primitivo.

25. Se hum conductôr electrificado por huma influencia não pôde representar-nos na separação dos seus principios, aquella separação que tem lugar nos principios magneticos de hum fio de ferro, de aço, &c., as pilhas electricas, e os

cristaes electrizados pelo calor, descriptos (Secção IV. § 141, e 191), nos dão huma imagem completa desta separação, como o faz vêr a comparação dos phenomenos manifestados em hum, e outro caso.

Com effeito, a pilha electrica tem como o fio dois pólos oppostos, em que existe o maximo de energia da acção; a partir destes pontos, a carga decresce rapidamente até se tornar quasi nulla na região media da pilha; o mesmo observámos em todo o fio magnetizado. A pilha fraccionada em porções, fornece outras tantas pilhas semelhantes á primeira, cada huma munida de dois pólos dirigidos como os da pilha primitiva; os magnétes offerecem nos a mesma condição. Reunindo os fragmentos da pilha, os pólos que tornarem a aproximar se convenientemente, dissimular-se-hão reciprocamente, e a pilha tornará ao estado primitivo; o mesmo acontecerá se depois de fraccionado hum magnéte, reunirmos novamente os seus fragmentos, na lórma, e pela ordem em que primitivamente existião. He pois evidente, que de huma, e outra parte temos os mesmos phenomenos, em quanto ao modo de distribuição dos principios.

26. Qualquer que seja o numero de fragmentos, em que se divide hum magnéte, e consequentemente, qualquer que seja a tenuidade de cada fragmento, este será ainda hum magnéte completo, no qual existirão quantidades iguaes de magnetismos oppostos livres. Donde concluiremos, que a separação dos principios magneticos tem lugar em cada mollécula do ferro, cobalto, &c.; e que o magnéte total resulta da uniaõ de tantos magnétes parciaes, quantas são as molléculas materiaes, que o compõe. Quando as molléculas estão reennidas, os magnetismos oppostos de cada mollécula dissimulaõ-se em parte: o estado definitivo de cada ponto, he o resultado das acções, e influencias reciprocas daquelle ponto, e de todos os outros pontos, sôbre o seu magnetismo natural.

27. Vimos que o ferro perfeitamente puro, e macio deixa decompôr instantaneamente os seus magnetismos naturaes; que porém o aço mais, ou menos duro oppõe huma certa resistencia a esta separação, e do mesmo modo resiste á recombinação dos principios magneticos huma vez separados. A este respeito, o ferro brando pôde ser comparado aos corpos conductôres da electricidade, como v. g., os metaes; o

aço pelo contrario aos corpos não conductôres, como v. g., as resinas; o enxofre, &c. A força, em virtude da qual o aço resiste á separação, e á recombinção dos principios magnéticos, chama-se força *coercitiva*.

28. Poisson pôde determinar analiticamente a distribuição da electricidade nos conductôres, partindo da condição simples, de que a resultante das acções attractivas, e repulsivas do stracto electrico, em qualquer ponto do corpo, fosse nulla; esta condição determina, como vimos, a distribuição da electricidade em todos os casos, sendo a sua applicação unicamente limitada pela imperfeição da analyse mathematica, que não permite estender o calculo além de hum pequeno numero de figuras. Na distribuição dos principios magneticos a existencia da força coercitiva prohibe a applicação deste principio simples, e fecundo. Por quanto, para que haja hum estado magneticco permanente, não he essencialmente preciso, que a resultante das acções magnéticas, sôbre qualquer ponto, seja nulla; porém basta, que seja inferior á força coercitiva, o que pôde acontecer por muitos modos, e até com discontinuidade na distribuição do magnetismo nos diversos pontos da barra: este problema he pois indeterminado.

29. Se porém imaginarmos em huma barra hum desenvolvimento, e huma disposição tal de magnetismos livres, que a resultante das acções magnéticas, attractivas, e repulsivas sôbre cada ponto, seja em cada hum delles igual á força coercitiva, he claro, que neste caso o magnéte terá toda a energia possivel, quer dizer, que nelle se acharão desenvolvidas as maiores quantidades possiveis de magnetismo. Hum corpo neste estado chama-se *magnetisado a saturação*.

30. Para magnetisar hum corpo a saturação, começa se por submeter o corpo a influencias taes, que a desenvolvimento de magnetismo seja sensivelmente superior áquella, que admite a força coercitiva, e abandonando depois o corpo a si mesmo, os magnetismos em excésso recombinão-se, restando unicamente livre, ou separada, huma quantidade destes principios, cuja acção seja igual á força coercitiva, o que constitue a *saturação*.

Forças directrizes do Globo.

31. Observámos, §. 16, que hum numero qualquer de magnêtes, suspensos livremente em distancias, insensíveis relativamente ao diametro da terra, se dirigem todos em direcções parallelas, do mesmo modo, que tomaõ direcções parallelas qualquer numero de pendulos, suspensos ao lado huns dos outros no mesmo limite de distancia: assim as acções attractivas, e repulsivas magneticas da terra, pôdem, bem como a acção da gravidade, suppôr-se parallelas dentro dos limites de distancia, de que fallámos.

32. Isto posto seja AB huma agulha magnetica, suspensa pelo seu centro de gravidade, e consequentemente submettida unicamente á acção das forças magnéticas do globo: concebâmos esta agulha dividida em elementos assás curtos, para que na extensão de cada hum delles se pôssa suppôr uniforme a distribuição do magnetismo, e tomemos hum destes elementos E , no qual suppõremos huma certa quantidade de magnetismo austral livre. O ponto E será attrahido pelo magnetismo boreal do globo, e repellido pelo magnetismo austral: representemos por EF a acção attractiva, e por EF' a acção repulsiva dos magnetismos terrestres; completando o parallelogramo destas forças, a diagonal EG deste parallelogramo será a resultante das acções do magnetismo do globo sobre o elemento E , carregado de magnetismo austral; e do mesmo modo $E'G'$, igual, e opposta a EG , seria a resultante dos magnetismos do globo sobre hum outro elemento E' , que tivesse huma igual carga de magnetismo boreal. Cada hum dos elementos do magnête, ou agulha dará huma resultante parallela a esta, e por consequente compondo todas as resultantes attractivas, e todas as resultantes repulsivas em duas unicas, a agulha será solicitada por duas forças parallelas de direcções oppostas OP , e $O'P'$, cujos pontos O , e O' de applicação dependerão da distribuição do magnetismo na agulha, que se considera.

33. Sabemos mais §. 22, que em todo o magnete a somma de magnetismo austral he igual á somma de magnetismo boreal, logo as duas resultantes OP , e $O'P'$, além de parallelas, e oppostas, devem ser iguaes: e por consequente naõ

poderão communicar á agulha movimento algum de translação no espaço.

34. Não acontecerá porém assim, pelo que diz respeito ao movimento de rotação da agulha em tórno do centro de suspensão, quer dizer, em quanto á direcção da agulha no espaço. Com effeito, em primeiro lugar he evidente, que a agulha se situará necessariamente no plano vertical, que comprehende as forças; por quanto só neste caso a resultante horizontal das acções magneticas sobre ella será nulla. Chamada Fig. 5.^a a agulha a este plano, cada huma das forças OP , e $O'P'$ pôde ser decomposta em duas, huma no sentido da agulha, e outra perpendicular á sua direcção: as primeiras destruir-se-hão reciprocamente sendo oppostas: as segundas tenderão a dar á agulha hum movimento de rotação, até que se anullem, o que só terá lugar, quando a agulha coincidir com a direcção das referidas forças.

Para demonstrar rigorosamente esta verdade tomemos, v. g., a força attractiva OP , e decomponhamo-la nas duas OR perpendicular, e Om paralela ao comprimento da agulha; no triangulo OPm rectângulo em m , teremos -

Fig. 6.^a $R : \text{Sen } POm :: OP : Pm$, que dá $Pm = \frac{OP \cdot \text{Sen } POm}{R}$;

logo Pm só cessará de existir quando fôr $\text{Sen } POm = 0$, isto he, o angulo POm nullo. A direcção pois de huma agulha magnética, suspensa livremente pelo seu centro de gravidade, he a direcção mesma da resultante das acções magneticas do globo.

35. He por si mesmo evidente, que a intensidade, ou energia da força directriz do globo sobre hum magnéte, dependerá, 1.^o da quantidade de principios separados no magnéte; 2.^o da disposição destes principios, e he tambem visivel, que de todas as distribuições possiveis dos principios magneticos em huma agulha, a mais vantajosa para produzir huma força directriz consideravel, será aquella, em que cada huma das metades da agulha, a partir do centro de suspensão para as extremidades, estiver carregada de magnetismo inteiramente austral, ou boreal, isto he, aquella em que a agulha tiver dois pólos unicos, situados nas suas extremidades; pois neste caso, as resultantes das forças attractivas, e repulsivas conspirarão para dar á agulha huma mesma direcção; quando pelo contrario se combateriao reciprocamente, se os seus

pontos de applicação O , e O' estivessem ambos situados de hum mesmo lado do centro de suspensão.

36. Demonstrámos (Secção 1.^a § 86), que dois pendulos de comprimentos iguaes, oscilando sob a influencia de forças attractivas de energias diversas, os quadrados das velocidades de vibrações, ou o que he o mesmo, os quadrados dos numeros de vibrações por elles executados em hum segundo, seraõ entre si como as forças de gravidade, que os animaõ. Demonstrámos tambem na presente Secção §. 16, que as forças attractivas, e repulsivas magnéticas do globo saõ sensivelmente parallellas, nos limites de distancia, a que se extendem as nossas experiencias: e por conseguinte tudo o que dissémos do movimento oscilatorio dos pendulos, he inteiramente applicavel ás oscilações das agulhas magnéticas. Daqui resulta, que se huma mesma agulha igualmente magnetisada faz em diversos lugares, numeros de oscilações por segundo entre si, como a , b e c , &c. representando por g , g' e g'' , &c. as acções magnéticas do globo nestes lugares, estas acções seraõ entre si como $a^2 : b^2 : c^2$.

Se em vez de suppõrmos constante a força magnética da agulha, e variavel pelo contrario a acção do globo, suppozermos constante a segunda, e variavel a primeira, o que terá lugar quando fizermos oscilar no mesmo lugar, e tempo duas agulhas, de intensidades magnéticas diversas, se a e b representarem o numero de vibrações das agulhas em hum segundo, e g , e g' a sua energia magnética, teremos $g : g' :: a^2 : b^2$.

Determinação experimental da direcção, e intensidade das forças magnéticas do globo.

37. Visto que a direcção de huma agulha magnética livremente suspensa pelo seu centro de gravidade, se fixa na direcção da resultante das acções magnéticas do globo; para determinar esta ultima direcção em hum lugar qualquer, bastará observar rigorosamente, qual he a direcção da agulha naquelle lugar.

37. Se pela direcção, ou eixo de huma agulha magnética se imagina passar hum plano vertical, este plano chama-se, o meridiano magnético do lugar. O angulo, que este plano do me-

meridiano magnético, fórma com o plano do meridiano astronómico chama-se a *declinação da agulha*.

39. Hum agulha suspensa pelo seu centro de gravidade, e situada no meridiano magnético, não se dirige horizontal; mas toma hum direcção mais, ou menos obliqua ao horizonte, conforme os lugares, em que se acha. O angulo que a direcção da agulha fórma com a horizontal, chama-se a *inclinação da agulha*.

40. Para determinar a direcção da resultante das acções magnéticas do globo, he necessario medir com todo o rigor, a declinação, e a inclinação da agulha: estas medidas podem fazer-se por qualquer dos processos seguintes.

41. Para determinar em hum lugar qualquer a declinação da agulha, suspenderemos livremente no ar hum fio, ou agulha magnética, e equilibra-la-hemos de maneira, que fique horizontal; abandonaremos a agulha, até que tome hum posição fixa. Então notaremos no horizonte hum objecto assás distante, a que a agulha corresponda pelo seu prolongamento, e que nos dê a sua direcção no plano horizontal; e medindo o angulo, que esta direcção fórma com o meridiano astronómico do lugar, que se terá determinado previamente, teremos o angulo de declinação.

Este processo suppõe, que o eixo magnético da agulha, quer dizer, a linha, que passa pelo ponto de suspensão, e o ponto de applicação da resultante das acções magnéticas, se acha rigorosamente na linha, que une as duas pontas da agulha; o que he sempre verdade, quando a agulha he hum fio assás delgado, para poder ser considerado como hum feira mollecular.

Na practica porém, as agulhas, que se empregão, são ordinariamente laminas rectangulares de aço, de hum largura muito sensivel: por tanto o eixo magnético nem sempre he paralelo ás faces lateraes da agulha: convem pois prevenir este inconveniente, e por assim dizer, saber traçar na agulha o seu eixo magnético: esta opperação he mui facil.

Para este fim suspendamos a lamina, e mirando por hum dos lados, fixemos hum objecto distante, voltemos a lamina com a face inferior para cima, e fixemos mirando, hum novo objecto; medindo o angulo entre os dois objectos, a metade d'elle será evidentemente hum angulo formado pelo eixo magnético, com o lado da lamina, que servio para a mira-

gem: este angulo nos servirá para corrigir as observações feitas com huma semelhante agulha.

42. Podemos ainda determinar a declinação da agulha por hum methodo diverso, fundado nas considerações seguintes. Se huma agulha magnética AB se atravessar no seu centro de gravidade C , por hum eixo horizontal, movendo se sobre dois appoios a, b , o seu movimento será livre no plano perpendicular ao eixo, isto he, no plano vertical; porém toda, e qualquer força horizontal, que obrar sobre a agulha, será destruida pela resistencia do eixo. Estando pois a agulha em huma direcção perpendicular ao meridiano magnético, decomponhamos a resultante das acções magnéticas do globo, em duas forças, huma vertical, e outra horizontal; esta ultima componente será nulla no seu effeito, por quanto a resistencia do eixo impedirá a agulha de obedecer-lhe: ficará portanto a agulha unicamente submettida á força vertical, a qual lhe dará por tanto esta direcção.

Fig. 7.^a

Daqui resulta, que suspendendo huma agulha em hum eixo horizontal, e inflexivel, a direcção desta agulha será perpendicular ao meridiano magnético, quando a agulha se fixar na direcção vertical. Medindo pois o angulo, que então fórma o plano perpendicular ao eixo da agulha, com o meridiano ^{arbitrário} magnético, e subtrahindo d'elle 90° , a differença será a declinação da agulha.

43. Para determinar a inclinação da agulha, faremos uso de hum apparelho, que tem o nome de *agulha de inclinação*, e cuja construcção reduz-se ao seguinte.

Fôrma-se huma agulha AB de aço, o mais symetrica possivel, e atravessa-se no seu centro de gravidade com hum eixo perfeitamente perpendicular á agulha. Quando suspendermos esta agulha pelo eixo, toda, e qualquer posição lhe será necessariamente indifferente. Assim trabalhada a agulha, magnetisa-la-hemos o mais symetricamente possivel pelos meios, que se veraõ para o diante.

Fig. 8.^a

O eixo de suspensão da agulha magnética, situa-se no centro do circulo vertical graduado $CADB$, o qual circulo pôde girar em tórno do seu diametro vertical CD por meio de hum eixo E , que atravessa o limbo em C . O eixo E está tambem situado no centro de hum segundo circulo horizontal graduado OPQ , e todo o apparelho he sustentado por hum

pé com parafusos, e munido de niveis de ar para dar huma horizontalidade rigorosa ao circulo OPQ .

44. Para usar deste aparelho, começa-se por nivelar perfeitamente o circulo horizontal OPQ ; isto feito, faz-se girar o circulo vertical em tórno do eixo E , até que a agulha se fixe na vertical; então he claro, que o plano do circulo $CADB$ he perpendicular ao meridiano magnético, e o limbo graduado do circulo OPQ , nos mostrará a direcção daquelle meridiano. Traremos então o circulo vertical a este plano, e abandonando a agulha a si mesma, até que ella se fixe em huma direcção, leremos no limbo do circulo vertical, o angulo, que a agulha fórma com o horisonte, isto he, a inclinação procurada.

Vê-se, que este instrumento nos dá ao mesmo tempo os dois elementos da acção directriz do globo, isto he, a *inclinação*, e a *declinação*.

45. O instrumento, cuja construcção, e uso acabamos de descrever, suppõe duas condições essenciaes, que são: 1.^a, que a direcção da linha, que une as duas pontas da agulha, seja rigorosamente o seu eixo magnético: 2.^a, que o eixo de suspensão esteja rigorosamente no centro de gravidade da agulha; como porém na practica he extremamente difficil obter esta precisão, procuremos o meio de corrigir o defeito provindo de inexactidão a qualquer destes respeito.

Para determinar o angulo formado pelo eixo apparente da agulha com o seu eixo magnético, praticaremos como fizemos com a agulha de inclinação, observando no limbo vertical a direcção do eixo apparente; quando a agulha tem huma determinada face voltada para leste, voltaremos a agulha de maneira, que essa mesma face olhe para o oeste; e determinando de novo a direcção do eixo apparente sobre o limbo, a direcção do eixo magnético será rigorosamente intermedia ás duas, quer dizer, que o angulo observado entre as duas direcções, será o dôbro do erro do instrumento.

Quando a agulha se acha suspensa rigorosamente pelo seu centro de gravidade, acha-se fóra da acção da gravidade, e obedece simplesmente á resultante das acções magnéticas do globo; se porém hum dos lados da agulha fór mais pesado, que o outro, a acção da gravidade compondo-se com a acção magnética, dará huma direcção, que não será a

verdadeira inclinação; mas maior, ou menor, do que ella, conforme a parte mais pesada fôr, a que fica por baixo, ou por cima do horisonte.

Para corrigir, ou por melhor dizer, para determinar este erro, observar-se-ha a inclinação dada pela agulha; depois magnetisar-se-ha a agulha em sentido inverso, quer dizer, trocando-lhe os pólos, e observar-se-ha de novo a declinação: a semidifferença das duas direcções, será evidentemente o erro procurado; e conseguintemente a semi-somma das duas inclinações, será a verdadeira inclinação magnética.

46. Depois de determinarmos a direcção das forças magnéticas do globo, offerece-se ao nosso estudo a determinação da intensidade destas forças.

Para comparar as forças directrizes horisontaes do globo, bastará evidentemente fazer oscilar a mesma agulha horisontal, ou agulha de declinação em os lugares, nos quaes pretendemos comparar aquellas forças, e contar o numero de oscilações, que a agulha executa em hum segundo de tempo, as forças serão proporcionaes aos quadrados dos numeros de oscilações.

Se do mesmo modo contarmos as oscilações da mesma agulha de inclinação em lugares diversos, teremos pela proportionalidade das intensidades ao quadrado dos numeros de oscilações, a relação entre as intensidades das forças verticaes.

Se quizermos agora ter a intensidade das forças magnéticas, comparada com a da gravidade terrestre, não teremos mais que determinar o centro de suspensão, e o centro de oscilação da agulha, e então tomando a distancia entre estes dois pontos, a agulha representar-nos-ha hum pendulo; no qual a força da gravidade he supprida pelo magnetismo, e o calculo poderá dar-nos por conseguinte a sua intensidade, comparada com a da gravidade.

47. Para ter o valor da força directriz de inclinação, não he necessario recorrer a observação das oscilações da agulha de inclinação, sempre influidas pela fricção do eixo; mas poderemos calcular esta força por meio das oscilações horisontaes; com effeito he claro, que as forças directrizes horisontal, e vertical, e a resultante das acções magnéticas do globo, formão o triangulo *abc* (Fig. 9.^a), no qual *ac* representando a resultante das acções magnéticas, *ab* e *bc* representarão as forças verticaes, e horisontaes, e o angulo

Fig. 9.^a

acb a inclinação da agulha. Ora a observação das oscilações horizontaes faz conhecer *bc*, e sabemos determinar por observação o angulo *acb*, com estes dados poderemos, no triangulo rectangulo *abc*, calcular tanto a hypotenusa *ac*, como o outro lado *ab*.

Variação da direcção, e intensidade das forças magnéticas com os lugares, e os tempos.

48. Conhecendo os meios de determinar a direcção, e a intensidade das forças magnéticas nos diversos pontos do globo, a primeira indagação, que se appresenta ao physico, he procurar qual he no universo o centro destas forças: indagar se hum centro unico pôde satisfazer a todas as direcções, que a agulha appresenta nos diversos lugares, ou se estas direcções exigem a existencia de mais de hum centro de acção: se finalmente os centros das forças magnéticas, e consequentemente as resultantes das acções magnéticas do globo, são constantes, ou variaõ com o tempo. He claro, que sem estes conhecimentos prévios, jámais poderemos lisonjear-nos de representar esta acção magnética do globo por huma hypothese simples, e plausivel, e muito menos construir a theoria desta acção, e calcular por meio della qual será em hum lugar, e n'huma época dada a direcção, e a intensidade das acções magnéticas.

49. Estamos ainda consideravelmente arredados do termo dos trabalhos neste ramo, e he elle hum dos pontos da physica, em que maiores serviços a sciencia espéra dos viajantes observadores; com tudo as observações já existentes bastaõ, para fazer vêr, que dois centros mui vizinhos, hum de forças austraes, outro de forças boreaes, não satisfazem ás observações, e que he forçoso admittir, além destes, centros magnéticos secundarios, para dar razão das anomalias observadas.

Naõ exporemos aqui em extenso as observações feitas, nem tão pouco as submetteremos ao calculo; daremos simplesmente huma idéa geral dos resultados, que tem fornecido até hoje as observações dos diversos astrónomos, physicos, e viajantes.

50. Transportando a agulha de inclinação a diversas latitudes tem-se observado, que este elemento varia, e compa-

rando os lugares, em que a inclinação da agulha he nulla, isto he, aquelles em que a resultante da direcção das acções magnéticas he horisontal, acha-se, que estes pontos se encontram ao sul, e ao norte do equador, que a partir delles, e crescendo a latitude, a inclinação vai tambem em progressivo augmento. Quando o observador segue a linha das inclinações nullas, a que se dá o nome de *equador magnético*, no sentido da longitude, mostraõ as mesmas observações, que no Oceano atlantico, no mar das Indias, e na parte do mar do Sul, que banha as costas da America Meridional, esta linha he hum circulo maximo da esféra terrestre, inclinado ao equador, e formando com elle hum angulo de 12° , cujo nódo Occidental existe na longitude $104.0^{\circ} 5.1' 52''$ Occ. de Lisboa, o nódo Oriental na longitude $284.0^{\circ} 5.1' 52''$ Occ. de Lisboa. Todas as observações até agora feitas, confirmão este resultado, o qual nos conduziria a admittir dois centros unicos de acções magnéticas oppostas, se as observações feitas no hemispherio opposto a este, isto he, na parte restante do mar do Sul, não apresentassem resultados contrarios: com effeito, as observações dos viajantes, especialmente as de Cook, Bayly, Dalrymple, e outros, mostraõ: que neste segundo hemispherio, o equador magnético está mui longe de ser hum circulo maximo da esféra; que porém esta linha corta pelo menos o equador terrestre em hum terceiro ponto, além dos dois nós, de que fallámos: o que exige necessariamente centros particulares de forças neste segundo hemispherio, que sem perturbar sensivelmente no outro a acção dos centros principaes, dêem com tudo razão das anomalias, observadas neste.

51. Quando na parte do globo, em que o equador magnético he regular, o observador se affasta daquelle equador; a inclinação cresce similhantemente para hum, e outro lado; de tal maneira, que os pólos daquelle circulo parecem ser situados na latitude 78° Norte, e 78° Sul, e nas longitudes $13.0^{\circ} 31.1' 52''$ Occ., e $193.0^{\circ} 31.1' 52''$ Occ.; devendo naquelles pontos a inclinação ser de 90° , quer dizer, a agulha tornar-se vertical, olhando o seu pólo boreal o zenit, no pólo boreal magnético do globo, e reciprocamente no seu pólo magnético austral.

52. As observações da declinação da agulha em diversos pontos, mostraõ, que as *linhas sem declinação*, isto he,

aquellas; em que a resultante das acções magnéticas se dirige no meridiano terrestre, não são tão pouco círculos máximos da esfera; estas linhas offerecem pelo contrario inflecções mui irregulares, e algumas até bifurcações, que se estendem depois em sentidos diversos. A posição destas linhas não he fixa no globo, e varia irregularmente nos diversos lugares; mudando por conseguinte a linha inteira, não só de posição, mas de figura.

53. As variações de declinação da agulha, não se fazem segundo huma lei regular até agora determinada: com effeito, esta variação he maior em huns lugares, do que em outros; e no mesmo lugar he diversa em diversos tempos, sendo até ás vezes nulla por hum certo lapso de tempo.

A inclinação he menos variavel, que a declinação; com tudo, este elemento varia tambem com o tempo, no mesmo lugar.

54. Não só as posições diversas do observador sôbre o globo, fazem variar a direcção da resultante das acções magnéticas d'elle; mas tambem a intensidade da mesma resultante. Humbolt conheceo por experiencias, feitas nas suas longas, e interessantes viagens, que a medida, que nos afastámos do equador para os pólos, a intensidade desta força cresce progressivamente. Não temos por ora experiencias, que nos determinem, se com o tempo, a intensidade das forças magnéticas em hum mesmo lugar he constante, ou variavel.

55. Além das variações, de que fallámos, a agulha magnética he sujeita a hum desvio periodico, ou a hum movimento oscillatorio diurno, que muitos Physicos attribuem á acção do sol, e da lua: com effeito, estes movimentos são diversos, sendo diversas as posições reciprocas do sol, da lua, e da terra, e coincidem com aquella hypothese.

56. Para terminar, o que temos a dizer sôbre a acção magnética do globo, resta-nos unicamente o dizer, que esta acção se estende, sem enfraquecimento sensivel, a todas as alturas, a que os homens se tem elevado. Gay-Lussac no seu ascenso em hum ballão aerostatico á altura de 7016 méetros acima do nivel do mar; a maior, a que os homens tem chegado, observou na agulha a mesma velocidade de vibrações, que na superfície da terra; o que indica huma constancia sensivel na intensidade da força. He pois provavel, que a acção magnética do globo, se estende indefinidamente no espaço, decrescendo segundo huma lei tal, que as

alturas, a que podemos elevar-nos, não podem, por pequenas, indicar-nos no seu valôr huma variação apreciável: e com effeito, estas distancias são em extremo pequenas, comparadas com o raio do globo.

57. Causas accidentaes, e fortuitas, turvaõ subitamente, e fazem temporariamente perder a regularidade de direcção das agulhas: taes são, como o tem observado os hautes, as grandes tempestades; e taes, muito especialmente, são as aparições do meteoros, a que chamamos *aurõra boreal*. Ignora-se completamente, que relação possa existir entre taes phenomenos, e o magnetismo.

Da influencia reciproca dos magnêtes hums sobre os outros, e sobre os corpos magnetisaveis, no estado natural.

58. No principio desta Secção vimos, que não só o contacto; mas a simples proximidade de hum magnête, gerava pólos em as massas dos corpos magnetisaveis, como v. g., nas barras de ferro. Não possuíamos entãõ conhecimentos sufficientes sobre o magnetismo, para passar além da indicação deste phenomeno; agora porém examina-lo-hemos mais particularmente.

59. Quando huma barra de ferro, ou de aço se põe em contacto com o pólo de hum magnête, o excesso de acção deste pólo, sobre o pólo opposto do mesmo magnête, obra sobre o magnetismo natural de cada huma das molleculas da barra, tendendo a separar em cada huma destas molleculas, os principios austral, e boreal, de tal maneira, que hum delles seja attrahido para a face da mollecula, que olha para o pólo, e o outro repellido para a face opposta da mollecula. Por outra parte, a força coercitiva propria á materia da barra, tende a conservar combinados os dois principios magnéticos oppostos, em cada huma das molleculas do corpo: donde resulta, que a quantidade de magnetismo desenvolvido em cada ponto da barra, depende da acção opposta de duas forças, a saber, da acção do magnête influente, e da força coercitiva; a primeira tendendo a magnetisar o ponto da barra, a segunda a conserva-lo no seu estado natural.

60. Postoque não tenhamos ainda determinado segundo que lei as acções magnéticas variaõ em razão da distancia,

Fig. 10.^a

as experiencias feitas nos mostraõ, que esta acção decresse, quando a distancia augmenta, e isto com rapidez consideravel. Deste enfraquecimento resulta, que a acção do magnéte influente AB (Fig. 10), sôbre os diversos pontos $p p' p''$, &c. da barra de ferro BC , he tanto mais fraca, quanto estes pontos mais se affastaõ do pólo B : se pois suppôzermos a barra BC indefinida, haverá necessariamente nella hum ponto p'' , no qual a acção influente do magnéte será igual á força coercitiva, e alli acabará a possibilidade de decomposições de magnetismo para o magnéte AB : por tanto a primeira parte Bp'' da barra, será hum magnéte gerado por AB , cujo pólo A existirá em B , e o pólo B em p'' ; mas além deste ponto a barra não poderá magnetisar-se pela acção de AB .

He porém claro, que sendo a parte Bp'' da barra hum magnéte, cujo pólo A tóca a barra restante $p''C$, este magnéte magnetisarà huma parte correspondente $p''p'''$ da barra, cujo comprimento será desde p'' até ao limite determinado pelo equilibrio entre a acção do magnéte Bp'' , e a força coercitiva. Este novo magnéte $p''p'''$ gerará ao longo da barra hum 3.^o magnéte, e assim por diante.

He tambem claro, que se o pólo B do magnéte influente fôr austral, por exemplo, o pólo B do primeiro magnéte Bp'' , será boreal; o pólo p'' austral; o pólo p'' do terceiro, boreal; o seu pólo p''' austral, &c. de maneira, que fazendo correr verticalmente a barra BC diante do pólo de huma agulha magnética, haverá huma alternativa seguida de attracções, e repulsões.

Os pontos, em que o equilibrio, entre a influencia, e a força coercitiva determina a formação de dois pólos oppostos, e que são, por assim dizer, os pontos de contacto entre os magnétes successivos, chamaõ-se *pontos consequentes*.

61. Do que fica exposto sôbre a formação, e natureza dos pontos consequentes, se vê claramente; que tanto mais fraco fôr o magnéte influente, tanto mais comprida a barra influida, e tanto maior a força coercitiva da materia, que a forma, tanto mais facilidade haverá para a formação de semelhantes pontos.

Se por outra parte imaginâmos hum magnéte suspenso livremente pelo seu centro de gravidade, he igualmente claro, que a disposição de magnetismo, a mais vantajosa para dar ao magnéte o maximo de força directriz, será aquella,

em que os magnetismos oppostos predominarem em todos os pontos de cada huma das partes da agulha, áquem, e além do centro de suspensão, quer dizer, quando a parte *AC* da agulha fôr toda austral, e a parte *AB* toda boreal; por quanto neste caso as acções attractiva, e repulsiva do globo obraõ no mesmo sentido para dirigir a agulha. Pelo contrario, quando na mesma parte *AB*, ou *AC* do magnéte, ha pólos diversos, as acções do globo, sôbre estes pólos, combatem-se no seu effeito directriz: e por consequente, a mesma quantidade de principios livres, conforme estiverem dispostos do primeiro, ou do segundo modo, produziráõ forças directrizes muito mais, ou muito menos consideraveis.

D aqui resulta, que em toda a agulha magnética, e em geral na magnetisação de qualquer barra, convem evitar, o mais possível, a formação dos pontos consequentes.

62. Quando hum magnéte se acha em contacto com hum côrpo magnetisavel, o côrpo pela influencia torna-se hum magnéte, sem que por isso, o magnéte influente perca cousa alguma na sua energia; porém não só a energia dos magnétes não he diminuida pelo contacto das massas magnetisaveis, e pela magnetisação dellas; mas necessariamente a sua energia deve ser augmentada nesta opperação. Com effeito, do mesmo modo, e pela mesma razão, que o magnéte influente obra sôbre a massa magnetisavel, e separa nas suas molleculas huma quantidade destes principios oppostos, dependente das causas atraz ponderadas; o magnéte, huma vez formado pela influencia, reage sôbre o primitivo, e augmenta a quantidade de principios, separados em cada huma das suas molleculas.

Vemos aqui o mesmo, que já observámos na influencia electrica, com a differença, que entre hum, e outro phenomeno, introduz a natureza particular de cada hum dos principios electricos, e magnéticos: sendo huma destas differenças, que as acções reciprocas das electricidades entre côrpos conductiões, satisfazem-se em hum tempo inapreciavel; em quanto as influencias reciprocas dos magnétes satisfazem-se no fim de hum lapso consideravel de tempo, no fim não só de horas, mas de dias, e de mezes de contacto. Nota-se entretanto, que se a influencia reciproca dos magnétes huns sôbre os outros, só com tempo, separa os principios nos côrpos, a recombinação delles he pelo contrario instantanea, e

tem lugar logo que desfazendo o contacto, pômos termo a essa influencia.

63. O conhecimento da influencia reciproca do ferro tornado magnéte pelo contacto sôbre o magnéte influente, não tem sido perdido para as applicações; pelo contrario, neste principio se funda o uso das *armas*, de que se guarnecem os magnetes, para lhes augmentar a energia, e collocar mais vantajosamente os seus pólos, para a decomposição dos magnetismos naturaes das barras no sentido longitudinal, que he aquelle, em que nos convém opperar esta decomposição, para ter magnetes dotados de huma força directriz consideravel.

Imaginemos, que o magnéte $ABA'B'$ tenha o seu pólo austral em AB , e o pólo boreal em $A'B'$: sôbre a face AB ajustemos a massa de ferro macio $abcde$, da fórma representada na (Fig. 11). O pólo austral AB do magnéte decomporá os magnetismos naturaes da arma de ferro $abcde$, de tal fórma, que gerará hum pólo boreal na parte contigua be , e hum estado magnético austral na superficie mais remota acd , e especialmente em cd , parte a mais distante da arma. Este novo magnéte $abcde$ reagirá sôbre o primitivo, e augmentar-lhe-há a energia, de maneira, que haverá em cd hum pólo magnético austral mais energico, que o pólo primitivo AB . O mesmo acontecerá, quando unirmos á face oppôsta $A'B'$ huma arma similhante $a'b'c'd'e'$, gerando-se em $c'd'$ hum pólo boreal mais energico, que o primitivo.

Fig. 11.ª

A espessura das armas não pôde ser indifferente para o effeito, que procurâmos obter por meio dellas. Com effeito, he certo por huma parte, que tanto maior fôr a massa de ferro, sôbre a qual oppéra o magnéte, tanto maior quantidade haverá de principios desenvolvidos, e por consequente crescerá a influencia reciproca; porém como o nosso fim não hé só obter esta influencia, mas fixar a região polar das *armas* nos pés cd , e $c'd'$ das mesmas; se excedermos huma certa grossura de lamina, o pólo poderá estabelecer-se nas superficies lateraes ac , e $a'c'$; o que não convém, pela razão, que vamos em breve a expôr. As condições necessarias para determinar as dimensões das *armas* de cada magnéte, são de tal maneira complicadas, pela variedade de disposição do magnetismo, e da sua energia nos varios magnetes, pela fórma destes, &c., que o calculo não tem até hoje podido ser applicado a esta determinação, e que os artistas se guião nes-

ta parte por palpadelas, começando por estabelecer as *armas* mais espessas, e diminuindo-as successivamente até encontrarem o maximo de acção.

64. A nova posição, que os pólos de hum magnéte adquirem pela applicação das *armas* offerece, como dissemos, consideravel vantagem para a magnetisação longitudinal das barras, independentemente do acrescimo de energia, que a presença das *armas* dá a cada hum dos pólos.

Para concebermos esta vantagem, imaginemos dois magnétes semelhantes, hum armado *AB*, outro desarmado *A'B'*, e em contacto com o pólo austral de cada hum delles as barras iguaes, e semelhantes *ab* e *a'b'*. He claro, que as acções da maior parte dos pontos da superficie polar *A'* do magnéte desarmado, por isso que esta superficie he muito maior, que a do pé *A* do magnéte armado, obraõ muito mais obliquamente sobre os diferentes pontos da barra *a'b'*, do que os pontos da superficie *A*, sôbre os da barra *ab*: consequentemente, ainda que a somma absoluta das acções da superficie *A'* seja igual á somma das acções absolutas da superficie *A*, a maior obliquidade das primeiras para decompôr o magnetismo das barras, no sentido longitudinal, fará com que o seu effeito seja menor, que o do pé *A* do magnéte armado.

Fig. 12.³

Além disto, a acção do pólo oppôsto do magnéte, combate á do pólo, a que a barra se acha applicada, e diminue por consequente o seu effeito. No magnéte desarmado *A'B'* a acção do pólo *A'*, relativamente á barra, tem sôbre a acção do pólo oppôsto *B'* a unica vantagem da distancia, esta he diminuida pela menor obliquidade, com que os diversos pontos da superficie polar *B'*, obraõ sôbre os diversos pontos da barra. No magnéte armado, pelo contrario, a acção do pólo *B*, he nulla sôbre a origem *a* da barra, para a decomposição longitudinal, por ser perpendicular a esta direcção, e he sempre extremamente obliqua nos outros pontos, em quanto as barras não tem hum comprimento muito consideravel.

65. A influencia reciproca dos magnétes, huns sôbre os outros, e a destes sôbre os corpos magnétisaveis no estado natural, offerece hum grande numero de phenomenos singulares, que a theoria exposta explica perfeitamente.

Se v.g. se toma huma lamina delgada, e ao pólo boreal

della se suspende hum arâme de ferro; aproximando pela parte superior outra lamina, de tal maneira, que o seu pólo austral se dirija sôbre o pólo boreal da primeira, chegará huma certa distancia, na qual o arâme se despegará do magnéte inferior. Este effeito he evidentemente devido ás acções oppostas dos dois pólos austral, e boreal, que com a aproximação successiva se vão reciprocamente neutralizando, relativamente ao fio, até que dêem huma resultante inferior á gravidade, que o solicita. Se o magnéte superior fôr muito mais energico, que o inferior, poderá, diminuindo mais ainda a distancia, reproduzir-se a attracção sôbre o arâme, a qual então será devida ao excesso da acção do magnéte superior.

Reaumur observou, que hum magnéte incapaz de sustentar huma certa massa de ferro, a levantou facilmente quando ella estava situada sôbre huma bigorna. A razão deste phenomeno, desconhecida áquelle observador, he para nós patente, e clara: com effeito, a massa de ferro no primeiro caso, só se magnetisa pela influencia do magnéte; mas quando está posta sôbre a bigorna, magnetisa a mesma bigorna, e esta reage sôbre a massa de ferro, e augmenta a energia dos seus pólos, e por conseguinte a sua força attractiva para o magnéte. Os phenomenos de influencia reciproca dos magnétes, podem variar-se por huma infinidade de modos, e dar lugar a muitas experiencias, das que podem ser classificadas no número dos jôgos scientificos.

Magnetisação.

66. O processo o mais simples, e consequentemente o primeiro empregado para communicar ás barras, fios, e agulhas, o estado magnético, he o do contacto simples de huma das extremidades da barra, fio, ou agulha com hum dos pólos do magnéte; porém já mostrámos sufficientemente os inconvenientes, a que he sujeito este processo, e que só o torna toleravel para a magnetisação de agulhas de mui pequeno comprimento, gerando-se quasi sempre nas peças mais compridas pontos consequentes, cujos inconvenientes temos ponderado.

A este processo segue-se o de passar longitudinalmente a barra, ou agulha, que se pertende magnetisar, sôbre hum

dos pólos do magnéte, ou sôbre hum dos pés da *arma*, sempre no mesmo sentido. Este methodo tem os mesmos inconvenientes do precedente; pois he facil vêr, que differendo só na apparencia, he com elle identico na acção definitiva. Quando o primeiro ponto da barra se acha em contacto com o pólo do magnéte, gera-se nelle hum pólo do nome opposto; por quanto a acção do pólo do magnéte tende a attrahir o magnetismo contrario, e repellir o similhante; mas quando este ponto tem passado além do magnéte, a acção deste he perfeitamente opposta, e destroe o effeito primitivo, e assim para todos os pontos, excepto o ultimo; pois todos elles, á excepção daquelle, se achão submettidos a acções iguaes, e oppostas, achando-se alternativamente á direita, e á esquerda do pólo do magnéte. Assim o effeito definitivo, e permanente he o do contacto na ultima extremidade, o que se reduz ao primeiro processo exposto.

O effeito deste processo augmenta-se, quando em vez de empregarmos hum só magnéte, empregâmos dois, applicando-os ás extremidades da barra pelos seus pólos oppostos.

67. A energia necessaria para as agulhas de marear, e para as diversas barras, e fios, empregados no estudo, e nas applicações do magnetismo, conduzirão os Physicos a procurar methodos de magnetisação, susceptiveis de desenvolver em maior quantidade, e com grande regularidade o magnetismo nas massas de ferro, tanto pequenas, e delicadas, como consideraveis. Sem entrarmos na historia dos progressos destas indagações, passaremos a expôr os melhores methodos de magnetisação.

68. Em vez de empregar os processos indicados, Michel, e Canton imaginárao hum processo de magnetisação, a que dérao o nome de *toque duplo*; consiste este método em unir duas barras magnetisadas por meio de pedaços de ferro brando, de tal maneira, que sejao parallelas huma á outra, e que os seus pólos oppostos *A*, e *B* se achem a huma pequena distancia hum do outro (fig. 13); collocaõ-se entao estes dois magnétes perpendicularmente sôbre a barra, que se pertende magnetisar, e correm-se alternativamente de huma extremidade á outra; e finalmente, quando depois de hum certo numero de fricções, se achão no meio da barra, retiraõ-se perpendicularmente a ella. O exame, do que se passa neste método, vai mostrar-nos immediatamente as suas vantagens.

Consideremos na barra, que se magnetisa, huma mollécula *m*: o seu magnetismo austral será repellido por *A*, e attrahido por *B*; e do mesmo modo o seu magnetismo boreal será repellido por *B*, e attrahido por *A*: os dois pólos dos magnétes, tenderão pois a decompôr no mesmo sentido o magnetismo natural da mollécula *m*. Quando pela marcha progressiva dos dois magnétes reunidos, a mollécula *m* se achar em *m'* fóra do intervalo entre os pólos, o principio austral da mollécula será repellido por *A* em sentido contrario ao primitivo; porém será attrahido por *B* no mesmo sentido, obedecendo por tanto á differença entre as acções de *A*, e de *B*: o mesmo acontecerá ao principio boreal. A mollécula *m* perderá pois nesta segunda posição, parte do magnetismo adquirido na primeira; porém não o perderá todo; por quanto na segunda posição, a acção dos dois pólos combate-se, em quanto no primeiro, conspira ao mesmo fim. Daqui se vê, que o contacto duplo, tende sempre ao mesmo fim em toda a duração das fricções, em quanto o contacto simples só obra na posição definitiva.

Se no acto das fricções, a barra, que se pertende magnetisar, se achar situada entre dois magnétes energicos, oppostos pelos seus pólos, o effeito será ainda muito maior; por quanto a presença daquelles pólos determinará a dissimulação de parte dos magnetismos desenvolvidos na barra, e facilitará por conseguinte a magnetisação, de hum modo semelhante áquelle, pelo qual o disco inferior de hum condensador augmenta a faculdade de electrizar fortemente, o disco collector.

69. Epinus fez ao método do toque duplo, huma modificação importante, consistindo em reunir os magnétes, que formão o feixe móvel, não parallelamente hum ao outro; mas divergindo pela parte superior, e formando hum angulo de 20° proximamente com a barra magnetisada.

Esta disposição tem a vantagem de aproximar da barra, os centros de acção dos magnétes girantes, que são sempre situados, como para o diante mostraremos, não na extremidade, mas hum pouco por cima della; e além disto o de afastar mais hum do outro, os referidos centros; o que corre evidentemente para o effeito desejado. Este método he excellente para a magnetisação das barras fortes; porém he sujeito a produzir pontos consequentes, ainda que fracos.

70. Coulomb guiado pelo seu genio, e reiteradas experiencias sôbre o magnetismo, adoptando dos diversos métodos de magnetisação, antes delle praticados, as partes as mais vantajosas, supprimindo quanto achou de imperfecto, ou nocivo, e accrescentando nôvos adiantamentos, creou o método o mais perfeito de magnetisação, e por meio delle, dando aos magnétes huma distribuição de principios regular, tóca o termo da saturação: descreveremos por tanto o seu procésso com a necessaria miudeza, para poder ser practicado.

Para practicar o procésso de Coulomb em toda a sua perfeição, he necessario possuir dois feixes fixos, e dois feixes girantes, quaes os vamos descrever, e adiante diremos, por que maneira os poderá obter, quem só tiver a principio hum forte magnéte natural, ou artificial.

Para formar os feixes fixos, toma Coulomb barras de ferro $0^m,35$ de comprimento, $0^m,015$ pouco mais, ou menos de largo, e $0^m,005$ de espessura, bem desempenadas, e de hum aço, que não exige ser da melhor qualidade, e fa-las temperar rijo: como nesta opperaçao as barras torcem, e empênão necessariamente, recoze-as sómente quanto baste para as desempenar de novo, e neste estado magnetisa-as quanto possivel a saturação. Magnetisadas as barras, toma-se cinco, deita-se ao lado humas das outras, tendo para o mesmo lado os pólos do mesmo nome: fórma-se hum similhante stracto de outras cinco barras, e unem-se ás primeiras com parallelepipedos de ferro mui brando, que deve sahir hum pouco adiante das extremidades das barras. Cada dez barras assim reunidas, fórmao hum feixe, como se vê (fig. 14). Estes feixes devem ser dois, para se collocar entre elles a barra, que se quer magnetisar.

Cada hum dos feixes móveis, que devem tambem ser dois, compõe-se de quatro barras de $0^m,4$ de comprimento, $0,015$ de largura, e $0,005$ de espessura, desempenhadas, e depois magnetisadas, como as dos feixes fixos: estas barras reunem-se lateralmente duas a duas. Hum par sôbreposto a outro, estando todos os pólos para o mesmo lado, constitue cada feixe, que pôde ser cingido com huma chapa de latao, para maior firmeza.

71. Construidos os feixes; para magnetisar com elles, começa-se por collocar os dois feixes fixos *A*, e *B* na mesma

linha horisontal, tendo os pólos oppostos voltados hum para o outro; situa-se a barra de tal maneira entre elles, que descance sôbre os contactos *ab*, sôbrepondo apenas 4 a 5 milímetros. Isto feito pousaõ-se os feixes móveis, á maneira de *Æpinus*, no meio da barra, fazendo cada hum delles, com a parte correspondente della, hum angulo de 20 a 30°, e õu se fazem correr sempre na mesma distancia reciproca de hum tóppo ao outro, retirando-os a final quando tem chegado ao meio, o que concorda com o processo de *Æpinus*, e *Canton*, ou se vai retirando cada hum separadamente para o seu tóppo da barra, como, primeiro que algum outro, o fez *Duhamel*, sendo este methodo conhecido pelo seu nome. Em hum, e outro caso, depois de haver assim opperado sôbre huma das faces da barra, volta-se esta face para baixo, sem inverter os pólos, e oppera-se da mesma maneira na face opposta.

As duas maneiras de correr os feixes móveis, usadas por *Æpinus*, e *Duhamel*, saõ incontestavelmente as melhores, como *Coulomb* o provou por experiencias decisivas, sôbre a força directriz de barras magnetisadas por estes diversos processos; entre estes dois methodos, he que a escolha pôde ter lugar. Mostraõ as experiencias, que o methodo de *Æpinus* desenvolve muito maior energia magnética, que o de *Duhamel*, sendo iguaes de huma, e outra parte os feixes magnetisantes; porém o methodo de *Duhamel* produz mais difficilmente pontos consequentes. Daqui resulta, que o methodo de *Æpinus* deve ser empregado para formar os fortes magnétes artificiaes, conservando-se o de *Duhamel* para a magnetisação das agulhas, e outros objectos mais delicados.

Em geral não convem magnetisar barras nimamente espessas, pois conhece-se por experiencia, que a reuniaõ de diferentes barras delgadas em hum feixe, tem maior energia, que huma só barra, igual á somma dellas em espessura.

Para formar os feixes do apparelho magnetisante, começar-se-ha por magnetisar as barras o mais fortemente possivel com o magnéte, que se possuir; formar-se-haõ com ellas feixes, com os quaes se poderá dar hum magnetismo já mais forte a outras tantas barras, com as quaes se formaraõ novos feixes, com que se augmentará a energia das barras primitivas, e repetir-se-haõ estas opperações reciprocas, até que se tenha chegado ao maximo de força, que se pertende obter.

Lei das attracções, e repulsões magneticas.

72. Coulomb, que pela engenhosa applicação da força de torção, determinou a lei das attracções, e repulsões electricas, segundo as distancias, servindo-se no estudo do magnetismo daquelle mesmo meio, achou a lei das attracções, e repulsões magneticas.

O método para este fim empregado, consiste em suspender no fio vertical da balança de torção, hum estrivo de cobre, ou de papel *ab* (fig. 16), no qual se colloca hum fio magnético de 24 polgadas de comprido, e $1\frac{1}{2}$ linhas de diametro, de tal maneira, que fique horisontal, e dispõe-se a balança de maneira, que o meridiano magnético da agulha corresponda ao zero de torção. Nesta direcção do meridiano magnético, fixa-se verticalmente huma régoa de cobre, de duas linhas de espessura, contra a qual a extremidade da agulha vem encostar-se, quando a torção do fio, e a força directriz a trazem ao meridiano. Ao longo desta régoa, e pela face opposta áquella, em que encosta a agulha, faz-se descer verticalmente hum fio magnético, semelhante ao primeiro, até que o seu pólo se ache na altura da agulha: se os dois pólos forem semelhantes, haverá repulsão; se porém forem diversos, haverá attracção. Fig. 16.º

He claro, que sendo o fio vertical, e a agulha horisontal, o ponto do recrusamento, he o que tem quasi toda a acção; por quanto os pontos, que ficão hum pouco arredados d'elle, devem ter huma acção fraquissima, pelo augmento da distancia, e a grande obliquidade, com que obraõ. Com muito mais razão se póde desprezar a acção dos outros pólos, quando os fios tem o comprimento, que dissemos; consequentemente o fio, e agulha estão aqui sensivelmente nas circumstancias dos discos carregados de electricidade das experiencias electricas (Secção IV. § 33, e seguintes).

Isto concebido, se fizermos, torcendo o micrómetro, variar as distancias entre os pontos da agulha, e do fio, e calcularmos as torções, que lhes correspondem, poderemos por meio dellas achar a lei das repulsões, e attracções magneticas, segundo as distancias. Para concluir porém o valôr destas forças, he necessario lembrarmos-nos, que a agulha tende a voltar ao zero de torção, não só em virtude da elasti-

cidade do fio da balança; mas tambem em virtude da força directriz do globo, poisque situamos o zero no meridiano magnético.

He pois preciso, antes de commecar a estudar a acção reciproca dos fios, examinar qual he o valôr da força directriz do fio horisontal; para o que desviaremos o fio hum numero a de grãos do meridiano magnético, e acharemos, que a força he representada por huma torção t : logo para outro qualquer angulo a' , a força directriz será - - - - -

$$t' = t \frac{\text{Sen } a'}{\text{Sen } a} \quad (*)$$

Nas experiencias de Coulomb, os arcos a , e a' das observações eraõ tão pequenos, que se podiaõ suppôr, sem erro appreciavel, proporçionaes aos seus senos, e entãõ a expressãõ de t' , será - - - - -

$$t' = t \frac{a'}{a}$$

Conhecida assim a força directriz, sommar-se-ha, ou subtrahir-se-ha da torção observada na acção reciproca dos dois fios, conforme concorrer com a direcção da torção, ou lhe fôr opposta; e esta somma, ou differença, será o valôr da força attractiva, ou repulsiva, que se procura.

73. Exemplificaremos este método com a experiencia seguinte do mesmo Coulomb.

Seja AE o meridiano magnético, CD a agulha desviada deste meridiano hum angulo $DEB = a$: representemos por OP paralela a CD a resultante das acções attractivas do globo sobre a agulha, e decomponhamos esta força em duas OR , e OQ ; esta segunda será a força directriz para o angulo a , isto he, t ; mas temos no triangulo OPQ rectangulo em Q - -

(*) Seja AE o meridiano magnético, CD a agulha desviada deste meridiano hum angulo $DEB = a$: representemos por OP paralela a CD a resultante das acções attractivas do globo sobre a agulha, e decomponhamos esta força em duas OR , e OQ ; esta segunda será a força directriz para o angulo a , isto he, t ; mas temos no triangulo OPQ rectangulo em Q - -

$$t : \text{Cos } POQ :: OP : OQ,$$

Cos POQ he igual a Sen $POD = \text{Sen } a$ por ser OP paralela a EB ; logo será

$$t : \text{Sen } a :: OP : OQ = OP \text{ Sen } a = t \text{ Sen } a;$$

mas OP he constante: logo OQ , ou t he proporcional a Sen a , como dissemos no texto.

Commeçou Coulomb por desviar a agulha 20° do meridiano magnético; e para isto torceo 720° o fio: logo a força da torção he $t = 700^\circ$, quando $d = 20$: para ter pois esta força em outro qualquer angulo φ , teremos chamando-lhe t' - - - - -

$$t' = 700 \frac{\text{Sen } \varphi}{\text{Sen } 20^\circ}, \text{ ou proximamente } t' = \frac{\varphi}{20^\circ} 700 = 35^\circ \varphi.$$

Passando depois a observar as repulsões dos dois fios em diversas distancias, observou o seguinte - - - - -

Torções dadas ao fio pelo micrómetro.	Distancias.	Torção total do fio.
0	24	24
1080	17	1097
2880	12	2892

Torções dadas ao fio pelo micrómetro.	Distancias.	Torções totaes.	Força directrix aditiva.	Força da repulsão.
0	24	24	840	864
1080	17	1097	595	1692
2880	12	2892	420	3312

Comparando, neste mappa da observação correcta, a columna das distancias, com a das forças repulsivas, isto he, a segunda com a ultima se vê, que as repulsões seguem proximamente a razão reciproca do quadrado das distancias. E he facil vêr, que o pequeno desvio, que a observação apresenta desta lei, não he só devido á inexactidão inseparavel de semelhantes experiencias; mas tambem a não ser rigorosamente hum ponto, a parte dos fios, que entre si obraõ; mas a ter esta parte huma certa extensão, que deprezâmos no calculo. A observação das attracções indica a mesma lei, e Coulomb o verificou ainda por outros processos, como v. g., pelo das oscilações.

Concluiremos pois, que as attracções, e repulsões magnéticas são reciprocas aos quadrados das distancias.

Distribuição do magnetismo nas barras, magnetisadas pelo methodo de Coulomb.

74. Se ao longo de huma barra, magnetisada pelos methodos aperfeiçoados, se suspendem massas de ferro, de pêsos diversos, ensaiando os pêsos, que sustentão os diversos pontos da barra, ver-se-ha, que a intensidade magnética, nulla, ou sensivelmente nulla no meio da barra, augmenta mui lentamente de hum, e outro lado do meio, até huma pequena distancia das extremidades, aonde o incremento da força se torna mui rapido, tocando o seu maximo a huma pequenissima distancia da mesma extremidade.

Fig. 18.^a 75. Representemos a barra pela recta AB , a curva acb , representando as intensidades do magnetismo, procuremos hum meio de determinar as ordenadas op , $o'p'$, &c. da curva, correspondentes ás abcizas co co' , &c. da mesma curva, contadas do ponto C meio da barra, isto he, determinemos a intensidade magnética de cada ponto da barra. Devemos a Coulomb esta determinação, e passaremos a expôr o methodo empregado por aquelle observador, e os resultados das suas experiencias.

Suspende-se por meio de hum fio simples de seda, huma agulha magnética horisontal, deixa-se dirigir no meridiano magnético. Se esta agulha se desvia então da sua direcção, e se abandona, contando o numero de oscilações, que faz em hum segundo, em tórno da direcção primitiva, o quadrado deste numero representará a acção attractiva do globo sôbre a agulha; se pois o numero das oscilações fôr n , n^2 será a força directriz do globo, que sollicita a agulha.

Se então a huma pequena distancia da agulha, e no plano do meridiano magnético se situar verticalmente a barra, de cujos pontos pretendemos determinar a intensidade magnética, a força directriz augmentar-se-ha, e este augmento será devido principalmente a hum ponto de recrusamento da barra, e da agulha, e aos pontos extremamente proximos por baixo, e por cima daquelle, por quanto a acção dos pontos mais remotos, he mui rapidamente enfraquecida pela distancia, e obliquidade. Qualquer pois, que seja a curva das intensidades, poderi sempre ser considerado como recto o pequeno elemento influente, e então he claro, que se chamar-

mos m a carga do ponto de recrutamento, as partes influentes, por cima de m , o excederão tanto, quanto elle excederá as partes por baixo d'elle, e por conseguinte a semi-somma da acção destas partes será proporcional a m .

Fazendo pois oscilar a agulha novamente, se n' fôr o numero das ~~suas~~ oscillações por segundo, n'^2 indicará a força, que actualmente a solicita, e como desta força a parte n^2 pertence á acção do globo; a acção do ponto do magnéte, que se considera, terá por expressão $n'^2 - n^2$.

Devemos advertir, que $n'^2 - n^2$ he o valor da acção de cada parte do fio, composta da acção do ponto de recrutamento, e da acção dos pontos inferiores, e superiores mais vizinhos: ora na extremidade do fio, não existem os pontos superior, e inferior; e por tanto, para comparar a observação feita naquella parte, com as feitas nos outros pontos, devemos dobrar a sua acção. He além disto indispensavel nestas experiencias, assim como na observação da lei das attracções, e repulsões, que a agulha horisontal tenha assás massa, e seja assás temperada, e os magnetismos pouco fortes, para que não seja sensivel a influencia reciproca dos dois magnétes, para decompôr novas quantidades de magnetismo no fio, ou na agulha, o que tornaria fallazes todas as indicações da experiencia.

76. Por este methodo, e pondo nas observações todos os cuidados, e atenções, que caracterisaõ sempre o genio de Coulomb, este Physico chegou aos seguintes resultados.

1.^o O estado magnético de bum fio magnetizado pelos methodos aperfeiçoados, he perfeitamente regular de bum, e outro lado do meio do fio, boreal em buma metade, e austral na outra.

2.^o Fazendo variar o comprimento dos fios magnetizados entre 27 pollegadas, e 6 a 7, as ultimas duas, a 3 pollegadas das extremidades dos fios, daõ sensivelmente a mesma intensidade magnética, de maneira, que nos fios mais compridos, os ramos da curva das intensidades não fazem mais, que transportar-se para as extremidades, sendo maior o espaço onde o magnetismo he quasi insensivel, nos fios mais compridos.


3.^o Nos fios mais compridos, as coordenadas do meio da curva, sempre pouco sensiveis, saõ com tudo sujeitas a variar accidentalmente, passando ás vezes de positivas a negativas, com buma apparente irregularidade; o que he sem dúvida devido á impossibilidade de regularisar perfeitamente a marcha dos feixes, na magnetisação.

4.º Finalmente observando as curvas de intensidade, traçadas por Coulomb, he facil vér, que esta curva resulta da combinação de duas logarithmicas, que partindo das extremidades oppostas do fio, tem coordenadas iguaes, e oppostas. Com effeito, calculando nesta hypothese a intensidade do magnetismo em cada ponto, o calculo apresenta huma concordancia satisfatoria com a experiencia.

77. Não trataremos aqui das applicações, que se tem dado ao magnetismo. Todos sabem, que a descoberta da força directriz magnética, se deveo o rápido progresso da navegação alta, e a serie de descobertas, que causou a ruina de tantas nações, e imperios; a fundação, e civilisação de outros, a riqueza, e prosperidade de muitos povos: que fez finalmente variar completamente a marcha, as relações, e a politica dos governos, os interesses, a industria, e os costumes dos povos. Tanto he certo, que a descoberta da mais pequena lei natural, póde, pela ligação íntima das causas fisicas, e moraes, produzir os mais importantes, e poderosos effeitos.

O Abbade Hauy applicou com a maior sagacidade o magnetismo, para descobrir a presença do ferro, do nickel, ou do cobalto nos diversos mineraes; e chegou por este meio a hum gráo de precisão verdadeiramente pasmoso.

Veremos finalmente na Secção seguinte, que as pequenas agulhas magnéticas, são hum meio mui sensível para patentear a presença da electricidade em movimento.



SECÇÃO VI.

ELECTRICIDADE DINAMICA.

Noções preliminares sobre os phenomenos electro-dinamicos, e electro-magneticos.

1. Quando huma pilha voltaica se acha montada, e isolada, vimos na (Secção 4.^a §§ 180, e seguintes), que nos extremos desta pilha, a que demos o nome de pólos, se manifesta todos os phenomenos de tensão electrica, que tem lugar nos corpos carregados de electricidade; sendo o principio vitreo, o que reside em hum, e o principio resinoso, o que reside no outro pólo.

Mostrámos igualmente na (Secção 4.^a), que a electricidade reunida, tanto nos pólos, como nas diversas partes de hum semelhante apparatus, se acha em equilibrio entre as diversas forças, que a sollicita; do mesmo modo, que em todos os corpos carregados de electricidade, de cujo estudo nos occupámos naquella Secção. Estes phenomenos, tendo pois por objecto a electricidade em equilibrio, podem com propriedade dizer-se, phenomenos *electro-staticos*.

2. Quando porém estabelecemos huma communicação conductora entre os dois pólos de huma pilha, os phenomenos de tensão electrica desapparecem, e são substituidos por huma nova ordem de effeitos inteiramente diversos, quaes são v. g. as decomposições chymicas, a elevação de temperatura, a excitação dos órgãos animaes, &c. &c.

Nestas novas circumstancias o estado electrico das diversas partes do apparatus, varia em cada instante, e a electricidade circula, por assim nos exprimimos, no conductôr,

e na pilha. Os principios electricos, nesta nova ordem de phenomenos, não estão já em equilibrio entre hum certo numero de forças; porém sim em estado de movimento no interior dos conductôres. Daremos pois o nome de *electricidade dinamica* a este novo modo de existir da electricidade, e chamaremos *phenomenos electrodinamicos* aos phenomenos por elle produzidos (*).

3. Emittimos na citada Secção 4.^a a nossa opiniaõ á cerca dos phenomenos de elevaçãõ de temperatura, produzidos pelas descargas electricas dos diversos apparatus. Na segunda parte deste tractado occupar-nos-hemos das decomposições chymicas, produzidas pela aççãõ voltaica, resta-nos pois a estudar na presente Secção huma serie importantissima de phenomenos electrodinamicos, cuja descoberta inicial feita em 1819, pelo Professor Ørsted de Dinamarca, foi em breve amplificada pelos trabalhos, e descobertas de Ampere, Arago, de la Rive, Faraday, Davy, e outros phisicos, que desde a época da primeira descoberta, tem cultivado este novo campo, aberto aos trabalhos, e observações phisicas.

Deixando nesta parte, como o temos feito no resto desta obra, a marcha das descobertas, e a historia dellas; applicar-nos-hemos a classificar as materias na ordem, que nos pareceo a mais conveniente, para fazer facilmente ligar, e reter os diversos phenomenos, e as conclusões theoreticas; que delles podem deduzir-se.

Os phenomenos electrodinamicos pôdem reduzir-se a tres classes, que são.

- 1.^a Aççãõ reciproca das correntes voltaicas.
- 2.^a Aççãõ do globo terrestre sôbre as correntes voltaicas.
- 3.^a Aççãõ reciproca das correntes voltaicas, e dos magnêtes; ou aççãõ electro magnética.

4. Quando os dois pólos de huma pilha voltaica communicãõ entre si por hum fio conductôr, vimos §. 2., que os principios electricos se achãõ em movimento no interior da

(*) Os primeiros phenomenos observados neste ramo, tendo lugar entre as correntes voltaicas, e os magnêtes, receberam o nome de electro-magnéticos: Ampere lhes deu depois o de phenomenos electrodinamicos, pelas razões ponderadas.

pilha, e do fio conjunctivo. Ou este movimento dos principios consista em huma successão de composições, e recomposições do fluido electrico natural; ou seja hum verdadeiro movimento de translação dos principios electricos, o que parece menos provavel; a pilha, e o fio conjunctivo compõe, o que chamamos *circuito voltaico*, e sem nada pertendemos indicar á cerca da natureza do movimento dos principios electricos; mas sómente fixar de huma maneira fixa, e precisa as circumstancias das observações, chamaremos a este movimento corrente voltaica, e tomaremos por direcção da corrente a marcha, que seguem as bases nas decomposições chymicas, pela acção da pilha, a qual direcção he do pólo vitreo ao resinoso no fio conjunctivo, e do pólo resinoso ao vitreo, no côrpo da columna voltaica.

Seendo RV huma pilha voltaica, V o pólo vitreo, e R o pólo resinoso; RCV o fio conjunctivo, a direcção da corrente será de R para V na pilha, e de V para R no fio conjunctivo; como mostraõ as sétas marcadas na figura.

Fig. 1.^a

5. Deste modo de considerar as correntes voltaicas, o qual he puramente convencional, e destinado taõ sómente a representar as circumstancias das experiencias, resulta: que as correntes em dois, ou mais fios conjunctivos, teraõ a mesma direcção, quando estes fios tiverem os pólos do mesmo nome situados do mesmo lado: que similhantemente as correntes voltaicas em duas pilhas, teraõ a mesma direcção, quando os pólos similhantes das pilhas, estiverem tambem situados do mesmo lado: que porém, para que as correntes em hum fio conjunctivo, e huma pilha, tenhaõ a mesma direcção, he necessario, que os pólos similhantes estejaõ na pilha, e no fio, situados de lados oppostos.

Da acção reciproca das correntes voltaicas, e do modo de a observar.

6. Os phenomenos de acção reciproca das correntes voltaicas, de que vamos occupar-nos, limitaõ-se a attracções, e repulsões, que estas correntes exercem entre si, conforme as suas posições, e direcções reciprocas.

Para podermos conhecer, e observar esta acção, he indispensavel, que parte, ou partes do circuito voltaico sendo moveis, possaõ obedecer ás acções, que sôbre ellas exercem

as demais partes do mesmo circuito, ou outras correntes quaesquer. He por tanto forçoso crear systemas de conductôres voltaicos, que, sem perder a continuidade, possam gozar da liberdade de movimento requerida pelas experiencias, que se tem em vista.

O meio o mais obvio de conservar a continuidade do circuito voltaico, satisfazendo ás condições requeridas de mobilidade, seria o de unir nos pontos convenientes os diversos fios, que compõe o circuito, por meio de charneiras metallocas; porém, tendo a experiencia mostrado, que esta especie de contacto, estabelecida por meio de metaes sólidos, não dá huma conductibilidade assás perfeita, para o completo estabelecimento das correntes no circuito, recorre-se a outro meio nos apparelhos empregados nas experiencias electrodinamicas.

Consiste este meio, em terminar as partes fixas do circuito, por meio de taças cheias de mercurio, no qual mergulhaõ pontas de aço, que fazem as extremidades dos conductôres móveis. Por este meio os ditos conductôres móveis podem girar livremente em torno da vertical, que passa pelas pontas, obedecendo ás forças, que os solicitarem, sem que por isso se interrompa a continuidade do circuito.

As taças podem fazer-se de bucho, e por meio de hum fio de cobre, ou de lataõ, o mercurio do interior da taça communica com o conductôr, a que esta se acha unida. O fundo das taças, em que devem girar as pontas, sendo de cristal, offerece a vantagem de huma fricção menor, e facilita por conseguinte a mobilidade dos conductôres.

Quando hum conductôr immovel deve girar livremente em torno da vertical, que une as pontas, deve apoiar sómente no fundo da taça superior, ficando a ponta inferior mergulhada no mercurio da taça correspondente; mas sem tocar o fundo della, para que o eixo do conductôr não sahia da vertical, o que difficultaria o seu movimento.

Quando huma parte do circuito deve fazer circumvollações mui proximas entre si, fôrta-se o fio metalico de seda, que sendo hum corpo isolante, permite encostar os fios hums aos outros, sem que haja communicação entre as correntes, que nelles circulaõ.

He preciso finalmente, para esta classe de experiencias, huma pilha voltaica assás energica, cujos pólos se armaõ de

fios, que fixando-se nas partes convenientes dos apparelhos, servem de dirigir a corrente da maneira conveniente.

Ação das partes successivas de huma mesma corrente voltaica.

7. Tome-se hum vaso chato de vidro, porcelana, ou louça, dividido em duas partes por huma parede AB , da mesma materia, e lance-se mercurio nas duas divisões do vaso. Recurve-se hum fio de metal forrado de seda, de maneira, que offereça dois ramos paralelos ab , e cd , e hum arco de communicação entre elles boc , e faça-se fluctuar este systema sôbre o mercurio, de tal maneira, que cada hum dos ramos paralelos se ache em huma das divisões do vaso, e o arco de communicação passe por cima da parede de divisaõ AB .

Fig. 2.^a

Se então mergulharmos o fio vitreo da pilha em V , e o fio resinoso em R , veremos o systema $abocd$ mover-se para o lado de B , até tôcar a parêde do vaso.

Para vêrmos a indicação desta experiencia, devemos reflectir, que de V a a se estabelece huma corrente voltaica através do mercurio, a qual seguindo depois o conductor móvel $abocd$, se produz pelo mercurio até R ; assim as partes Va , $abocd$, e dR do circuito voltaico, são porções successivas de huma mesma corrente, e como a parte móvel $abocd$ foge ás partes Va , e dR da corrente; concluiremos, que estas partes repellem aquella, e teremos por certo o seguinte principio.

As partes successivas de huma mesma corrente voltaica repellem-se.

Ação das correntes voltaicas paralelas.

8. Duas correntes voltaicas paralelas exercem entre si huma acção attractiva, ou repulsiva, conforme tem a mesma, ou differentes direcções.

Para observar a acção reciproca de duas correntes voltaicas servir-nos-hemos do apparelho seguinte. Sôbre a prancha de madeira $ABCD$, achão-se fixadas as duas columnas recurvadas de metal kib , e onm , terminadas pelas taças h , e m , e circundadas na base pelas taças k , e o . Junto ao lado oppôsto da prancha, e communicando entre si pela chapa de

Fig. 3.^a

metal ab , imbutida na mesma prancha, existem as taças aeb , devendo esta ultima corresponder verticalmente á taça b ; finalmente correspondendo verticalmente á taça m , existe na prancha huma ultima taça l .

Hum fio metalico recurvado $bcdefgh$ mergulha pelas duas pontas b , e h , nas taças b , e h , e póde livremente girar em tórno da vertical bb . Hum fio ml mergulha tambem pelas soas extremidades nas taças m , e l do apparelho.

9. Dispóstos por esta maneira os conductôres, fixe-se o fio vitreo da pilha em a . Por meio de hum arco metalico comuniquem-se as taças k , e l , e fixe-se em o o fio resinoso da pilha. A direcção da corrente voltaica, será $abcdefghijklmno$.

As duas partes lm , e ef do circuito voltaico são parallelas, e além disto a corrente he em ambas ellas ascendente, ora observa-se, que logo, que estabelecemos a corrente, a parte móvel ef he attrahida pela parte fixa lm , e faz girar neste sentido o conductôr móvel.

Se mudarmos o fio vitreo para o , e o fio resinoso para a , a direcção da corrente será $onmlkijhgfedcba$, quer dizer, será descendente tanto em ml , como em fe , e notar-se-ha, como na experiencia antecedente, a acção attractiva.

Fica pois fóra de toda a dúvida o principio seguinte.

Dois correntes voltaicas parallelas dirigidas da mesma maneyra, attrahem-se.

10. Deixando na mesma posição antecedente os conductôres $bcdefh$, e ml , tite-se a communicação kl , e estabeleça-se a outra communicação ko : colloque-se finalmente o fio vitreo em a , e o fio resinoso em l . A direcção da corrente será $abcdefghiklonml$, isto he, ascendente em f , e descendente em ml , e notaremos, que apenas se estabelecer a corrente, o fio móvel ef será repellido, e fugirá o fio ml .

Trocando o pólo vitreo para l , e o pólo resinoso para a , a direcção da corrente será $lmnokijhgfedcba$, isto he, ascendente em lm , e descendente em fe , e neste caso, os dois fios repellir-se-hão como no antecedente: ficando por tanto provado, que

Dois correntes voltaicas parallelas repellem-se; quando tem direcções oppostas.

11. Tome-se hum aparelho, composto de duas columnas metalicas abc , e mlk , fixadas sôbre a prancha de madeira $ABCD$, circundadas na base pelas taças a , em , e terminadas pelas taças c , e k , que se correspondem verticalmente. Recurve-se hum fio de metal $cdefghijk$, forrado de sêda, para que o ramo $defg$ possa encostar ao ramo $ghij$, e termine-se com as pontas c , e k , mergulhando nas taças c , e k .

Disposto assim o aparelho, colloque-se o fio vitreo em a , e o resinoso em m : a corrente terá a direcção $abcde fghijklm$, e o conductôr móvel não será attrahido, nem repellido pela corrente lm ; podendo ficar em equilibrio em todas as posições.

A corrente em lm he descendente: logo deve attrahir a corrente descendente ef , e deve repellar a corrente ascendente hi , similhantemente situada a respeito de lm ; mas dirigida em sentido contrario; e visto que se não manifesta no conductôr móvel effeito algum attractivo, nem repulsivo: segue-se, que a repulsaõ de lm para hi equilibra a sua attracção para ef , e que em geral:

Se duas correntes voltaicas parallelas passãõ de ter ambas a mesma direcção, a terem direcções diversas, a attracção reciproca muda-se em repulsaõ de igual intensidade, e reciprocamente.

12. Se nas experienciars antecedentes (§§ 9, 10, e 11) substituírmos ao fio rectilíneo lm hum fio sinuoso ab , que se affaste muito pouco da recta, esta corrente obratá sôbre o conductôr móvel da mesma maneira, que a corrente rectilínea lm .

Esta observação indica, que a corrente sinuosa ab obra sensivelmente como huma corrente rectilínea ml ; porém para provarmos, que a intensidade de acção he a mesma nestas duas especies de correntes, recorreremos á seguinte experiencia.

Sôbre huma prancha de madeira fixem-se as tres columnas recurvadas de metal ghi , lj , e op , circundadas na base pelas taças i , j , p , e terminadas pelas taças g , l , e o . Perpendicularmente ás taças g , l , e o , correspondaõ na prancha as taças b , m , e n , das quaes a primeira b communica com a taça a .

Mergulhando pelas duas pontas em g , e b , colloque-se o conductôr móvel $bcdefg$; entre l , e m , colloque-se o fio rectilíneo lm , e entre o , e n o fio sinuoso on ; fixe-se o

fio do pólo vitreo em a , estabeleça-se entre as taças i , e j a communicacão ij , e entre m , e n a communicacão mn , situe-se finalmente em p o fio do pólo resinoso da pilha.

A direcção da corrente voltaica, será $abcdefghijlmnop$; isto he, ascendente na corrente móvel ef , descendente na corrente rectilinea lm , e ascendente na corrente sinuosa no . Se as correntes parallelas, e oppostas lm , e no fossem ambas rectilineas, a corrente móvel ef , similhante a huma, e contraria a outra na sua direcção, deveria ficar em equilibrio no meio do intervalo, que las sepára; ora tal he o effeito, que se observa na experiencia, que acabamos de descrever: logo a corrente sinuosa no , comporta-se relativamente a ef da mesma maneira, que huma corrente rectilinea, situada do mesmo modo.

14. Esta importante observação nos permite a decomposiçãõ, e recomposiçãõ das correntes, mostrando-nos evidentemente, que duas correntes rectilineas mui curtas, que terminãõ em hum ponto, formando entre si hum angulo qualquer, podem ser substituidas por huma corrente unica, cuja direcção, e comprimento terá com as correntes propostas, a relação, que a resultante das forças na statica tem com as suas componentes, e reciprocamente.

Esta consequencia he a base dos calculos analiticos, que nos dão a lei mathematica da acção das correntes voltaicas. Naõ entraremos aqui na analyse desta parte, remetendo os nossos leitores especialmente aos trabalhos, publicados por Savary, sobre este objecto.

Acção reciproca das correntes voltaicas definidas, e não parallelas.

Fig. 7.^a 14. Sobre huma prancha de madeira, achem-se elevadas, a columna recurvada ihg , a pequena columna vertical ab , e o fio dobrado a angulos rectos $ijklm$, finalmente o conductor girante $bcdefg$, com todas as taças, que representa a figura.

Situe-se o fio vitreo da pilha em a , estabeleça-se a communicacão ij , e fixe-se em m o fio resinoso; a corrente voltaica terá a direcção $abcdefghijklm$; por conseguinte as correntes bc , e kl , que tórmaõ entre si hum angulo qualquer, dependente da posiçãõ inicial do conductor móvel, hiraõ ambas affastando-se do vertice do angulo, e mostra a ex-

perencia, que apenas se estabelece a corrente, *bc* he attra-hida por *kl*.

Troquemos o pólo vitreo para *m*, e o pólo resinoso para *a*: a direcção da corrente será *mlkjihgfedcba*; por consequente as correntes *lk*, e *cb*, caminhaõ ambas aproximando-se do vertice do angulo; e a experiencia mostra, que as correntes se attrahem neste caso, como no caso antecedente. Logo teremos por provado o seguinte principio.

Duas correntes voltaicas definidas, que entre si fórmão hum angulo qualquer, attrahem-se, quando ambas se dirigem para o vertice, ou ambas do vertice do angulo.

15. Tire-se a communicacão *ij*, e estabeleça-se a communicacão *im*, fixe-se em *a* o pólo vitreo, e o pólo resinoso em *j*: a direcção da corrente será *abcdefghibimlkj*; isto he, a corrente *bc* affastar-se-ha do vertice, em quanto a corrente *lk* se aproximará d'elle; a experiencia neste caso nos patenteia a repulsaõ entre *bc*, e *lk*.

Trocando o pólo vitreo para *j*, e o resinoso para *a*, a direcção da corrente tornar-se-ha em *jklmibgfedcba*; isto he, do vertice em *kl*, e para o vertice em *cb*, e neste caso, como no precedente, ha repulsaõ: logo será verdadeiro o seguinte principio.

Duas correntes voltaicas definidas, e formando entre si hum angulo qualquer, repellem-se, quando huma se dirige para o vertice, e a outra do vertice do angulo, que entre si fórmão.

16. Empregando hum conductor dobrado como o de § II, e hum aparelho disposto convenientemente, vê-se: que no caso das correntes não parallelas, bem como no das correntes parallelas, as repulsões das correntes, que se dirigem diversamente, tem a mesma força, que as attracções das correntes, que se dirigem similhantemente.

17. Todas estas observações nos mostraõ entre as correntes huma acção, que poderemos enunciar no principio seguinte; reflectindo, que as correntes parallelas saõ aquellas, que fórmão entre si hum angulo nullo.

Duas correntes voltaicas attrahir-se-haõ, quando ambas se dirigem do vertice, ou para o vertice do angulo, que entre si fórmão; e repeller-se-haõ pelo contrario com a mesma intensidade de força, quando huma se dirigir para o vertice, e a outra do vertice, e isto, qualquer que seja o valôr do angulo.

Acção reciproca de huma corrente indefinida, e huma corrente definida.

18. Temos até aqui considerado unicamente ou as correntes parallelas, ou aquellas, que não sendo parallelas, terminaõ no vertice do angulo, que entre si fórmaõ, e ás quaes por isso mesmo démos o nome de *correntes definidas*, ou o que seria o mesmo, *correntes terminadas*; convém examinar agora a acção reciproca de duas correntes, quando sendo huma dellas terminada, a outra se produz indefinidamente além do vertice do angulo; e para distinguir estas ultimas correntes, chamalhes-hemos *correntes indefinidas*.

Fig. 8.^a

19. Seja huma corrente indefinida ABC , e sôbre ella se dirija a corrente terminada DB . A acção da parte AB da corrente indefinida sôbre DB será attractiva; por quanto as duas correntes AB , e DB dirigem-se ambas para o vertice B . A acção da parte BC da corrente indefinida sôbre a corrente DB , será repulsiva; por quanto a corrente BC se afasta, em quanto a corrente DB se aproxima do vertice B .

Representemos pela recta Da a acção attractiva de AB sôbre DB , e do mesmo modo representemos por bD a acção repulsiva de BC sôbre DB . A força Da decomposta parallelamente, e perpendicularmente á corrente AC , dará Dc tendente a mover DB parallelamente a si mesma no sentido opposto á corrente AC ; da mesma maneira bD sendo decomposta, dará dD tendente a fazer caminhar DB parallelamente a si mesma no sentido CBA ; logo DB tenderá a mover-se effectivamente neste sentido, isto he:

Huma corrente indefinida tende a fazer retrogradar sôbre si, a corrente terminada, que se dirige aproximando-se della.

20. Postoque este principio seja huma consequencia necessaria das proposições antecedentes, não omitiremos a sua confirmação experimental.

Fig. 9.^a

Sôbre o plano de madeira $ABCD$ existem as duas columnas verticaes ab , e cd , unidas pelo fio horisontal bc , e circundadas nas bases pelas taças a , e d ; na mesma prancha existe o vaso cylindrico de metal $bkjo$, cujo fundo communica com a taça j , este vaso he atravessado de alto a baixo, pelo canal cylindrico rx , aberto por ambas as extremidades, e atrayés deste canal eleva-se verticalmente a columna de me-

tal *fe*, terminada em *f* pela taça *f*, e circundada na base pela taça *e*. Enche-se de agoa acidulada o vaso *bkjo*, e pela ponta *f* suspende-se em *f* o conductôr girante *hklfg*, composto de hum fio de metal *hglk*, e de huma corôa de metal *hk*, que mergulha na agoa acidulada. Fig. 10.^a

Disposto assim o aparelho fixa-se o pólo vitreo em *a*, e o resinoso em *j*, estabelecendo-se a communicacão *de*: a direcção da corrente será *abcdef* $\left\{ \begin{matrix} g \\ h \\ i \\ k \end{matrix} \right\} j$, e observa-se, que o conductôr móvel *fg* se móve, girando no sentido de *c* para *b*, conformemente á theoria; isto he, no sentido inverso da corrente *bc*. Em quanto as communicacões existem assim estabelecidas, o conductôr móvel gira continuamente no mesmo sentido, o que he ainda conforme á theoria.

21. Imaginemos agora, que a corrente terminada *BD* em vez de dirigir-se, approximando-se da corrente indefinida *AC*, se dirige afastando-se da mesma corrente. Então a parte *AB* repellirá *BC* e a parte *BD* a attrahirá, e discordando, como no caso antecedente, acharemos huma resultante final, tendente a fazer avançar *B* sobre *AB*: logo *AB*: Fig. 8.^a

Huma corrente indefinida tende a fazer avançar sobre si a corrente terminada, que se dirige afastando-se della.

Para provar experimentalmente este principio, interrompa-se a communicacão *de*, e estabeleça-se a communicacão *dj*, conservando o pólo vitreo em *a*, fixe-se o resinoso em *e*: a direcção da corrente será *abcdj* $\left\{ \begin{matrix} h \\ g \\ f \\ k \\ l \\ f \end{matrix} \right\} fe$, e o aparelho móvel girará no sentido de *b* para *c*, conformemente á theoria. Fig. 9.^a

Ação reciproca das correntes indefinidas não parallelas.

22. Sejaõ *AB*, e *CD* duas correntes indefinidas não parallelas, e móveis em tórno da perpendicular commum no ponto *O*. Fig. 11.^a

As duas partes *CO*, e *AO* destas correntes, ambas dirigidas para o vertice *O*, attrahir-se-haõ; do mesmo modo attrahir-se-haõ as partes *OB*, e *OD* das mesmas correntes, ambas dirigidas do vertice; a parte *OB* pelo contrario repellirá a parte *CO*, e do mesmo modo *AO* repellirá *OD*: ora todas

estas acções conspiraõ evidentemente a fazer girar as correntes no mesmo sentido, isto he, a torna-las parallelas, e dirigidas da mesma maneira: logo

Duas correntes voltaicas indefinidas, que entre si fôrmaõ hum angulo qualquer, tendem a girar em tórno da perpendicular commum, até serem parallelas, e dirigidas da mesma maneira.

Este principio pôde tambem verificar-se experimentalmente; porém he necessario empregar hum conductôr astático, isto he, isento da influencia do globo, de que passaremos a occupar-nos.

Acção reciproca de quaesquer correntes.

23. Resumindo o que fica exposto, teremos as seguintes proposições.

1.^a
As partes successivas de huma mesma corrente voltaica repellem-se entre si.

2.^a
Duas correntes voltaicas parallelas atrabem-se, quando tem a mesma direcção, e repellem-se quando tem direcções contrarias.

3.^a
Se duas correntes voltaicas terminadas formarem entre si hum angulo qualquer, atrahir-se-haõ, quando ambas se dirigirem para o vertice, ou do vertice; repellir-se-haõ pelo contrario, quando huma se dirigir para o vertice, e a outra do vertice.

4.^a
Ou as correntes voltaicas sejam parallelas, ou formem entre si angulo, a attracção, filba da similtanção de direcção, he igual á repulsaõ, filba das direcções dissimiltantes.

5.^a
Huma corrente voltaica indefinida, tende a fazer retrogradar, ou avançar sobre si, a huma corrente terminada, conforme esta ultima se dirige aproximando-se, ou affastando-se della.

6.^a
Duas correntes voltaicas indefinidas, que entre si fôrmaõ hum angulo qualquer, tendem a girar em tórno da perpendicular commum, até se tornarem parallelas, e dirigidas no mesmo sentido.

7.^a
A huma porção qualquer de huma corrente voltaica, podem substituir-se duas outras correntes, cujas direcções, e comprimentos, teraõ com os da corrente primitiva, a relação, que na statica tem as componentes com a resultante, e reciprocamente.

O concluir destes principios a acção reciproca de correntes voltaicas, de formas, posições, e direcções quaesquer, he hum simples objecto da Geometria, e será facil verificar os resultados pela experiencia, dispondo os apparatus da maneira conveniente.

24. Neste tractado descrevemos hum apparatus particular para cada experiencia; he porém facil dispôr hum systema unico de taças, e conductôres, em que as ditas experiencias possaõ todas executar-se, mudando taõ sómente os conductôres móveis, e estabelecendo as communicações de hum modo conveniente.

Acção do globo sôbre as correntes voltaicas.

25. As correntes voltaicas não sómente adquirem movimento pela acção de outras correntes; porém tambem experimentaõ acções attractivas, e repulsivas da parte do globo terrestre. Depois de havermos estudado a acção reciproca das correntes, passaremos agora a mostrar a acção, que o globo exerce sôbre ellas.

26. Tomemos o vaso cylindrico AB , atravessado pelo canal cylindrico R , e cujo fundo metalico communica com a taça g : este apparatus, sustentado sôbre huma prancha de madeira, he atravessado pela columna vertical ab , terminada em b por huma taça, e circundada por outra na base a ; suspenda-se em b o conductôr móvel $bcdef$ descripto antecedentemente (§ 20), e ponha-se o fio vitreo em a , e o fio resinoso em g , tendo enchido de agoa acidulada o vaso AB . A direcção da corrente será ab $\left\{ \begin{array}{l} cd \\ ef \end{array} \right\} g$, quer dizer, será do centro para a circumferencia nas correntes horizontaes bc , e be . Apenas se estabelece a corrente, o conductôr móvel começa a girar em tôrno da vertical ba , de tal maneira, que o observador, que posto ao Norte do conductôr se volta para o Meio Dia, vê que a rotação se faz no sentido de Oeste para Leste, como se vê marcado pela seta na (fig. 13.^a).

Fig. 12.^aFig. 13.^a

Trocando para g o pólo vitreo, e para a o resinoso, a corrente em cb , e eb será da circumferencia para o centro: o movimento de rotação manifestar-se-ha como no caso pre-

Fig. 14.^a

cedente; mas a direcção será opposta, isto he, de Leste para o Oeste pelo Meio Dia.

27. Estes dois resultados da observação podem enunciar-se da maneira seguinte.

Huma corrente horisontal fixa em huma das extremidades, descreve em tôrno daquella extremidade hum circulo, caminbando de Leste para o Oeste pelo Meio Dia, quando a corrente se dirige da circumferencia para o centro, e em sentido contrario, quando a corrente caminha do centro para a circumferencia; e isto sob a acção simples do globo terrestre.

Fig. 15.^a

28. Sôbre huma prancha de madeira exista a columna recurvada AB , o vaso cylindrico O , cujo fundo communica com a taça f , e por cima deste; porém separado d'elle, o vaso igual O' , communicando pelo seu fundo com a taça a , e atravessado no seu eixo por hum canal cylindrico. Ao ponto B , suspenda-se com hum fio sem torção, o conductor móvel $ckbdeb$, composto de hum fio vertical cd passando no canal cylindrico do vaso superior, e dos dois ramos horisontaes iguaes kb , e eh , sustentando coroas metalicas, que mergulhaõ em agoa acidulada, contida nos vasos O . e O' .

Fixe-se o fio vitreo em a , e o resinoso em f : a direcção da corrente será $a \left\{ \begin{matrix} b \\ k \end{matrix} \right\} cd \left\{ \begin{matrix} e \\ b \end{matrix} \right\} f$, por tanto a corrente hirá da circumferencia para o centro nos ramos horisontaes superiores bc , e kc ; e pelo contrario do centro para a circumferencia nos ramos horisontaes inferiores de , e dh , e o aparelho neste caso não tem movimento algum: o que nos prova, que as tendencias, a girar em sentidos oppostos dos conductôres, dirigidos contrariamente, são iguaes; e como este effeito he independente do angulo, que entre si formaõ os conductôres horisontaes: segue-se mais, que o momento de rotaçãõ he o mesmo em todos os azimuthes, o que se reduz á lei seguinte:

O momento de rotaçãõ de huma corrente voltaica horisontal, fixa por huma das extremidades, he constantemente o mesmo, qualquer, que seja a direcção da corrente, e o azimuth.

Fig. 16.^a

29. Tome-se huma prancha de madeira AB , munida da columna recurvada ab , cuja base he circundada por huma taça, e a extremidade superior b terminada com outra: situem-se na taça b da columna, e na taça h , que lhe corresponde verticalmente, as pontas do conductor móvel

bcdefgh, composto de hum ramo vertical *ef*, dos dois ramos horizontaes *ed*, e *fg*, e tendo o contrapeso *r*, para equilibrar a parte *defg*. Fixe-se em *a* o fio vitreo, e em *b* o fio resinoso da pilha: a direcção da corrente será *abcdefgh*; isto he, dirigida do centro para a circumferencia em *de*, descendente em *ef*, e dirigida da circumferencia para o centro em *fg*. Apenas a corrente se acha estabelecida, vê-se o ramo *ef* desviar-se para Leste. Ora he claro, que as acções da terra, contrarias, e iguaes, pelo principio antecedente, nos dois ramos *ed*, e *fg*, destruhir-se-hão; o movimento para Leste he pois devido á acção do globo, sôbre a corrente vertical descendente *ef*.

Trocando o fio vitreo para *b*, e o resinoso para *a*, a direcção da corrente será *hgfedcba*; isto he, do centro para a circumferencia em *gf*, ascendente em *fe*, e da circumferencia para o centro em *ed*, e neste caso o ramo *ef*, desvia-se para o Oeste: logo

Huma corrente voltaica vertical, móvel em tórno de hum eixo tambem vertical, desvia-se pela acção do globo para Leste, quando he descendente, e para o Oeste, quando he ascendente.

30. Para observarmos a acção do globo sôbre huma corrente horisontal, livre de mover-se em tórno de hum eixo tambem horisontal, usaremos do methodo seguinte.

Sôbre a prancha, ou base de madeira *AB* fixa-se huma travessa, ou regoa da mesma materia *CD*, móvel em tórno do eixo *E*, de maneira a poder situar-se em todos os azimuthes. Nas extremidades desta travessa elevaõ-se duas columnas de metal *ab*, e *dc*, com as taças *a*, e *c* circundando as bases das columnas, e *b*, e *d* terminando as mesmas na parte superior. Hum conductôr móvel, formado pelo fio recurvado *bijkl*, pelo tubo de vidro *qm*, destinado a unir as partes extremas do fio, e a sustentar o contrapêso *O*, que equilibre o rectangulo inferior, suspende-se nas taças *b*, e *d*, pelas pontas de aço *b*, e *d*; colloca-se o fio vitreo em *a*, o resinoso em *c*, a corrente tem a direcção *abijkl*, e o fio horisontal *jk* desvia-se para o lado esquerdo da direcção da corrente (*). Este desvio he unica-

Fig. 17.*

(*) Para não haver difficuldade na intelligencia das expressões *á esquerda*, e *á direita da corrente*, imaginemos o ob-

mente devido á acção do globo sôbre a corrente horisontal jk ; por quanto sendo as duas correntes verticaes kl , e ij , huma ascendente, e a outra descendente, as acções do globo sôbre ellas destruir-se-hão reciprocamente.

Fazendo girar a travessa horisontal CD veremos, que o effeito indicado tem lugar em todos os azimuthes; porém trocando a direcção da corrente, isto he, pondo o fio vitreo em c , e o resinoso em a , o desvio terá lugar para o lado oppôsto ao precedente, isto he, sempre para o lado esquerdo da corrente, que neste caso toma huma direcção contraria. Esta observação nos dá o principio seguinte.

Huma corrente voltaica horisontal, móvel em tórno de hum eixo tambem horisontal, desvia-se da sua direcção pela acção do globo, elevando-se para o lado esquerdo da corrente.

31. Imaginemos agora huma corrente voltaica percorrendo hum rectangulo $abcd$ móvel em tórno da vertical AB , que passa pelo seu centro de gravidade: he claro, que a acção da terra sôbre este rectangulo, se comporá das acções sôbre as correntes horisontaes ab , cB , Bd , e ef , e sôbre as correntes verticaes bc , e de .

Ora a acção do globo sôbre as correntes ab , e Bd , que vão do centro de rotaçãõ para a circumferencia, tende a fazer girar o rectangulo do Oeste para Leste pelo Meio Dia, como mostraõ as sétas na (fig. 13) (§ 27).

A acção do globo sôbre as duas correntes ef , e cB , que vão da circumferencia para o centro, tende a fazer girar o rectangulo de Leste para o Oeste pelo Meio Dia, como indicaõ as sétas na (fig. 14) (§ 27): logo a resultante destas duas acções oppôstas será nulla, restando unicamente para mover o rectangulo, a acção da terra sôbre as correntes verticaes bc , e de .

A acção do globo sôbre a corrente bc descendente, tende a desvia-la para Leste; pelo contrario a acção do globo sôbre a corrente ascendente de , tende a desvia-la para o Oeste; o rectangulo tomará pois huma posição sensivel-

servador deitado ao longo da corrente com a face para baixo, e a cabeça para a ponta da seta, que marca a corrente, a parte á direita deste observador, he o que chamâmos *direita da corrente*, e a parte oppôsta esquerda da corrente.

mente perpendicular á linha Norte Sul. Fazendo a experiecia, acha-se, que esta posição he exactamente o plano, a que na (Secção V.) chamamos equador magnético.

32. Se huma corrente voltaica percorrer huma curva fechada qualquer, móvel em tórno da vertical, que passa pelo seu centro de gravidade; he claro, que esta curva deverá ainda situar-se no plano do equador magnético. Por quanto cada hum dos elementos da curvã poderá decompôr-se em huma corrente horisontal, e huma vertical; e por outra parte he claro, que em toda a curva fechada, a somma dos elementos horisontaes, dirigidos em hum sentido, será igual á somma dos elementos horisontaes, dirigidos em sentido contrario; e do mesmo modo a somma dos elementos verticaes ascendentes, será igual á somma dos elementos verticaes descendentes; e por tanto a curva estará exactamente no caso do rectangulo, que acabamos de considerar.

33. Para verificar esta verdade experimentalmente, tomemos o conductôr *abcd*, recurvado em curva fechada, e pelas pontas *a*, e *d*, suspendamo-lo nas taças *a*, e *d*, situadas na mesma vertical (fig. 19): ponhamos o fio vitreo em *e*, e o resinoso em *f*, a corrente terá a direcção *edcbaf*, e a curva se situará no equador magnético, de tal modo, que a corrente na parte inferior da curva, hirá de Leste para o Oeste.

Fig. 19.^a

Trocando o pólo vitreo para *f*, e o resinoso para *e*, a corrente terá a direcção *fabced*, e a curva girará até se situar no equador magnético; de maneira, que a corrente na parte inferior da curva, hirá do Leste para o Oeste. Logo teremos como verdadeiro o principio seguinte.

Huma corrente voltaica descrevendo huma curva fechada, e móvel em tórno da vertical, que passa pelo seu centro de gravidade, situa-se no plano do equador magnético, tendo o pólo Norte do globo á esquerda.

Esta proposição nos dá evidentemente o seguinte corollario.

O eixo de huma curva fechada, móvel em tórno da vertical, que passa pelo seu centro de gravidade, e percorrida por huma corrente voltaica, situa-se no plano do meridiano magnético.

Das propriedades dos cylindros electrodynamicos.

34. Se dispozermos parallelamente huns aos outros, huma serie de circulos iguaes, de tal maneira, que sejaõ atravessados por hum eixo commum, e se cada hum destes circulos fôr percorrido por huma corrente voltaica, dirigida em todos da mesma maneira, o eixo do circulo fixar-se-ha no meridiano magnético, ficando o Norte á esquerda da corrente, na parte inferior dos circulos.

Fig. 20.^a 35. He impossivel realisar na practica hum semelhante apparelho; porém se curvamos em helice o fio conductôr *abcdefghi*, percorrido por huma corrente voltaica, dirigida, *v. g.*, de *a* para *i* ao longo do fio, esta corrente equivalerá a huma serie de circulos como a precedente, e a huma corrente rectilinea, dirigida de *a* para *i*, pelo eixo da helice, e igual á somma dos passos da mesma helice. Se pois recurvamos o fio chegado a *i*, e pelo eixo da helice o conduzirmos até *k*, o conductôr inteiro equivalerá na sua acção, á serie de circulos, acima descripta, mais duas correntes rectilineas, e parallelas iguaes, dirigidas em sentidos contrarios: ora as acções destas duas correntes, sendo iguaes, e oppostas, destruir-se-haõ; ficará pois este apparelho equivalendo á serie de circulos acima. Hum conductôr disposto em helice, da maneira indicada, e percorrido por huma corrente voltaica, he o que se chama hum *cylindro electrodinamico*.

Fig. 21.^a 36. Para construir hum cylindro electrodinamico horisontal, móvel em tórno de hum eixo vertical, tomaremos hum fio, que começando pela ponta de aço *a*, situada na taça da columna *ab*, vem verticalmente até *c*, e se enrola em helice no sentido, que se vê na (figura 21): chegada a helice a *d*, dirige-se o fio pelo eixo do cylindro até *e*, ali começa a recurvar-se em helice no sentido primitivo, formando o mesmo numero de circunvoluções, que formou de *c* até *d*; finalmente em *f* eleva-se verticalmente, e termina em *g* por huma ponta, mergulhando na taça superior da columna *gh*. Situando o fio vitreo em *b*, e o resinoso em *h*, veremos a helice *ed* situar o seu eixo no meridiano magnético, voltando a extremidade *e* para o Norte; mas se situarmos o fio vitreo em *b*, e o resinoso em *h* a helice voltará para o Norte a extremidade *d*.

As extremidades pois do cylindro comportar-se-hão, sob a influencia do globo, como os pólos de hum magnéte: chamar-lhe-hemos pois os pólos do cylindro helectrodinamico, e chamaremos pólo boreal do cylindro, o que fica á direita da corrente na parte inferior das circunvoluções, e que se volta para o Meio dia, como o pólo boreal dos magnétes; e pelo contrario chamaremos pólo austral do cylindro o pólo opposto a este.

37. Fazendo variar a posição reciproca de dois cylindros electrodinamicos achar-se-ha, que os pólos semelhantes se repellem, e que pelo contrario os pólos oppostos se attrahem.

Acção reciproca das correntes voltaicas, e dos magnétes.

38. Huma agulha magnética, móvel em tórno do centro de gravidade, e situada parallelamente a huma corrente voltaica, he desviada da sua direcção, de tal maneira, que o pólo austral da agulha, he repellido para a esquerda da corrente.

Para demonstrar esta verdade, suspenda-se huma agulha magnética *AB*, pelo seu centro de gravidade, no fio sem torção *op* (fig. 22); tome-se, com duas pegas de vidro hum fio conjunctivo da pilha, e situe-se por baixo da agulha parallelamente a ella: se a corrente fôr do Sul para o Norte o pólo austral *A* desviar-se-ha para Leste: collocando a corrente por cima da agulha o pólo austral desviar-se-ha para Oeste: quando o fio estiver a Leste da agulha, o pólo austral levanta-se acima do horisonte: finalmente quando o fio está ao Oeste da agulha, o pólo austral desce abaixo do horisonte. Se a corrente fôr dirigida do Norte para o Sul os phenomenos seraõ inversos.

Fig. 22.*

Esta influencia de huma corrente voltaica rectilinea sôbre hum magnéte, foi a que patenteou a influencia reciproca da electricidade, e do magnetismo. Ørsted, professor de Copenhague, he o author desta descoberta, e por conseguinte aquelle a quem devemos o primeiro passo no estudo dos phenomenos electrodinamicos.

39. Neste modo de observar he claro, que a força diretriz do globo sôbre a agulha, tende a contrariar a acção da

corrente voltaica; e por conseguinte a posição definitiva da agulha, he unicamente o resultado da differença destas acções.

Fig. 23.^a Se porém em vez de huma simples agulha magnética, tomarmos duas agulhas iguaes, e em tudo semelhantes AB , e $A'B'$, fixadas no eixo commum Op , de tal maneira, que os pólos oppostos A' , B , e A , B' , estejam do mesmo lado; este apparatus será insensivel á acção do globo; e praticando sôbre elle a experiencia acima descripta, achar-se-ha, que a agulha toma sempre huma posição perpendicular á corrente, tendo o pólo austral á esquerda desta.

40. Conhecida por estes meios a direcção da acção de huma corrente sôbre a agulha magnética: Biot, e Savart, procurárao a lei, segundo a qual esta acção varia com a distancia; para o que, fazendo oscilar a agulha em diversas distancias de huma corrente assás comprida, para poder sem erro suppôr-se indefinida, e calculando a intensidade da acção a diversas distancias pela velocidade das oscilações, achárao, que a intensidade da acção de huma corrente voltaica indefinida sôbre hum magnéte, he reciproca á distancia.

Laplace, applicando a analyse a esta observação, derivou della a lei seguinte.

Cada elemento de huma corrente voltaica, exerce sôbre a agulha huma acção reciproca ao quadrado da distancia

Fig. 24.^a 41. Tome-se huma agulha de cozer ab , e magnetisada suspenda-se verticalmente. Appresente-se ao ponto c , situado entre os dois pólos da agulha, huma corrente voltaica horisontal: a agulha será attrahida, quando a corrente se dirigir deixando á esquerda o pólo austral da agulha, e será repellido quando a corrente tiver a direcção opposta; o que nos prova, que

Huma corrente voltaica, situada entre os pólos de huma agulha magnética, a attrahê, ou a repelle, conforme o pólo austral da agulha fica á esquerda, ou á direita da corrente.

42. Quando o magnéte he livre, e pelo contrario móvel a corrente voltaica, podemos examinar igualmente a acção do magnéte sôbre a corrente.

Fig. 25.^a Nas columnas AB , e CD , tendo as taças A, B, C , e D , situe-se o conductór astático $AbcdefghC'$, e por baixo delle situe-se o magnéte fixo horisontal $A'B'$: a corrente girará em tórno de AC , até que a sua direcção seja perpendicular

lar ao magnéte, e que o pólo austral deste fique á esquerda da corrente: logo

Huma corrente voltaica rectilinea móvel, he pela acção de hum magnéte situada perpendicularmente a elle, e dando a esquerda ao seu pólo austral.

43. No apparelho antecedente, substitua-se ao conductôr *Fig. 26.^a* *AbcdefghC*, o conductôr *AbcdefghikC*, e apresente-se hum magnéte paralelo ao plano móvel, de maneira, que a perpendicular commum passe por entre os pólos do magnéte: se o pólo austral do magnéte ficar á esquerda da corrente, o fio da corrente será attrahido, e pelo contrario repellido, se o pólo austral do magnéte ficar á direita da corrente: logo

Huma corrente voltaica rectilinea, he attrahida, ou repellida por hum magnéte situado de maneira, que a perpendicular commum ao magnéte, e á corrente, passe por entre os pólos do magnéte, conforme o pólo austral deste fica á esquerda, ou á direita da corrente.

44. Se agora apresentarmos ao fio *ih*, ou *ed*, hum magnéte em huma posição perpendicular ao plano do fio, de tal modo, que ambos os pólos do magnéte fiquem cada hum de seu lado da corrente, observaremos, que se o pólo austral do magnéte ficar á esquerda da corrente, esta será conduzida defronte do meio do magnéte, e fixar-se-ha nesta posição; se porém a posição do magnéte fôr inversa, por pouco que o fio esteja desviado do meio do magnéte, este será repellido, e continuará a desviar-se indefinidamente.

45. Seja o vaso cylindrico *AB* atravessado pelo canal cylindrico *cd*, e passando através delle a haste metalica *ab*, terminada pelas taças *a*, e *b*: enchendo o cylindro de agoa acidulada, suspenda-se em *b* o conductôr móvel *bcdef*, ponha-se o fio vitreo em *o*, e o resinoso em *a*, e situe-se hum magnéte *mm'* no prolongamento do eixo de rotação *ab*: o conductôr móvel começará a girar sempre no mesmo sentido. A rotação terá lugar de Leste para o Oeste pelo Meio Dia, se, sendo a corrente ascendente, o pólo austral do magnéte estiver voltado para baixo; o contrario acontecerá, se voltarmos o magnéte, ou se invertermos a direcção da corrente, ou se finalmente trocarmos o magnéte da parte de cima do vaso para a parte de baixo, conservando-lhe a mesma

Fig. 27.^a

posição. Os resultados desta experiencia, podem exprimir-se da maneira seguinte.

O pólo austral do magnete, situado debaixo do conductor móvel, ou o pólo boreal, situado por cima do mesmo conductor, determina a rotaçãõ de Oeste para Leste pelo Meio Dia: o pólo austral, situado por cima do conductor, ou o pólo boreal, situado por baixo delle, determina a rotaçãõ de Leste para o Oeste pelo Meio Dia.

46. Conhecida a acção reciproca das correntes voltaicas rectilineas, e dos magnètes; simples considerações geométricas podem dar facilmente a acção reciproca dos magnètes, e das correntes voltaicas curvilineas, e por extensão a acção reciproca dos magnètes, e dos cylindros electrodinamicos.

Applicando estas considerações, e dispondõ convenientemente os fios conductôres móveis dos apparatus, acha-se tanto por meio dellas, como das observações experimentaes, o seguinte principio, principio da mais alta importancia.

Os mesmos phenomenos, que resultaõ, seja da acção reciproca de dois magnètes, seja da acção do globo terrestre, e de huma agulha magnética, serãõ sem differença alguma produzidos, quando a hum, ou a ambos os magnètes substituirmos hum cylindro electrodinamico convenientemente suspenso.

Assim hum cylindro electrodinamico, livre de mover-se em tórno de hum eixo vertical, situar-se-ha de maneira, que o seu eixo terá a direcção do eixo de huma agulha magnética. Assim tambem dois cylindros electrodynamicos repellir-se-hãõ pelos pólos do mesmo nome, e atrahir-se-hãõ pelos pólos contrarios, &c. &c.

Da magnetisação por meio das correntes voltaicas.

47. Naõ sómente as correntes voltaicas exercem sôbre os magnètes acções analogas, ás que sôbre elles exerce outro magnete; porém estas correntes tem tambem huma acção semelhante sôbre os metaes magnetisaveis, quaes são, v. g., o ferro, o aço, o nickel, e o cobalto.

Arago achou por experiencia, que hum fio percorrido por huma corrente voltaica attrahe, como hum magnete, as limalhas de ferro, e que esta attracção cessa inteiramente, logo que o fio cessa de ser percorrido pela electricidade.

Para tornar visível este resultado, recurva-se em spiral (fig. 28) hum fio de metal, e pondo as extremidades *a*, e *b* do fio, em contacto com os dois pólos da pilha, e applicando o plano da spiral sôbre huma folha de papel, coberta de limalhas de ferro, estas são attrahidas, e unem-se á curva. Cada vez, que se interrompem as communicações com a pilha, as limalhas despegão-se, e pegaõ-se de novo cada vez, que se restabelecem as communicações. Fig. 28.^a

48. Achou o mesmo Arago, que huma corrente voltaica, perpendicular a huma agulha de aço, a magnetisa, de tal maneira, que o pólo austral da agulha se fórma á esquerda, e o pólo boreal á direita da corrente.

Para que esta experiencia seja porém sensível, he necessario, que a agulha seja mui pequena, e a tempera do aço pouco rija.

49. Quando porém a hum simples fio, percorrido por huma corrente voltaica, se substitue huma helice, percorrida pela corrente, pôdem por meio della magnetisar-se fios compridos, e de tempera rija. Este modo de magnetisação apresenta certos phenomenos, que veremos para o diante concordado inteiramente com o novo modo de considerar o magnetismo.

Para conceber claramente estes phenomenos, convem distinguir as helices dirigidas diversamente, como as distinguem os botanicos, a saber: em *helices dextrorsas*, e *helices sinistrorsas*, quer dizer, em helices torcidas pela direita, e helices torcidas pela esquerda.

A helice não he outra cousa mais, que huma linha, que circunda hum cylindro de huma até á outra extremidade, fazendo hum numero maior, ou menor de circumvoluções.

Se tomarmos por origem da helice o ponto *A* (fig. 29), Fig. 29.^a extremo superior do diametro vertical da base do cylindro, e a helice partir pela direita até ao ponto inferior *B*, depois voltar hum pouco adiante da base ao alto do cylindro, e continuar nesta direcção, como indica a seta *aa'*, a helice será *dextrorsa*.

Se porém a partir de *A'* a helice seguir a direcção pela esquerda, como mostraõ as setas *a'a''*, a helice será *sinistrorsa*.

Isto posto mostraráõ as observações de Arago os seguintes principios.

1.^o O pólo austral do magnete fórma-se sempre da parte da eu-
Tom. II. X

trada da corrente, quando a helice he sinistrorsa, e pelo contrario da parte da sabida da corrente, quando a helice he dextrorsa.

2.º Se a helice varia de direçaõ no seu comprimento, quer dizer, passa de ser dextrorsa a sinistrorsa, ou reciprocamente, cada mudança na direçaõ da helice produzirá no magnéte hum ponto consequente.

50. Quando em vez de empregar para a magnetisaçaõ huma corrente dirigida em helice, se emprega huma corrente descrevendo huma espiral, e situada parallelamente ao eixo da barra, produzem-se por meio desta corrente espiral, ou de duas dellas, obrando simultaneamente, os mesmos phenomenos, que se apresentaõ na magnetisaçaõ pelo contacto, e fricções com os pólos dos magnétes.

Conclusões theoreticas sôbre o modo de considerar o magnetismo.

51. Os phenomenos, que acabamos de expôr, nos mostraõ os grandes pontos de analogia, que entre si appresentaõ as correntes voltaicas, e os magnétes, e nos permitem produzir por meio das mesmas correntes, os phenomenos, que produzem as agulhas, em que se achaõ desenvolvidos os principios do magnetismo.

Daqui se origina hum novo modo de considerar os magnétes, naõ como ajuntamentos de molleculas, em cada huma das quaes se achaõ separados dois principios oppostos, a que dêmos o nome de principio boreal, e de principio austral; mas como côrpos percorridos por correntes voltaicas, dirigidas de huma maneira fixa, e determinada.

Estas correntes tem lugar em tôrno de cada mollecula do magnéte, e nesta hypothese todos os phenomenos de acçaõ reciproca dos magnétes, e de magnetisaçaõ, tanto por meio de outros magnétes, como por meio das correntes voltaicas, se explicaõ perfeitamente.

52. Esta possibilidade de explicar os phenomenos, tanto em huma, como em outra hypothese, naõ basta para decidirmos o nosso juizo; mas sim para o suspendermos entré ellas, até que experiencias, e descubertas positivas possaõ fixar a este respeito a nossa opiniaõ.

Felizmente esta incerteza naõ tem influencia sôbre as leis dos phenomenos magnéticos, e independentemente della

o celebre Poisson, que fixou as leis dos phenomenos electricos, applicando a analyse a mais sublime aos dados, filhos da experiencia, acaba de applica-la com igual successo á theoria do magnetismo. Como a analyse transcendente para este fim empregada, sahe fóra dos limites deste tratado, daremos unicamente hum extrato resumido do trabalho de Poisson, pelo qual se poderá fazer huma idéa do methodo seguido por este Geómetra, e da importancia dos seus resultados. Não podemos tomar neste ponto melhor partido, que o de traduzir o extracto do mesmo trabalho, publicado por Gay-Lussac, e Arago nos annaes de Chymica, e de Physica. Tomo XXV. pag. 113, e seguintes.



Extracto de huma Memoria sôbre a theoria do magnetismo, por M. Poisson.

Lida á Academia das Sciencias de Paris em 2 de Fevereiro de 1824.

Os Physicos tem explicado as attracções, e repulsões electricas, attribuindo-as a dois fluidos distinctos taes, que as molléculas de cada hum delles repellem as do mesmo fluido, e attrahem com a mesma força, as do outro fluido; e a lei desta força, concluida da observação directa, he, a da razão inversa do quadrado das distancias, a mesma, que a lei da attracção Newtoniana, que parece reger todas as acções dos corpos, sensiveis a grandes distancias.

Partindo desta hypothese, tem-se determinado, pela analyse mathematica, a distribuição da electricidade na superficie dos corpos conductôres, a pressão electrica, que tem lugar de dentro para fóra, em cada ponto desta superficie, e a acção do stracto electrico, que a cobre, sôbre hum ponto qualquer do espaço. Os resultados do calculo estão perfeitamente de accôrdo, com as experiencias numerosas, que Coulomb fez, ha perto de quarenta annos, sôbre esta materia, e hoje esta parte da electricidade, em que se suppõe os dois fluidos em equilibrio, e em que se faz abstracção de toda a

acção propria da materia dos corpos electricisados; esta parte, dizemos, he completa, ou ao menos não appresenta mais, que difficuldades da analyse, relativas á forma, e ao numero dos corpos submettidos ás suas mutuas influencias.

A inducção bastou para attribuir igualmente as attracções, e repulsões magneticas a dois fluidos imponderaveis, que os Physicos chamáráo fluido boreal, e fluido austral. Era natural suppôr-lhes o mesmo modo de acção reciproca, que aos dois fluidos electricos; e com effeito, na mesma época, em que Coulomb demonstrou, pela observação, a lei elementar das acções electricas na razão inversa do quadrado das distancias; tambem concluiu das suas experiencias, que esta lei convinha igualmente ás acções magneticas. Com tudo as provas, que deo, e que são incontestaveis para a electricidade, estão longe de ser tão concludentes, relativamente ao magnetismo; mas isto não obsta, a admitir a mesma lei, para as acções a distancia nestes dois generos de fluidos imponderaveis; salvo a mostrar, que as consequencias, que se deduzem por hum calculo rigoroso, concordão exactamente com a experiencia, tanto para o magnetismo, como para a electricidade.

Independentemente da similhança das attracções, e repulsões electricas, e magneticas, ainda existe outra analogia entre a electricidade, e o magnetismo: quero fallar da distincção dos corpos em duas classes, segundo perdem, ou conservão mais, ou menos tempo o estado magnético, ou electrico, que se lhes fez tomar. Relativamente á electricidade, os corpos, que se chamaõ *conductôres*, electricisã-se instantaneamente pela influencia dos corpos vizinhos já electricisados, e logo que se tiraõ desta influencia, não conservão vestigio algum de electricidade. Pelo contrario os corpos, não conductôres, não se electricisã sensivelmente por influencia, menos que ella seja mui forte, ou mui prolongada; mas quando se tem electricisado por outros meios, conservão em cada hum dos seus pontos, a electricidade nelle introduzida, e que se acha retida por huma acção propria da materia desses corpos. A este respeito os corpos susceptiveis de magnetisação se conduzem de huma maneira analoga. Huns, como o ferro macio, por exemplo, que não foi nem torcido, nem batido a frio, se magnetisaõ pela influencia de hum magnete vizinho, e logo que se separaõ, não daõ mais signaes de

magnetismo. Outros, taes como o aço temperado, se magnetisa difficulosamente por influencia; porém se se excita nelles o magnetismo por meios mais poderózos, conservaõ o estado magnético, sem duvida tambem em virtude de alguma acção particular, que a sua materia exerce sôbre os dois fluidos boreal, e austral.

Taes são as principais analogias, que a observação faz immediatamente reconhecer entre a electricidade, e o magnetismo; mas por outra parte existem entre estas duas affecções dos corpos differenças essenciaes, que passaremos a expender, e que não permitem se applique immediatamente ao magnetismo, a theoria da electricidade. A electricidade penetra todas as substancias, seja para as atravessar livremente, seja para se unir ás suas molléculas; pelo contrario só em hum pequeno numero de corpos, no ferro em diferentes estados, no aço, no nickel, e no cobalto, he que se tem conhecido distinctamente signaes de magnetismo. Em consequencia pôde perguntar-se, se o magnetismo he hum fluido particular, que não existe senão nos corpos susceptiveis de magnetisação, ou se he o fluido electrico modificado por algumas propriedades especiaes desses corpos, e distribuido de huma maneira particular, no seu interior? Não julgâmos, que esta questãõ se possa decidir, no estado actual da sciencia: tudo o que até aqui se tem provado, he que se chega a desenvolver o magnetismo nos corpos, pela acção da electricidade; mas a identidade do fluido magnético, e do fluido electrico não resulta necessariamente dos importantes factos recentemente descubertos.

Felizmente a sollução desta questãõ nada tem de commum com o objecto desta memoria; a nossa analyse he independente da materia particular dos fluidos boreal, e austral; o nosso fim he simplesmente determinar as resultantes das suas attracções, e repulsões, e como se distribuem nos corpos magnetizados.

Sôbre este ponto, a opiniaõ dos Physicos não tem sido sempre a mesma. Antes dos trabalhos de Coulomb, sôbre o magnetismo, suppunhaõ-se os dois fluidos transportados, pelo acto da magnetisação, ás duas extremidades das agulhas magnéticas, e accumulados nos seus pólos; em quanto, segundo este Physico, os fluidos boreal, e austral, não experimentaõ senão deslocações infinitamente pequenas, e não sa-

hem da mollécula do côrpo magnetizado, á qual pertenciaõ antes da magnetisação. Esta opiniaõ, mui singular á primeira vista, he com tudo, a que tem geralmente prevalecido; mas a theoría, de que ella he o principio, só podia ser convenientemente desenvolvida pela analyse mathematica, como se verá no seguimento desta Memoria. Eis o factõ geral, sôbre o qual a opiniaõ de Coulomb he estabelecida, e que não permite, segundo nos parece, duvidar da necessidade da sua hypothese.

Se se aproxima de hum magnéte, hum pedaço de ferro macio, este se magnetizará por influencia, e no contacto estes dois côrpos adherirão hum ao outro com mais, ou menos força. Acontecerá o mesmo a respeito de hum, ou mais pedaços de ferro, que se aproximarem ao primeiro; estes côrpos se magnetizarão por influencia, e adherirão ao primeiro no contacto. Isto posto, se se separão estes differentes pedaços de ferro, e se subtrahem depois, á influencia do magnéte, acha-se, que elles voltãrão todos ao seu estado natural, e que nenhuma porção de fluido magnético passou nem do magnéte para o ferro, nem de hum pedaço para o outro: ora he esta huma differença capital entre o magnetismo, e a electricidade dos côrpos conductôres; por quanto o fluido electrico passa livremente de hum destes côrpos para o outro, quando estão em contacto, ou mesmo quando estão assás proximos, para que a pressãõ do ar, que retém a electricidade nas superficies, seja vencida pelas pressões electricas. Este factõ, relativo ao fluido magnético, he geral, he independente da fôrma, e do volume dos pedaços de ferro macio, que se põe em contacto, do seu grão de magnetismo, ou da força do magnéte, que obra sôbre elles: por mais intimo, que o contacto tenha sido, e por mais tempo, que tenha durado, este fluido nunca passa de hum pedaço de ferro para outro; do que he natural concluir, que nenhuma quantidade sensivel de magnetismo, passa de huma parte á outra no mesmo pedaço de ferro; e que os dois fluidos boreal, e austral, que este metal contém no estado natural, não experimentãõ no seu interior senãõ deslocções insensiveis, quando são separados hum do outro, por huma acção exterior. Esta conclusãõ se estende igualmente aos côrpos magnetizados, que terém o magnetismo, que se lhes fez tomar, seja pela influencia prolongada de hum forte magnéte,

seja por outro qualquer processo de magnetisação. A unica differença, que ha a este respeito entre estes corpos, e o ferro macio, he que existe nelles, como o dissemos acima, huma força particular a cada substancia, que se conhece de baixo do nome de força *coercitiva*, cujo effeito he fixar as particulas de hum, e outro fluido na posição, que occupaõ, e de se oppôr assim á separação dos dois fluidos, e depois á sua reuniao.

Appresenta-se agora huma questao, que parece não ter fixado a attenção dos Physicos, e á qual se he conduzido por esta propriedade do fluido magnético, de pertencer sempre ás mesmas partes íntimas dos corpos magnetizados. Não somente não esta provado, que este agente seja identico com o fluido electrico; mas até não he necessario suppôr, que os phenomenos magnéticos sejaõ produzidos em todos os corpos por hum fluido, gozando em todos da mesma intensidade de acção attractiva, ou repulsiva, e que se deva considerar em consequencia, como o mesmo fluido, nos corpos de materias diferentes. A identidade da natureza do fluido electrico, resulta para nós, de que passando de hum corpo conductor para outro, huma mesma porção deste fluido, conserva todas as suas propriedades, e exerce nas mesmas circunstancias, as mesmas attracções, e repulsões; mas esta razão não tendo lugar relativamente ao magnetismo, não sabemos a priori, se devemos considerar como huma mesma substancia imponderavel, o fluido magnético, pertencente a dois corpos diferentes, ao nikel puro, e ao ferro macio, por exemplo. Assim a experiencia só nos póde ensinar, se, abstractão feita da força coercitiva, que he muito fraca nestes dois metaes, se a mesma causa exterior produzirá o mesmo effeito sobre o fluido magnético, que hum, e outro contém, ou para fazer mais claro o meu enunciado, se agulhas da mesma fórma, e das mesmas dimensões, humas de nikel, e outras de ferro, sendo submettidas á acção magnética do globo terrestre, ou á de outro magnéte qualquer, farão em tempos iguaes os mesmos numeros de oscilações. Gay-Lussac quiz occupar-se em resolver esta questao, e conseguiu-o, substituindo á observação directa, de que fallámos, outra experiencia, não menos concludente, que elle julgou mais susceptivel de exactidão. Eis-aqui, em que consiste esta experiencia, e quaes forão os seus resultados.

Fez-se oscilar para hum, e outro lado do meridiano magnético, huma agulha horizontal; esta agulha magnetizada, do comprimento de $0,^m2$, fazia 10 oscilações em 131 segundos, em virtude da acção da terra; collocou-se por baixo, no mesmo meridiano, sôbre hum plano fixo horizontal, separado da agulha de $0,^m05$, huma barra prismatica de ferro macio, cujo comprimento era de $0,^m196$, a largura de $0,^m018$, a espessura vertical de $0,^m0014$, cujo meio se achava na mesma vertical, que o meio da agulha: as oscilações desta, se accelerárao logo; de maneira, que houve immediatamente 10, em 65 segundos, e depois o mesmo numero em 60 segundos; termo, no qual a acceleração parou. Isto feito, tirou-se a barra de ferro macio, e collocou-se huma barra de nikel puro, da mesma fórma, e dimensões; a agulha fez entao 10 oscilações em 78 segundos no commêço, e o seu movimento se accelerou hum pouco, até que fez 10 oscilações em 77 segundos. A barra de nikel tendo sido tambem desviada, a agulha tomou de novo quasi o seu movimento primitivo: fez 10 oscilações em 130 segundos, em virtude da acção da terra unicamente. Não se reconheceo nas barras de ferro, e de nikel nenhum signal notavel de magnetismo depois destas opperações; o que mostra, que a força coercitiva, ao menos, era mui fraca nestes metaes: com tudo poderia crer-se, que não era totalmente nulla; pois que as duas barras não chegárao subitamente ao estado, no qual exerciaõ a maxima influencia sôbre o movimento da agulha; mas esta circumstancia pôde tambem depender da reacção do seu fluido magnético, sôbre o da agulha; reacção, cujo effeito não devia chegar ao seu maximo, senao depois de hum certo intervalo de tempo, por causa da força coercitiva do aço temperado, de que a agulha era formada. Seja como fôr, a consequencia certa, que desta observação importante devemos tirar he, que a acção mutua dos fluidos magnéticos, contidos no aço, e no ferro macio, he notavelmente maior, que a acção mutua dos fluidos contidos no mesmo aço, e no nikel. Suppôr-se-ha talvez, que esta differença de acção do fluido magnético nos differentes corpos, que o encerraõ, depende, de que cada hum destes corpos encerra, no estado neutro, huma quantidade limitada de fluido boreal, e de fluido austral, a qual quantidade muda com a materia do corpo, e seria maior, por exemplo, no ferro,

do que no níquel. Mas esta maneira de vêr, seria contraria aos phenomenos, e as quantidades dos dois fluidos, que são contidos em cada corpo no estado neutro, são para nós illimitadas; quero dizer, que com as forças, de que podemos dispôr, não chegámos nunca a separa-los em totalidade no acto da magnetisação; porque quando hum corpo está magnetizado pela influencia de hum magnéte, os Physicos admittem, que a intensidade do seu estado magnético, manifestado pelos effectos mechanicos, que produz exteriormente, cresce continuamente, á medida, que se augmenta a força do magnéte, que obra sôbre este corpo; o que suppõe evidentemente, que se não attingio ainda ao limítte de decomposição do fluido neutro, que elle encerra, como igualmente se não pôde chegar a separar em totalidade, os dois fluidos electricos no interior de hum corpo. conductôr de electricidade.

He então necessario suppôr, que a acção mútua das duas particulas magnéticas, pertencendo a diferentes corpos, depende da materia de cada hum destes corpos. He provavel, que esta acção varie tambem com as suas temperaturas, e isto parece já indicado por huma antiga observação do Physico Canton, e por experiencias mais amplas, e mais exactas, que Coulomb deixou ineditas, e que forão publicadas por Mr. Biot, no seu Tratado de Physica. Estas experiencias mostraõ a influencia do calôr sôbre o desenvolvimento do magnetismo, mas tendo sido feitas sôbre barras magnetizadas, nas quaes a força coercitiva estava longe de ser nulla, os effectos observados eraõ devidos sem dúvida, á variação desta força, e á mudança de intensidade de acção do fluido magnético. Seria para desejar, que as mesmas observações fossem repetidas, sôbre o ferro macio, e sôbre o níquel puro, em diferentes temperaturas, e até sôbre os outros metaes, zonde o magnetismo se não tem ainda manifestado; e com effecto a experiencia de Gay-Lussac, constatando a differença de acção do fluido magnético nas diferentes materias, dá lugar a pensar, que a intensidade desta acção he só muito fraca na temperatura ordinaria; mas não absolutamente nulla nos outros metaes.

Depois de ter exposto as hypotheses, ou melhor, os dados physicos da questão, que faz o objecto desta Memoria, convem explicar de huma maneira precisa, como nós

nos representaremos, segundo estes dados, á disposição dos dois fluidos boreal, e austral nos corpos magnetisados.

Supponhamos primeiramente, que se trata de huma agulha cylindrica de ferro macio, de pequeno diamêtro, e de hum comprimento qualquer, e que no prolongamento do seu eixo, se tenha collocado hum, ou muitos centros de acção magnética. No estado natural da agulha, os dois fluidos, que ella contém, estão reunidos em cada ponto em quantidades iguaes, de sorte, que as suas acções, sendo iguaes, e de signaes contrarios a toda a distancia, destroem-se exactamente, e não se manifesta signal algum de magnetismo. A acção dos centros magnéticos sôbre estes dois fluidos, os separará hum do outro, mas de maneira, que cada mollécula boreal, ou austral, seja pouco desviada da sua posição primitiva. Neste novo estado, os dois fluidos seguir-se-hão alternativamente em todo o comprimento da agulha, e este comprimento será composto de huma continuação de partes pequenissimas, contendo cada huma, como no estado natural, os dois fluidos em quantidades iguaes. Não decidiremos se a extensão destas partes, he o comprimento mesmo das molléculas de ferro, bastará para a exactidão dos nossos calculos, que esta extensão seja extremamente pequena, e que pôssa ser desprezada relativamente ao diamêtro da agulha, e geralmente, relativamente ás mais pequenas dimensões dos corpos magnetisados, que se tenhaõ a considerar. Ainda que pequena, esta extensão poderia ser desigual nas diversas materias susceptiveis de magnetisação, no ferro, e no nickel, por exemplo; mas ver-se-ha, na continuação desta memoria, que esta differença não appresentaria differença alguma na acção magnetica exterior destas substancias, de sorte, que se não poderia explicar por este meio, a differença de acção, que ellas exercem, nas mesmas circumstancias, sôbre os magnêtes collocados na sua proximidade.

Actualmente se se trata de hum corpo magnetisado, de fórma, e dimensões quaesquer; he necessario conceber no seu interior linhas, segundo as quaes a separação dos dois fluidos se opperou, e nas quaes elles se achão dispostos alternativamente como na agulha, que tomámos para primeiro exemplo. Estas linhas serãõ em geral curvas, dependentes da fórma do corpo, e das forças exteriores, que obraõ sôbre

os dois fluidos: para abreviar o discurso, chamar-lhes-hemos *linhas de magnetisação*, e chamaremos *elementos magnéticos*, ás pequenissimas partes, de que ellas são compostas, e cada huma dellas contendo os fluidos *boreal*, e *austral*, em quantidades iguaes. Assim em cada problêma particular, ter-se-ha a determinar; para hum ponto qualquer do côrpo, que se considerar, a direcção da linha de magnetisação, e a acção do elemento magnético, sôbre hum outro ponto qualquer dado de posição, fóra, ou no interior deste côrpo. Esta acção he a differença das forças exercidas pelos dois fluidos, contidos no elemento, a qual differença provem, de que as moléculas *boreaes*, e *austraes* estão hum quasi nada separadas, no estado de magnetisação. Poderia admirar o ver, que forças devidas a tão pequenas distancias entre os centros, de que dimanão, fossem capazes de produzir effeitos mechanicos apreciaveis, taes, como os movimentos resultando das attracções, e repulsões magnéticas; mas a resultante das acções de todos os elementos magnéticos, de hum côrpo magnetisado, he huma força equivalente á acção de hum stracto mui delgado, que envolvesse a superficie inteira desse côrpo, e que fôsse formada dos dois fluidos *boreal*, e *austral*, que nelle occupariao partes distinctas. Ora nós temos já nas attracções, e repulsões dos côrpos conductôres da electricidade, o exemplo de effeitos mechanicos, algumas vezes poderosissimos, produzidos por stractos fluidos, de huma espessura tão pequena, que escapa aos nossos sentidos, e a todos os nossos meios de apreciar a extensaão. Em quanto ás forças proprias a cada huma das duas porções de fluido isolado, seja boreal, seja austral, pertencendo ao mesmo elemento magnético, são incomparavelmente maiores, que a acção deste elemento, e não podemos formar idéa alguma da sua intensidade pelas attracções, ou repulsões, pois que estes effeitos são sempre devidos á sua differença. He a esta disposiçãõ dois fluidos magnéticos nos côrpos magnetisados, tal qual a acabâmos de descrever, que nos propozêmos nesta Memoria, a applicar a analyse Mathematica.

O primeiro problêma, que tivemos a resolver, foi determinar as componentes, segundo tres eixos rectangulares das attracções, e repulsões de todos os elementos magnéticos de hum côrpo magnetisado, de fórma qualquer, sôbre hum ponto tomado fóra, ou dentro d'elle.

Ajuntando a estas componentes, relativas a hum ponto interiôr, as das forças magnéticas exteriôres, que obraõ sôbre o côrpo, ter-se-haõ as forças totaes, que tendem a separar os dois fluidos reunidos neste ponto. Se entaõ a materia do côrpo não oppõe resistencia alguma sensivel á deslocação dos fluidos em cada elemento magnético, ou por outras palavras, se a força coercitiva he supposta nulla, será necessario para o equilibrio magnético, que essas forças totaes sejaõ iguaes a zero, sem o que produziriaõ huma nova decomposição do fluido neutro, que nunca he esgotado, e o estado magnético do côrpo mudaria.

Temos entaõ igualado a zero, a somma das componentes, seguindo cada huma das tres direcções rectangulares, ás quaes ellas se referem. As equações de equilibrio assim formadas, seraõ sempre possivel, e servirão a determinar, para todos os pontos do côrpo magnetizado, as tres incognitas, que encerraõ, a saber: a intensidade de acção do elemento magnético, sôbre hum ponto dado, e os dois angulos, que fixaõ a direcção correspondente da linha de magnetisação. Nas extremidades de cada elemento, as componentes totaes não seraõ nullas; produzirão nesses pontos pressões, que se exerceraõ de dentro para fóra do elemento, e que deveraõ ser destruidas, por hum obstaculo qualquer, cuja natureza nos he desconhecida; mas que se oppõe á passagem do fluido magnético, de hum elemento para o outro. Este obstaculo, qualquer que seja, existindo tambem nos elementos magnéticos, que correspondem ás superficies dos côrpos magnetizados, resulta disto, que se não manifesta exteriôrmente pressaõ alguma, que se necessite destruir pela pressaõ do ar; o que constitue huma das differenças caracteristicas entre os côrpos magnetizados por influencia, e os côrpos conductôres de electricidade.

Se a força coercitiva, não fôsse nulla no côrpo magnetizado, que se considera, bastaria entaõ para o equilibrio magnético, que a resultante de todas as forças exteriôres, e interiôres, que obraõ sôbre hum ponto qualquer dêsse côrpo, não superasse em parte alguma, a grandeza dada, da força coercitiva, cujo efeito seria analogo ao da fricção nas machinas. Disto resulta, que neste caso, o equilibrio poderá ter lugar de huma infinidade de modos differentes; mas entre todos estes estados de equilibrio, possiveis, existe hum estado

notavel, no qual os Physicos dizem, que os corpos estão *magnetizados a saturação*, e de que nos occuparemos em outra Memoria. Temo-nos limitado nesta, a considerar o estado unico, e determinado, dos corpos magnetizados por influencia, nos quaes a força coercitiva, he supposta nulla.

As equações do equilibrio magnético, formadas como se acaba de explicar, são á primeira vista assás complicadas; mas submettendo-as a certas transformações, as integraes triplas, que contém, mudão-se em integraes duplas, e estas equações vem a ser muito mais simplicis.

Deduz-se então dellas, esta consequencia geral, que ainda mesmo, que os dois fluidos boreal, e austral estejam distribuidos em toda a massa de hum corpo magnetizado por influencia, as attracções, e repulsões, que elle exerce para fóra, são as mesmas, que se estivesse sómente cuberto de hum stracto mui delgado dos dois fluidos, em quantidades iguaes, e tal que a acção total sôbre os pontos interiôres, seja igual a zero. Se o corpo contém hum espaço vazio no seu interiôr, e que se tenhaõ posto em geral, centros de forças magnéticas neste espaço, e fóra do corpo; será necessario então considera-lo, como limitado por dois stractos delgados, correspondentes ás suas duas superficies interiôr, e interiôr, e he a acção destes dois stractos, sôbre hum ponto qualquer da massa do corpo, junta á acção de todos os centros magnéticos dados, que deverá produzir huma resultante nulla. Neste caso, os dois fluidos podem estar em quantidades differentes em cada hum dos dois stractos delgados, com tanto, que estejam sempre em quantidades iguaes sôbre as duas superficies reunidas. Desta maneira, a theoria das attracções, e repulsões magnéticas se acha reduzida ao mesmo principio, e dependente das mesmas formulas, que a theoria das acções electricas dos corpos conductôres, de que ella não he mais, do que hum caso particular. Mas nesta ultima, a proposição geral, que vimos de enunciar, he o principio donde se parte a *priori*, em quanto pelo contrario, na theoria do magnetismo, esta proposição he huma consequencia, que se deduz das equações de equilibrio, obtidas por outras considerações. Póde-se ainda observar, segundo esta proposição geral, que se se tivesse hum montão de pequenos pedaços metalicos, ou formado de outra qualquer materia conductôra da electricidade, cujas dimensões fossem

mui pequenas, e podessem ser desprezadas relativamente ás dimensões da massa inteira; que fossem cubertas de huma substancia, que obstasse a electricidade de passar de huma parcela á outra, sem augmentar sensivelmente os seus volumes, e que se aproximasse desta massa, corpos electrisados: este montão de parcelas se electrisaria pelas suas influencias; e neste estado as attracções, e repulsões, que elle exerceria para fóra, seriaõ as mesmas, que as de hum côrpo conductor da mesma figura, submettido ás mesmas forças exterior, ainda que, em hum caso, os dois fluidos electricos se devessem conduzir á superficie, e que no outro, fôssem obrigados a ficar no interiôr. Este outro caso, he mui proprio a dar, por huma comparação sensivel, a idéa a mais clara, que se pôde formar da disposição dos dois fluidos magneticos, nos corpos magnetisados.

Applicando as fórmulas geraes, que tenho enunciado, ao caso de huma esfera ouca, da qual a parte solida seja em todos os pontos de huma espessura constante, fui conduzido a hum theorêma singular, que convém igualmente ao magnetismo, e á electricidade. Supponhamos esta esfera formada de huma materia conductôra de electricidade. Se se collocaõ corpos electrisados, distribuidos á vontade, seja no espaço interiôr, seja do lado de fóra da esfera ouca, esta se electrisará por influencia, e eis-aqui o que se observa.

1.º Quando todos estes corpos estiverem de fóra da esfera ouca, a sua acção junta á acção da esfera, dará huma resultante igual a zero para todos os pontos do espaço vazio interiôr, e tambem para a parte cheia da esfera.

2.º Quando pelo contrario, todos os corpos electrisados fôrem collocados no espaço vazio interiôr, a resultante das suas acções, junta á acção da esfera sôbre hum ponto de fóra, será huma força constante á roda dêsse corpo, a huma igual distancia do seu centro, e a mesma, que se a totalidade dos dois fluidos electricos estivesse reunida nesse ponto.

A espessura do stracto electrico, será a mesma em toda a extensão da superficie esferica interiôr, ainda que os pontos desta superficie possaõ ser, huns mui proximos, outros mui remótos, dos corpos interiôres electrisados; e se a electricidade passa por faisca de hum destes corpos para o outro, ou para o stracto esférico, as attracções, ou repulsões exterior, não mudarão.

Relativamente ao magnetismo, segue-se deste theorêma, que huma agulha magnetisada, collocada no interiôr de huma esfera ouca de ferro macio, e assás pequena para não exercer influencia alguma sensivel sôbre esta esfêra, não experimentará effeito algum magnético; e consequentemente não affectará direcção alguma particular, em virtude da acção da terra, ou de outros magnêtes collocados por fóra da esfêra vazia. Resulta disto tambem, que se situarmos magnêtes no interiôr de huma similhante esfêra, a sua acção sôbre huma pequena agulha exterior, junta á da parte cheia da esfêra, magnetisada pela sua influencia, produzirá sempre huma resultante igual a zero; porque confôrme a segunda parte do theorêma, a acção exterior deve ser a mesma, que se os dois fluidos *boreal*, e *austral* estivessem reunidos no centro da esfêra; o que tornaria a sua acção nulla a toda a distancia, pois que estes fluidos estão necessariamente em quantidades iguaes. Considerando hum plano, como huma esfêra de hum raio infinito, poder-se-ha concluir, que a interposição de huma chapa de ferro macio, de qualquer espessura, mas de huma grande extensão, deveria bastar para obstar á transmissão da acção magnética; de maneira, que se hum forte magnête estiver collocado de hum lado desta chapa, a huma grande distancia das suas extremidades; pequenas parcelas de ferro, espalhadas do outro lado, não experimentariaõ nem attracção, nem repulsão: não adheririaõ á chapa de ferro por aquelle lado, e poderiaõ adherir fortemente do lado do magnête, ainda que a espessura da chapa, ou a distancia, que separa as suas duas superficies, fôsse pouco consideravel.

O caso particular, o mais simples, no qual se possaõ applicar as formulas, que descrevo nesta memoria, he o de huma esfêra ouca, magnetisada pela acção da terra, quero dizer, pela acção de huma força, cujo centro he extremamente remoto, e que se considera por este motivo, como constante em grandeza, e direcção, em toda a extensão de hum côrpo magnetisado, de dimensão ordinaria. Neste caso as integrações completaõ-se debaixo de fórma finita. As equações de equilibrio magnético, resolvem-se completamente, e dellas se deduz tudo quanto impotta conhecer, seja relativamente á direcção das linhas de magnetisação, e á intensidade do magnetismo na parte cheia da esfêra ouca, seja rela-

ivamente á acção, que ella exercita para fóra, sobre hum ponto qualquer dado, de posição. Achar-se-ha, na minha Memoria, a expressão das tres componentes rectangulares desta acção exterior, das quaes, juntas ás componentes da acção terrestre, facilmente se concluirão as direcções, que deverão tomar a Busola horisontal, e a agulha de inclinação, e a duração das suas oscilações, em huma posição dada, o que dará o meio mais directo, para verificar a theoria pela experiencia. Ainda que o magnetismo não reside sómente na superficie exterior da esféra ouca, e que a sua intensidade seja conhecida em qualquer ponto dado, da parte cheia, com tudo a grandeza das componentes, de que fallámos, não depende de modo algum da espessura do metal, depende porém do raio da superficie exterior, e das tres variaveis, que determinão a posição do ponto sobre o qual essas forças obraõ. Quando a distancia desse ponto ao centro da esféra he mui grande, relativamente ao raio da superficie exterior, cada huma destas forças está quasi em razão directa do cubo do raio, e em razão inversa do cubo da distancia. Essas forças podem ser reduzidas a duas, das quaes huma he dirigida segundo a recta, que vai do centro da esféra ao ponto atrahido, que se considera, e a outra obra segundo a direcção da acção magnética da terra. A primeira vem a ser nulla, quando o ponto atrahido pertence ao plano tirado pelo centro da esféra, perpendicularmente á direcção da segunda força, resultando disto, que se huma pequena agulha magnetisada se põe sobre este plano, a direcção, que ella deve tomar, em virtude da acção da terra, não será mudada pela attracção da esféra magnetisada; donde se não deve concluir, que esta attracção seja nulla no plano de que tratámos, porque a segunda componente da força, não desaparece no mesmo tempo, que a primeira: ella se diminuirá da acção da terra, e o seu effeito será de tornar mais, e mais lentas as oscilações da agulha, á medida, que esta se approxima da superficie da esféra. Nesta mesma superficie, e em hum plano qualquer, esta componente he igual, e contraria á acção da terra, consequentemente huma pequena agulha magnetisada, será alí sómente submettida á acção da componente dirigida ao centro da esféra, de sorte, que deverá dirigir-se na direcção do prolongamento do raio, em virtude desta força. Em fim no plano do circulo maximo, perpendicular á

direcção do magnetismo terrestre, e mui perto da superficie da esféra, esta pequena agulha magnetisada, não experimentará mais acção alguma magnética, e não tomará mais direcção alguma determinada; o que se não poderia talvez verificar, senão quando a reacção da agulha, sôbre a esféra, fôsse fraquissima, e que della se podesse fazer abstracção.

Barlow, Professor a Woolwick, fez nestes ultimos tempos hum grande numero de experiencias sôbre os desvios da agulha de declinação, e da agulha de inclinação, produzidos pela influencia de huma esféra de ferro, magnetisada pela acção da terra. As suas observações se achão na Obra, que elle publicou sôbre esta materia (*). Estas observações fizerao vêr, que os desvios da agulha magnetisada são os mesmos, quando a esféra, que os produz, he inteiramente cheia, ou quando contém hum espaço vazio no seu interiôr. Nas distancias, em que ellas foraõ feitas, reconheceo, que a tangente do angulo de desvio horisontal, he proportional ao cubo da razaõ entre o raio da esféra, e distancia do seu centro ao meio da agulha: resultados, que são já huma confirmação da theoria. Mas para comparar de huma maneira mais exacta, o calculo, e a observação, calculei, segundo as fórmulas da minha Memoria, huma parte dos desvios, que Barlow observou. A concordancia geral dos numeros, que achei, com aquelles, que elle dêo, não deixará dúvida alguma sôbre a theoria do magnetismo, nem sôbre a exactidão da analyse, que he della o desenvolvimento. Sem entrar aqui no detalhé desta comparação, contentar-me-hei com indicar alguns pontos.

O diâmetro da esféra de ferro, magnetisada pela acção da terra, sendo de 13 pollegadas inglezas, a bussola, de que se observão os desvios, tendo 6 pollegadas de comprimento, o seu centro estando posto a 12 pollegadas do centro da esféra, Barlow achou em huma certa posição do instrumento, relativamente á esféra, hum desvio horisontal de $36^{\circ} 15'$. Na mesma posição da bussola, e tendo attendido ao seu comprimento, que não se pôde desprezar relativamente á sua distancia ao centro da esféra; o calculo

(*) *An Essay on Magnetic attractions*; segunda edição. Londres, 1823.

me deo $35^{\circ} 33'$ para este mesmo desvio. A differença de $42'$ deve ser attribuida em parte, á reacção da bussola sobre a esfera magnetisada, que não pode apreciar no calculo, por não conhecer a potencia magnética dos seus pólos.

A linha recta, que une o meio da agulha, e o centro da esfera, não tendo mudado de direcção, e hum dos seus pontos estando a 20 pollegadas do outro, o desvio horisontal se reduziu a $8^{\circ} 52'$, segundo a observação: este desvio calculado, seria de $8^{\circ} 42'$, que só differe $10'$, do desvio observado. Na mesma distancia de 20 pollegadas, e em huma posição de agulha, visinha do plano, em que o desvio horisontal he inteiramente nullo, este desvio foi de 1° , segundo a observação; e segundo o calculo deveria ser de $59'$; o que concorda o melhor, que se poderia esperar. Se se concebem pelo centro da esfera magnetisada, dois planos perpendiculares ao meridiano magnético, hum horisontal, e o outro paralelo á direcção do magnetismo terrestre, os desvios horisontaes da bussola nestes dois planos, terão entre si, segundo a theoria, huma razão mui simples.

Quando a recta, que vai do meio da agulha ao centro da esfera, fizer, em hum, e outro plano, o mesmo angulo com a sua intercessão commum; a tangente do desvio no plano horisontal, será para a tangente do desvio no outro plano, como o coseno da inclinação magnética, no lugar da observação, he para a unidade. As observações de Barlow, verificão este theorema de huma maneira satisfactoria: por exemplo, o meio da agulha estando a 18 pollegadas do centro da esfera, a experiencia deo no segundo plano, a 45° da linha leste-oeste, hum desvio horisontal de $12^{\circ} 6'$: a inclinação magnética era de $70^{\circ} 30'$; donde se concluiria, segundo o theorema, $4^{\circ} 6'$ para o desvio correspondente no plano horisontal, o qual foi, segundo a observação, de 4° sómente: a differença $6'$ pôde ser attribuida aos erros nas observações.

Tenho tambem calculado algumas das inclinações magnéticas, observadas pelo mesmo Physico, debaixo da influencia da esfera de 13 pollegadas de diametro, magnetisada pela acção da terra. As differenças entre o calculo, e as experiencias, não sahem dos limites dos erros inseparaveis deste genero de observações: assim por exemplo, a agulha de inclinação, sendo collocada no plano do meridiano magnético,

passando pelo centro da esféra, a distancia do meio a este centro sendo de 20 pollegadas, e a recta, que une estes dois pontos, fazendo hum angulo de 45° com a direcção do magnetismo terrestre; em fim a inclinação magnética, não influencia, sendo, no instante da observação de $70^\circ 40'$, a influencia da esféra a reduzio a $67^\circ 40'$: segundo o calculo, ella deveria ter sido, nas mesmas circumstancias de $67^\circ 46'$, que não differe senão $6'$ do resultado da experiencia.

Fiz estes differentes calculos numericos, suppondo: 1.º que a acção da terra fôsse a mesma sobre o fluido magnético da esféra magnetisada pela sua influencia, e sobre o fluido pertencente á bussola empregada nas experiencias: 2.º que a acção do fluido da esféra sobre si mesmo, he tambem igual á acção que exerce sobre o da bussola. Era natural ensaiar primeiro estas supposições; as differenças entre o calculo não são assás grandes, para que se seja obrigado a abandonalas; e de mais, se existisse entre estas diversas acções magnéticas, alguma differença de intensidade inherente á differença de materia, de que são formadas, a esféra, e a bussola, as observações, que temos calculado, não seriaõ assás exactas, para constatar este ponto delicado.

Acabaremos este extracto por huma observação, que não deixará de ser util na pratica. O desvio horizontal da bussola, produzido pela influencia da esféra magnetisada, e a razão do numero de oscilações, que ella faz sob esta influencia, ao numero de oscilações, que fazia em virtude da acção unica da terra, encerraõ, nas suas expressões analyticas, a inclinação magnética no lugar, e no instante da observação: igualando então este desvio, e esta razão aos seus valôres dados pela observação para huma posição conhecida da agulha magnetisada, formar-se-hão duas equações, das quizes cada huma poderá servir para calcular a inclinação magnética. Se se faz uso da razão das oscilações, ter-se-ha a vantagem de poder observa-la com exactidaõ, para huma pequena agulha, cuja reacção sobre a esféra magnetisada seja insensível. A equação, que se terá a resolver para della concluir a inclinação magnética, encerrará o diametro da esféra magnetisada, e a distancia do seu centro ao meio da agulha, quantidades, que se poderão medir com exactidaõ. Encerrará tambem os angulos, que fixaõ a direcção da recta tirada do meio da agulha ao centro da esféra; mas tendo cuidado de collocar a

agulha perto da posição, conhecida antes, em que a acção da esfera toca o seu maximo; hum pequeno erro sôbre a direcção desta recta, terá pouca influencia sôbre o valôr da inclinação, que poderá ser determinada, pelo meio, que indicamos, com mais precisão, e facilidade, que pela observação directa. Em huma segunda memoria, determinaremos, segundo as formulas geraes estabelecidas nesta, a distribuição do magnetismo nas agulhas de aço, magnetizadas a saturação, e nas agulhas de ferro, magnetizadas por influencia, donde deduziremos depois as leis das suas attracções, ou repulções mutuas.

Dos circuitos thermoelectricos.

Os circuitos voltaicos, de que até agora temos fallado, são todos compostos de sólidos, e liquidos; porém hoje possuímos circuitos inteiramente sólidos. Seebeck tendo soldado huma á outra pelas extremidades, duas barras de metais diversos, de maneira, que formavaõ hum perimetro fechado, elevando a temperatura de huma das soldas, reconheceo a presença de huma corrente voltaica no circuito, appresentando-o á agulha de declinação. Estes circuitos assim estabelecidos em hum todo sólido, pela differença das temperaturas, he o que chamâmos circuitos thermoelectricos.

Ørsted, e Fourier fizeram sôbre esta especie nova de circuitos hum certo numero de experiencias interessantes, que passaremos a descrever, segundo a nota por elles inserida nos Annaes de Chymica e Physica, Tom. XXII. pag. 375, e seguintes.

Sôbre algumas novas experiencias thermoelectricas feitas pelo Barão Fourier, e Ørsted.

Noticia lida á Academia das Sciencias por Ørsted.

Tive a honra de mostrar a esta Illustre Assembléa, as experiencias notaveis, pelas quaes Seebeck provou, que se podia estabelecer huma corrente electrica em hum circuito exclusivamente formado de conductôres sólidos, alterando sómente nelle o equilibrio de temperatura. Possuímos pois

hum novo genero de circuitos electricos, que se podem chamar *circuitos thermo-electricos*, distinguindo os assim dos circuitos galvanicos, que seria de hoje em diante mais proprio chamar hydro-electricos. Appresenta-se a este respeito huma questãõ, que interessa o electro-magnetismo, e a theoria do do movimento do calôr nos côrpos sólidos. Trata-se de examinar se os effeitos thermo-electricos pôdem ser augmentados pela repetiçãõ alternativa, de barras de diversas materias, e como se deve opperar para obter taes effeitos. Parece, que o author da descoberta do circuito thermo electrico, não tem ainda dirigido as suas indagações para este ponto. Reunimo-nos, o Barão Fourier, e eu para o examinar, pelo caminho da experiencia.

O apparelho, de que primeiramente nos servimos, he composto de tres barras de bismutho, e de outras tres de antimonio, soldadas alternativamente, de maneira, que fôrmem hum hexagono, e que constituãõ hum circuito thermo-electrico complexo, contendo tres elementos. O comprimento das barras he de quasi 12 centimetros, a largura de 15 millimêtros, e a espessura de 4 millimêtros. Pozemos este circuito sôbre dois appôios, e em huma posiçãõ horisontal, dando a hum dos lados do hexagono, a direcçãõ da agulha magnética: collocámos depois huma bussola, na maior proximidade possivel, por baixo deste lado.

Aquecendo huma das soldaduras com a chama de huma véla, produzimos hum effeito já bem sensivel sôbre a agulha. Aquecendo duas soldaduras, que não sejaõ vizinhas, vê-se augmentar consideravelmente o desvio. Em fim quando se eleva a temperatura de tres soldaduras alternativas, chega-se a hum effeito maior.

Servimo-nos tambem do processo inverso, isto he, que reduzimos a zero, pela neve fundindo, a temperatura de huma, ou de muitas soldaduras do circuito. Concebe-se entãõ facilmente, que as soldaduras, que se não tem esfriado, devem ser consideradas, como aquecidas, relativamente ás outras. Esta maneira de opperar permite fazer comparaveis as differentes experiencias; sem isto não se descobririaõ as leis deste genero de phenomenos.

Combinando a acçãõ da neve, com a acçãõ da chama, quero dizer, aquecendo as tres soldaduras, que se não tinhaõ esfriado, chegámos a hum effeito considerabillissimo: o des-

vio da agulha subio entã a 60 grãos. Depois continuámos estas experiencias com hum apparelho, composto de 22 barras de bismutho, e 22 de antimonio, muito mais grossas, quas as do hexagono: convencemo-nos assim, que cada elemento contribue ao effeito total.

Tendo aberto o circuito em hum ponto, fizemos soldar às barras separadas, pequenas capsulas de latao, que foraõ depois cheias de mercurio, a fim de poder estabelecer a vontade, entre as suas extremidades, huma communicação segura, por meio de fios metalicos. Hum fio de cobre de hum decimetro de comprimento, e de hum millimetro de grossura, era quasi sufficiente para restabelecer a communicação inteira: com dois fios semelhantes, postos hum ao lado do outro, a communicação era perfeita. Hum fio do mesmo diametro; mas de hum metro de comprimento, transmittia ainda a corrente, assás bem; em quanto hum fio de platina de hum meio millimetro de diametro, e quatro decimetros de comprimento estabelecia taõ imperfeitamente a communicação, que o desvio da agulha magnetisada, naõ era nem de hum grão. Quando o corpo interposto era huma tira de papel molhada em huma dissolução saturada de soda, naõ se observava effeito algum appreciavel. He digno de reparo, que hum apparelho capaz de produzir taõ grandes effeitos electro-magnéticos, naõ produza, nem acção chymica, nem ignições sensiveis. Podemos ainda ajuntar, que o effeito do circuito electro-magnético complexo, he muito menor, que a somma dos effeitos isoladas, que podião produzir os mesmos elementos, empregados em formar circuitos simples.

SECCÃO VII.

OPTICA.

Noções preliminares.

Quando entre o sol, entre huma estrêla, ou hum facho qualquer, e os nossos olhos, se não acha interposto hum obstaculo proprio a embaraça-la, temos, por meio dos olhos, huma sensação particular, que nos adverte da presença daquelles objectos; sensação, a que damos o nome de *visão*.

Não sómente os corpos; a que vulgarmente chamâmos *luminosos*, ou *brilhantes*, nos fazem assim perceber a sua presença por via dos olhos; mas a maior parte dos corpos nos advertem, por este meio, da sua existencia.

2. O agente, por meio do qual os corpos communicão por este modo com o orgão visual, he o que chamâmos *luz*; e a *optica* he a parte da Physica, cujo objecto he o estudo das propriedades deste agente.

3. Se a luz he, por huma parte, a fonte donde dimanão mil, e mil sensações delectosias; se he este agente, quem especialmente patentêa aos olhos do observador, as mais esplendidas bellezas naturaes, e das artes; se, vencendo com huma rapidez enorme a vastidaõ do espaço, he elle, quem nos põe em relação com os orbes, arredados de nós a distancias incalculaveis; se, instruido, e rectificado pelo uso, he o olho quem nos conduz, tanto para evitar os perigos, que nos cercaõ, como para procurar os objectos, que nos interessão; o estudo deste agente he inegavelmente huma das partes mais interessantes da Physica.

Porém ao mesmo passo he o estudo da luz hum dos mais

arduos, e dos mais difficeis, tanto pela delicadeza das observações, que nesta parte se empregaõ para investigar os phenomenos; como pela sublimidade dos calculos, que nos elevaõ ao conhecimento das leis, de que elles dependem.

Não desenvolveremos estes calculos, nimiamente transcendentos, no presente tratado; mas appresentaremos a optica, despojada de quanto excede os principios superiores, aos que suppozemos nos nossos leitores; procurando com tudo, não fazer perder a esta parte da sciencia, nem o rigôr necessario na demonstraçaõ, nem o interesse, e os desenvolvimentos, que lhe são essenciaes.

4. Entre os corpos, que por meio da luz communicão com os nossos olhos, he facil distinguir duas especies inteiramente distinctas. A primeira destas especies compõe-se dos corpos, que em todas as circumstancias, e sem dependencia de outro algum corpo, são visiveis; taes como o sol, as estrelas, e todas, e quaesquer substancias, cuja temperatura excede o limite do rubro nascente: esta especie de corpos chamaõ-se *luminosos por si mesmos*. A segunda especie compõe-se daquelles corpos, que, sendo visiveis em quanto se achaõ sob a influencia dos corpos luminosos por si mesmos, se tornão invisiveis, logo que sahem daquella influencia; taes são a maior parte das substancias, quando a sua temperatura he inferior ao rubro nascente.

Se em hum local, onde penetra a luz provinda de hum corpo da primeira especie, se achaõ diversos objectos pertencentes á segunda, estes objectos seraõ visiveis; se porém tornamos o local impenetravel á luz, toda a visãõ cessará immediatamente. Prova-se com a mesma facilidade, que não he a influencia do corpo luminoso por si mesmo, sôbre o olho do observador, quem o torna apto para distinguir aquelles objectos; porém sim a influencia sôbre os mesmos objectos; por quanto, o olho, situado em hum lugar claro, não pôde distinguir os objectos collocados na escuridade; quando, pelo contrario, o olho situado na escuridade, distingue perfeitamente os objectos situados em hum espaço alumiado.

Os corpos, pertencentes á segunda especie, chamaõ-se *corpos visiveis pela reflexãõ*.

5. Estabeleceremos ainda outra divisãõ entre os corpos, considerados em relaçaõ á luz, dividindo-os em corpos *diafanos*; e corpos *opacos*.

Em quanto hum certo numero de substancias, interpostas entre hum objecto, e o olho, não prohibem a communição visual entre elles; taes como são os gazes, os vidros, a agoa, e hum grande numero de cristaes; outras substancias, nas mesmas circumstancias, interceptão completamente a visão. Damos ás primeiras o nome de substancias *diafanas*, e ás segundas o nome de substancias *opacas*.

6. Como a natureza já mais caminha por saltos; mas sim por gradações insensíveis; existem entre as substancias eminentemente diafanas, e as substancias eminentemente opacas, hum certo numero de corpos, dotados de maior, ou menor diafaneidade, e de huma opacidade menos, ou mais completa. Estes corpos, que fazem a transição da opacidade á diafaneidade, tem o nome de *translucidos*.

7. Resumindo, o que fica exposto, he facil achar quaes são as condições essenciaes, para que a visão pôssa ter lugar; do mesmo modo, que na acustica fixámos as condições essenciaes para a realisação da audição.

Para que haja visão, são necessarias as condições seguintes.

1.^a Hum objecto luminoso por si mesmo, ou hum objecto luminoso pela reflexão, submettido á influencia daquelle.

2.^a Hum meio diafano, ou ao menos translucido, em que a luz pôssa propagar-se.

3.^a Finalmente hum orgão proprio para receber a sensação; isto he, hum olho, correspondendo com o objecto.

Propagação da luz, e sua natureza.

8. A primeira lei, que a observação nos mostra, quando examinamos a marcha da luz desde o objecto luminoso até ao olho, he o fazer-se esta propagação em linha recta. Mil experiencias diarias nos conduzem todos os dias a esta conclusão: se, *v. g.*, collocamos no mesmo plano diferentes fios opacos, o olho, que estiver situado no mesmo plano, que elles, não poderá distinguir senão o primeiro fio, e todos os outros ficarão por elle encubertos; se porém o olho se desviar do plano dos fios, a visão de todos elles terá lugar.

A recta, percorrida pela luz, inde de hum ponto ao outro, chama-se hum *raio de luz*.

9. Adiante veremos, que para que a luz se propague em

humã direcção rigorosamente rectilínea, he necessario, que a propagação tenha lugar no vácuo, ou em hum meio homogêneo, ou finalmente, que o raio de luz atravesse, perpendicularmente ás superficies, que os separão, strictos heterogêneos. Em outras quaesquer circumstancias, os raios de luz soffrem certas inflexões, cuja determinação he hum dos principaes objectos da optica.

10. Qualquer que seja o meio, por que a luz se propaga no espaço, esta propagação exige hum certo tempo, ou, por outras palavras, a velocidade de propagação da luz tem hum valor finito. Esta velocidade, postoque finita, e susceptivel de avaliação; he porém assás consideravel, para não poder ser determinada, como a do som, empregando distancias, tomadas na superficie da terra; por quanto as maiores distancias, que nella podemos tomar, são percorridas pela luz em hum tempo inapprecivel.

Para calcular a velocidade de propagação da luz, he necessario recorrer a distancias, muito mais consideraveis, que o comprimento do diametro terrestre. A astronomia, dándonos o conhecimento de semelhantes distancias, nos permite fazer este calculo; e Roëmer, e Cassini achárao aquella velocidade pela observação dos eclipses do primeiro satellite de Jupiter.

11. Os satellites de Jupiter são orbes opacos, que só brilham em virtude da luz recebida do sol, da mesma maneira, que o satellite da terra, a que chamamos *lua*. O planeta Jupiter he igualmente hum globo opaco; e como o seu diametro he menor, que o do sol, que o alumia, este planeta produz no espaço humã pyramide conica, privada de luz, cuja base existe no planeta, e o vertice em humã certa distancia do mesmo planeta para o lado opposto ao sol. Quando o primeiro satellite chega a hum ponto da sua orbita, situado na pyramide escura, cessa de ser visivel; e pelo contrario torna-se de novo visivel quando chega ao limite opposto da pyramide escura.

He claro, que se a luz em propagar-se desde o satellite até ao olho de hum observador, situado na terra, empregar hum tempo sensivel, medeará hum certo intervalo de tempo entre o instante physico da emersão, ou sahida do satellite da pyramide escura, e a sua reaparição aos olhos do observador; e se a distancia do observador ao satellite, soffrer varia-

ções consideráveis, o intervalo de tempo entre o instante physico da emersão do satellite, e o da sua reaparição, será differente.

Fundados nesta consideração, Roëmer, e Cassini observarão, que quando a terra T se acha na mesma recta entre Jupiter, e o Sol, o tempo, decortido desde o fim de hum eclipse do primeiro satellite, ao fim do eclipse seguinte, he de $42^h 30'$ proximamente. Supponhamos agora a terra em T' , ponto opposto ao ponto T da sua orbita; he claro, que para ter o instante do fim de hum eclipse do primeiro satellite, deveremos addicionar á epocha da emersão, observada de T , tantas vezes $42^h 30'$, quantos eclipses tiverão lugar, desde aquella observação até á chegada da terra a T' . Comparando porém a epocha da emersão, assim calculada, com a epocha da mesma emersão, observada de T' , acharemos, que a observação retarda $16'$ proximamente sobre o calculo; o que nos mostra, que a luz emprega proximamente $16'$ em percorrer o diametro TT' da orbita terrestre, differença das distancias entre o observador, e o satellite em huma, e outra observação; e como este diametro he de 7000000 legoas, segue-se, que a luz percorre 7000000 de legoas em $16'$, ou 4375000 legoas por minuto proximamente.

12. Além dos eclipses dos satellites de Jupiter, tão judiciosamente applicados por Cassini, e o Roëmer á determinação da velocidade de propagação da luz; outro phenomeno astronomico, a aberração das estréllas fixas, rigorosamente explicado Bradley, nos confirma o resultado achado, e prova a hum tempo a transmissão progressiva da luz, e a realidade do movimento da terra na sua orbita.

13. A aberração das estréllas fixas consiste em huma illusão optica, que nos faz parecer, que estes astros, soffrem huma variação de posição no espaço, terminando no fim de hum dado tempo, revoluções circulares em tórno de hum ponto. Este movimento apparente das estréllas não pôde ser devido, ao que os Astronomos chamaõ *paralaxe annua*, para a existencia da qual he necessario, que duas rectas, tiradas do astro a dois pontos diversos da orbita terrestre, fôrmem entre si hum angulo sensivel, o que não tem lugar para as estréllas fixas, cuja distancia á terra he tal, que perante ella he sensivelmente nullo o diametro da orbita terrestre.

Tomando, para a questão, que nos occupa, o phenome-

Fig. 1.^a

no da aberraçãõ no caso o menos complicado; consideraremos a aberraçãõ de huma estrêlla situada no pólo da ecliptica. Neste caso a aberraçãõ nos figura a estrêlla como descrevendo em tôrno do pólo da ecliptica, hum circulo, cujo raio he de $20''$, o sentido do movimento da estrêlla neste circulo, he o mesmo, que o do movimento da terra na sua orbita, e a duraçãõ da revoluçãõ da estrêlla, a mesma, que a do movimento annual da terra. Taes são as apparencias observadas; vejamos o que ellas nos ensinaõ, segundo a doutrina de Bradley.

Fig. 2.^a

14. Supponha-se hum raio de luz partindo do ponto S para o olho situado em O , e movendo-se com a velocidade SO . Supponha-se igualmente, que o olho O se move continuamente no sentido OO' , e com a velocidade OO' . He claro, que o olho, quando pelo seu movimento chega ao ponto O , percute o raio luminoso na direcçãõ, e com a velocidade de OO' , o que produzirá sôbre o olho o mesmo effeito, que se fôra percutido pelo raio de luz, com a mesma velocidade, e na direcçãõ oppôsta $O'O$. Mas a luz, que se move na direcçãõ SO com a velocidade SO , percutirá nesta direcçãõ, e com esta velocidade o olho chegado a O : logo o olho será simultaneamente percutido pelas forças SO , e $O'O$, e compondo as ditas forças na resultante $S'O$, o olho receberá, em virtude do seu proprio movimento, e do movimento da luz, a mesma impressãõ, que, se estando fixo, lhe chega-se a luz por hum raio $S'O$, e com a velocidade $S'O$.

Fig. 3.^a

Isto posto, seja E o lugar verdadeiro de huma estrellã, situada no pólo da ecliptica, ou orbita da terra $ABCD$. O olho do observador, que se acha em A , ao mesmo tempo, que he percutido pela luz, que lhe vem da estrellã ao longo do raio EA , percute elle mesmo a luz com a velocidade, e segundo a direcçãõ AB , que tem ao longo da orbita terrestre: e por tanto o lugar apparente da estrellã será para o observador o lugar E' , situado na extremidade da resultante. Quando o olho vier de C para D na parte oppôsta da ecliptica, o lugar apparente da estrêlla será, pelas mesmas razões, E'' , situado do outro lado de E , do mesmo modo, que E' o está do seu lado: logo a estrêlla E , parecerá ao observador terrestre descrever hum circulo em tôrno do seu lugar verdadeiro, no tempo em que elle observador descreve a orbita terrestre, e o raio deste circulo, medido pelo angulo

EAE' ; dependerá da relação entre a velocidade da luz, e a da terra ao longo da sua orbita. Mas no triangulo EAE' , rectangulo em E , conhecemos o angulo $A = 20''$, e o lado AB , velocidade da terra ao longo da sua orbita, poderemos pois calcular EA , isto he, a velocidade da luz, que parte da estrêlla. Os resultados deste calculo concordão com os resultados, tirados da observação dos eclipses do primeiro satellite de Jupiter, e são por conseguinte humã confirmação daquelles resultados.

15. A direcção, em que a luz se propaga, no vácuo, ou nos meios homogeneos, e a sua velocidade de propagação de hum a outro ponto, são, como acabamos de vêr, susceptiveis de huma determinação rigorosa; não acontece porém assim, quando pretendêmos elevar-nos ao conhecimento da maneira, pela qual a luz he produzida; isto he, quando pretendêmos conhecer a natureza physica deste agente.

16. Duas hypotheses principaes tem sido feitas sôbre a natureza da luz. Descartes suppôz, que a luz era hum movimento vibratorio, communicado ás molléculas de hum fluido subtil, espalhado no espaço, e transmittido do objecto ao olho, do mesmo modo, que o som, do côrpo soante ao ouvido. Euler adoptou a hypothese de Descartes, accrescentando, como propriedade essencial do fluido luminoso, ao qual deo o nome de *Ether*, huma grande elasticidade. Huygens seguiu a mesma supposição com pequenas modificações.

17. Newton porém, considerou a luz como o resultado de huma emissão real de molléculas, que partem em todas as direcções de cada ponto luminoso; molléculas de huma tenuidade infinita, relativamente a todos os nossos termos de comparação, e dotadas de huma velocidade, igual áquella, que observamos na luz.

18. Na hypothese das ondulações, hum raio de luz não he mais, que huma serie de condensações, e rarefações do ether, ao longo de huma recta, normal á onda luminosa. Na hypothese de Newton, cada raio de luz he huma fila de molléculas tenuissimas, correndo humas apoz as outras ao longo de huma recta.

Para explicar nesta hypothese a maneira, pela qual huma infinidade de raios de luz pôdem cruzar-se em todos os sentidos, sem confundir-se; he necessario admittir de mais, que as molléculas luminosas, que constituem os raios, são

separadas por intervalos muito mais consideraveis, que as dimensões de cada huma dellas.

19. No estado actual dos conhecimentos opticos, não he ainda possivel decidir absolutamente entre estas hypotheses. O maior numero de phenomenos explicaõ-se com igual rigôr em huma, como na outra; e nenhuma dellas envolve contradicção, ou objecção sólida, que possa obrigar a rejeita-la.

Para seguir porém huma vereda constante, e hum methodo uniforme na explicação dos phenomenos, seremos obrigados a escolher huma destas hypotheses, e preferimos a Newtoniana; por nos parecerem nella as explicações mais claras, especialmente para os principiantes, a quem o nosso trabalho he destinado; advertindo porém, que por esta escôlha, nada pertendemos inferir sôbre o modo physico, por que realmente se opperaõ os phenomenos.

20. Adoptada a hypothese de Newton, devemos responder a duas objecções, que repetidas por todos os antagonistas desta doutrina, poderiaõ, a primeira vista, parecer poderosas ao principiante. Consistem estas objecções em tratar de mui improvavel, que molléculas materiaes, se achem animadas da velocidade enorme de translação, que observamos na luz; e em observar, que emittindo os côrpos luminosos, como o sol, e as estréllas, em cada instante huma torrente immensa de molléculas de luz, a sua massa deveria ser alterada, o que he contrario á observação.

A primeira destas objecções, depende evidentemente de hum prejuizo, filho do habito, que temos de julgar de todas, e quaesquer grandezas, por comparação com aquellas grandezas, que nos são familiares; e de introduzir, por assim dizermos, as nossas forças por termo de comparação com as forças da natureza. Com effeito, nada he grande, nem pequeno em si mesmo; mas só relativamente ao objecto, com que se compara; e a velocidade das molléculas luminosas, enorme sem dúvida relativamente ás velocidades, que estamos habituados a encontrar nos môveis; não he nem impossivel, nem mesmo difficil de conceber, para a razaõ despojada daquelle prejuizo, e conhecedora de quanto as forças, que regem o universo, são superiores ás tennes faculdades, com que a mesma natureza dotou o homem.

A segunda objecção destrôe-se pela hypothese mesma de

Newton; por quanto, sendo a massa de cada mollécula luminosa infinitamente pequena relativamente a qualquer massa sensível, só no fim de hum tempo infinito, he que a emissão de huma quantidade qualquer de taes molléculas, pôde alterar sensivelmente qualquer massa.

Lei da propagação da luz nos meios homogêneos.

21. Conformemente á hypothese adoptada, cada ponto luminoso deve ser concebido como centro de huma esfera de raios de luz, que partindo daquelle ponto em todas as direcções, se espalhão indefinidamente no espaço, ou até encontrarem corpos opacos, que interrompaõ a sua marcha.

22. Daqui resulta, que em hum meio homogêneo, e perfeitamente diafano, a luz deve seguir na sua intensidade a razão reciproca dos quadrados das distancias ao ponto luminoso; assim como o som, as acções attractivas, e em geral, quaesquer emanações esféricas, que partirem de hum ponto.

Este principio, ou lei da propagação da luz nos meios homogêneos, nos fornece o meio de comparar entre si a intensidade de luz de dois focos quaesquer.

Se v. g. quizermos comparar a intensidade de luz de duas vélas, formadas de materias diversas: tomaremos hum stilete vertical opaco AB , elevado sôbre a base branca OO' , e no mesmo plano do stilete situaremos as duas vélas da mesma altura D , e C , cada huma de seu lado, e fixando huma das vélas D em huma distancia fixa do stilete, afastaremos, ou aproximaremos a véla C , até que as sombras do stilete de hum, e outro lado sejaõ da mesma intensidade, o que resulta da igualdade de intensidade da luz de D , e de C , relativamente ao stilete; e mediremos neste estado a distancia CB .

Se entãõ designamos por I a intensidade da luz de C , e por I' a intensidade da luz de D , na unidade de distancia, as intensidades destas luzes, na distancia, em que se acha o stilete; seraõ - - - - -

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Para } C \text{ - - - - - } \frac{I}{CB^2} \\ \text{Para } D \text{ - - - - - } \frac{I'}{DB^2} \end{array} \right.$$

mas as intensidades, na posição, que demos ás vélas, relativamente ao stilote, são iguaes: logo teremos - - - - -

$$\frac{I}{CB^2} = \frac{I'}{DB^2}$$

ou

$$I : I' :: CB^2 : DB^2.$$

23. Para que a lei de enfraquecimento da luz, que parte de hum ponto, seja a indicada, he necessario, que o meio, em que ella se propaga, seja, como dissémos, não sómente homogéneo; mas perfeitamente diafano; por quanto, se a diafaneidade do meio não fór absoluta, a lei do enfraquecimento será outra.

Para achar esta nova lei, começemos por conceber a propagação de hum cylindro de raios de luz parallellos entre si. He claro, que em hum meio absolutamente diafano, huma similhante luz não poderia enfraquecer-se com a distancia. Seja porém o meio de huma diafaneidade imperfeita, e tal, que hum stracto deste meio da espessura 1 intercepte $\frac{1}{n}$ do numero de raios, que tendem a atravessa-lo. Depois de atravessar hum similhante stracto o cylindro de luz, só terá a intensidade - - - - -

$$I - \frac{1}{n} = \frac{n-1}{n}.$$

Continuando a propagar-se em hum novo stracto similhante ao primeiro, este interceptará ainda $\frac{1}{n}$ dos raios, que tendem a atravessa-lo: logo, ao sahir daquelle stracto, o cylindro de luz se achará reduzido á intensidade - - - - -

$$\frac{n-1}{n} - \frac{n-1}{n} = \frac{(n-1)^2}{n^2}.$$

Quando a luz, continuando a atravessar stractos sempre

similhantes, houver chegado a hum stracto m , a sua intensidade achar-se-ha reduzida a

$$\frac{(n-1)^m}{n^m};$$

sendo n huma quantidade constante, dependente da natureza, e da densidade do meio, que a luz atravessa.

Conhecida assim a lei de enfraquecimento da luz, supposta propagando-se em raios paralelos; quando o meio tem huma diafaneidade imperfeita; para passarmos a ter nesta hypothese a lei do enfraquecimento da luz emanada de hum ponto, notaremos; que huma similhante luz tem nos meios diafanos, em distancias entre si differentes de huma unidade, as intensidades, representadas pelos termos da serie seguinte

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Distancias} \quad - \quad - \quad - \quad 1 \quad - \quad - \quad 2 \quad - \quad - \quad 3 \quad - \quad - \quad m \\ \text{Intensidades} \quad - \quad - \quad - \quad 1 \quad - \quad - \quad \frac{1}{4} \quad - \quad - \quad \frac{1}{9} \quad - \quad - \quad \frac{1}{m^2} \end{array} \right.$$

A luz supposta paralela, propagando-se em meios imperfeitamente diafanos, enfraquece-se, como os termos da serie seguinte

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Distancias} \quad - \quad - \quad 1 \quad - \quad - \quad 2 \quad - \quad - \quad 3 \quad - \quad - \quad m \\ \text{Intensidades} \quad - \quad \frac{n-1}{n} \quad - \quad \frac{(n-1)^2}{n^2} \quad - \quad \frac{(n-1)^3}{n^3} \quad - \quad \frac{(n-1)^m}{n^m} \end{array} \right.$$

Reunindo pois as duas causas de enfraquecimento, a lei procurada será representada pela serie seguinte

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Distancias} \quad - \quad - \quad 1 \quad - \quad - \quad 2 \quad - \quad - \quad 3 \quad - \quad - \quad m \\ \text{Intensidades} \quad - \quad \frac{n-1}{n} \quad - \quad \frac{(n-1)^2}{4n^2} \quad - \quad \frac{(n-1)^3}{9n^3} \quad - \quad \frac{(n-1)^m}{m^2 \cdot n^m} \end{array} \right.$$

Das imagens formadas na camara escura, e das sombras.

24. Se na parêde de huma camara completamente escura abrimos hum pequeno orificio, de huma figura qualquer, e na parte exterior se achar hum ponto luminoso; os raios, que deste ponto partirem contra a parêde, em que he practicado o orificio, serão por ella interceptados; á excepção

daquelles, que razarem as bordas do orificio, e os que entre estes se comprehenderem. Penetrará por tanto na camara hum feixe de raios, que formará o prolongamento de huma pyramide, cujo vertice será o ponto luminoso, e a base á superficie do orificio.

Se a este feixe de raios, que penetra na camara escura, appresentarmos hum plano paralelo ao do orificio, os raios de luz illuminarão neste plano hum espaço, semelhante em figura ao mesmo orificio; por isso, que todas as secções de huma pyramide, por planos paralelos entre si, são figuras semelhantes. As grandezas porém destas imagens crescerão á medida, que o plano se afastar do orificio. As imagens terão sempre o mesmo numero de lados, que o orificio, qualquer que seja a direcção do plano, em que as recebermos; mas a relação dos lados entre si só será a mesma, que no orificio, no caso do parallelismos, acima indicado.

25. Se em vez de ser illuminado por hum ponto luminoso; o orificio o fôr por hum corpo de dimensões sensiveis, v.g., pelo sol; produzir-se-hão phenomenos diversos dos precedentes; porém dependentes daquelles, e igualmente faceis de prever pela theoria.

Se o orificio fôsse rigorosamente hum ponto; os raios, enviados de cada hum dos pontos do disco solar ao orificio, formariao na parte exterior da camara huma pyramide, que tendo o vertice no orificio, teria por base o disco solar. Os diferentes raios, continuando a sua marcha rectilinea no interior da camara escura, cruzar-se-hião no orificio, e formariao na camara huma pyramide cônica, semelhante á primeira; porém inversa; isto he, a parte superior do disco solar seria a inferior da imagem interna, a parte direita daquelle á esquerda desta, &c. Hum plano situado na camara, a huma distancia qualquer do orificio, e perpendicularmente ao eixo da pyramide, interceptaria huma imagem circular, tanto maior, quanto estivesse a maior distancia, e esta imagem seria elyptica, quando o plano fôsse obliquo ao eixo da pyramide.

26. Para acharmos agora, o que deve acontecer, quando o orificio, em vez de ser hum ponto, tiver dimensões sensiveis, como acontecerá sempre na practica, deveremos considerar hum orificio extenso como huma reuniao de orificios iguaes a pontos, cada hum dos quaes dará huma imagem cir-

cular do sol sôbre o plano perpendicular ao eixo, e huma imagem elyptica sôbre o plano obliquo a elle.

E considerando então: 1.º, que sendo o diametro do orificio sempre infinitamente pequeno, relativamente á distancia ao sol, os eixos de todas as pyramides, formadas em cada hum dos pontos do orificio, são entre si parallellos. 2.º Que sendo o diametro medio do sol de 32', he claro, que os apotêmas das pyramides cónicas, que penetraõ por cada ponto do orificio, se confundem sensivelmente com os seus eixos. Daqui resulta, que, se recebermos a luz, que penêtra pelo orificio em hum plano mui proximo a elle, e parallello á sua superficie, a figura da imagem será a figura do orificio; por quanto será sensivelmente a mesma, que se fôra produzida por hum feixe de raios parallellos, razando as extremidades do mesmo orificio.

Quando porém o plano, em que recebemos a luz, distar mais consideravelmente do orificio, os apotêmas das pyramides, formadas em cada hum dos seus pontos, cessaraõ de confundir-se sensivelmente com os eixos dellas, e a imagem será composta das bases de todas estas pyramides, sôbrepostas em parte humas ás outras: e como estas bases são circulares, ou elypticas, segundò a posição do plano, as circumferencias das bases extremas confundindo-se entre si, tornaõ sensivelmente circular, ou oval a imagem total, qualquer que seja a figura do orificio.

27. Assim como o orificio, aberto na parêde de huma camera escura, deixa penetrar no interiôr della hum feixe de raios de luz, que interrompem a escuridade do local; assim tambem hum côrpo opáco, situado em hum espaço alumiado, interceptandò os raios de luz, que incidem na sua superficie, deve deixar apòs si, para o lado opposto áquelle donde vem a luz, hum espaço escuro, a que se dá o nome de *sombra do côrpo*.

28. A propagação da luz em linhas rectas, nos permite achar, por simplicés considerações geometricas, a figura, e a extensão da sombra de hum côrpo, quando conhecemos a figura do côrpo opáco, a figura, e a grandeza do côrpo, que o alumia, e a distancia, que sepára estes dois côrpos.

He facil vêr, por exemplo, que se o côrpo luminoso, e o côrpo opáco fôrem duas esfêras do mesmo diametro, a sombra será hum cylindro, cuja base terá o mesmo diametro

das esferas, e metade do corpo luminoso illuminará metade do corpo opáco.

Se porém a esfera illuminante fôr maior, que a esfera opáca, a sombra será huma pyramide cônica, cujo vertice estará tanto mais proximo do corpo opáco, quanto fôr maior a differença entre as esferas, e menor a distancia, que as separa; e neste caso, menos de metade da esfera luminosa, illuminará mais de metade da esfera opáca.

Pelo contrario, quando o corpo luminoso fôr menor, que o corpo opáco, a sombra será huma pyramide cônica truncada indeffinida; e neste caso, mais de metade do corpo luminoso illuminará menos de metade do corpo opáco.

29. Quando o espaço he alumiado por hum ponto luminoso, a sombra de hum corpo he rigorosamente determinada, e a passagem da sombra á luz, rigorosamente instantanea; parecendo a sombra tanto mais escura, quanto he mais forte, e intensa a luz, que dimana do ponto luminoso; por ser maior, com a intensidade della, o contraste, entre os espaços escuro, e alumiado.

30. Quando o espaço he alumiado por hum corpo luminoso de hum diametro sensivel, como v.g., pelo sol, a passagem da sombra á luz plêna, he gradual, e successiva, e a sombra desvanece-se gradualmente, a partir de hum certo limite, até á perfeita claridade.

Fig. 5.^a Seja hum espaço alumiado pela esfera luminosa *A*, cujo diametro he *ab*. A sombra pura do corpo opáco *B*, será a pyramide conica *a'cb'*, na qual não penetrará raio algum de luz, partido de *A*. A medida porém, que sahimos fóra desta sombra, v.g., para a parte superior, o raio partido de *a* poderá ser visivel; mas não o serão ainda os raios inferiores do disco illuminante da esfera *A*. Continuando a affastar-nos da sombra no mesmo sentido, descobriremos cada vez maior parte do disco illuminante, e a intensidade de luz hirá crescendo, até que, chegados a hum ponto *b''*, em que o raio *bb''* he tangente á superficie de *B*, descobriremos todo o disco illuminante, e teremos a luz em toda a sua plenitude.

Este espaço occupado por huma luz decrescente, a partir da plêna claridade até á sombra pura, chama-se a *penumbra dos corpos*, e he evidente, que simples considerações geometricas, bastão para achar em qualquer caso proposto,

os limites da penumbra, assim como os extremos da sombra pura.

31. Como a penumbra nas visinhanças da sombra pura, se confunde facilmente com ella, e que além disto a penumbra tem huma intensidade variavel em toda a sua extensão, a presença della produz em certas observações, difficuldades, que só hum grande habito ensina a vencer perfeitamente.

Nos eclipses de lua, quando pertendemos observar o momento da imersão, e da emersão das diversas manchas da lua na sombra da terra, se tomamos por sombra pura a parte a mais escura da penumbra, as imersões serão acceleradas, e retardadas as emersões. Por isso limitaõ-se os Astronomos a fixar huma certa gradação de luz, e a observar os instantes das imersões, e das emersões naquella gradação: corrigindo assim os erros da observação pela observação mesma; por quanto, se a gradação escolhida he diversa da sombra pura, a acceleraçãõ das imersões será compensada pela retardação igual das emersões, quando por estas observações se pertende calcular, como sempre se faz, o instante do meio do eclipse. Consiste por tanto a unica difficuldade destas observações, em determinar á vista huma gradação de luz constante em todo o decurso das observações; o que se consegue com a practica dellas.

Lei geral da Reflexão.

32. Se ao feixe de raios de luz, que penetraõ pelo orificio da camara escura, apresentamos a superficie de hum côrpo; confôrme este fôr polido, ou escabroso, diafano, ou opáco, manifestar-se-hão phenomenos diversos.

33. Se o côrpo fôr escabroso, a parte da superficie, em que incidirem os raios de luz, será visivel igualmente de todos os pontos da camara escura, em que o observador pôssa situar-se: o que nos mostra, que a luz incidindo em huma superficie escabrosa, he em parte absorvida, e em parte irregularmente reflectida em todas as direcções.

34. Se, sendo o côrpo opáco, a sua superficie fôr cuidadosamente polida, haverá huma direcção unica, na qual o observador receberá com huma grande viveza, e claridade, a imagem do orificio, que a superficie polida lhe enviará com huma perfeita regularidade, em quanto olhando a super-

ficie em outra qualquer direcção, vê-la-ha tão sómente illu-
minada, á maneira das superficies escabrosas. Daqui se vê,
que a luz incidindo na superficie polida de hum corpo opá-
co, he em parte obsorvida, em parte regularmente reflecti-
da, e reflectida irregularmente em parte.

A reflexão, que tem lugar em huma direcção determi-
nada, chama-se *reflexão especular*.

35. Se finalmente o corpo fôr diafano, e a sua superficie
especular, o observador verá, parte da luz reflectida irregu-
larmente, outra parte della reflectida especularmente, e outra
parte finalmente atravessar o corpo, humas vezes sahindo
delle em huma só, e outras vezes em duas direcções di-
versas.

36. O estudo dos phenomenos produzidos pela reflexão da
luz nas supercies polidas, e dos phenomenos, que appresenta
a luz, que atravessa os corpos diafanos, constituem os dois
ramos da optica, que os Physicos distinguem pelos nomes de
Catoptrica, e *Diopirica*.

37. A reflexão irregular não he sujeita a lei alguma re-
gular; porém a reflexão especular reconhece huma lei cons-
tante, qualquer que seja a natureza da superficie, sôbre que
a referida reflexão tenha lugar. Esta lei encerra-se nas pro-
posições seguintes.

1.^a Quando hum raio de luz, incidindo sôbre hum plano, he
por elle reflectido, os raios directo, e reflexo, e a normal ao pla-
no no ponto da incidencia, são sempre comprehendidos em hum
mesmo plano.

2.^a Quando hum raio de luz, incidindo sôbre hum plano, he
por elle reflectido, os raios directo, e reflexo fórmaõ angulos iguaes
com a normal ao plano no ponto da incidencia.

38. Para verificar esta lei, observaremos a reflexão da
luz sôbre huma superficie plana; sendo evidente, que a re-
flexão em cada ponto de huma superficie curva, vista a te-
nuidade extrema dos raios de luz, se pôde considerar como
feita sôbre hum plano, tangente á curva no ponto, que se
considera.

Fig. 6.^a Tomaremos, por tanto, hum semicirculo graduado *ABC*,
sustentado sôbre hum pé, e unido a elle de maneira, que o
seu plano pôssa dirigir-se á vontade n'hum plano qualquer.
No centro do semicirculo fixaremos huma superficie plana
especular *ab*, dirigida segundo o diametro *AC* do semicirculo.

culo, e perpendicular ao seu plano. No limbo ABC haverá os dois cursôres móveis r , e i , elevando, perpendicularmente ao plano ABC , duas laminas opacas, cada huma com hum orificio, igualmente elevados acima do plano do limbo. A superficie especular ab , cobrir-se-ha com huma lamina despolida, aberta sómente no ponto, em que incide a perpendicular á superficie, abaixada de hum ponto tão distante do limbo, como o são os orificios dos cursôres, e correspondente ao ponto B marcado 90° no limbo.

Em virtude desta disposição do aparelho, he evidente, que os orificios dos cursôres, e o ponto descoberto da superficie especular, estão situados no mesmo plano, e que a perpendicular BD será normal á superficie especular no ponto, em que esta se acha descoberta.

Assim construido o aparelho, fixem-se os cursôres r , e i em distancias angulares iguaes, de hum, e outro lado de B , e situando o limbo do instrumento no plano do ponto luminoso; que se observa, faça-se girar de modo, que hum raio de luz, penetrando pelo orificio do cursôr i , se dirija ao ponto descoberto D do espelho central ab . O olho, situado no orificio do cursôr r , verá a imagem regular, e brilhante do ponto luminoso; o que não poderá fazer em qualquer outra posição, na qual só receberá do ponto D a luz reflectida irregularmente: logo o raio incidente iD , reflecte-se por Dr ; porém os pontos i , D , e r estão no mesmo plano da normal BD ; e além disto, os angulos iDB , e EDr são iguaes: logo esta experiencia demonstra a lei da reflexão acima indicada.

39. Desta lei se segue, que a distancia angular entre as imagens directa, e reflexa de hum côrpo luminoso; isto he, o angulo iDr he sempre igual a $iDB + BD\hat{r} = 2.iDB$, quer dizer, ao dôbro da incidencia. Designando pois esta distancia angular por D , e a incidencia por I , teremos em geral -

$$D = 2I.$$

Suppondo agora, que pela variação de posição do ponto luminoso, ou por huma rotação da lamina especular, o angulo I da incidencia se torna em I' ; a nova distancia entre as imagens, será

$$D' = 2I';$$

e por tanto a variação angular da distancia entre o ponto, e a sua imagem, será - - - - -

$$D' - D = 2I' - 2I = 2(I' - I),$$

o que se exprime na proposição seguinte.

Quando o ponto luminoso descreve hum arco qualquer, a imagem descreve hum arco igual; se porém a lamina especular gira em torno do ponto da incidencia, os arcos descriptos pela imagem são duplos dos arcos descriptos pela lamina.

Nesta proposição se funda a construcção de varios instrumentos, como v. g., do oitante de reflexão, em cujo limbo cada grão de variação, na posição da imagem, corresponde a meio grão de variação da alidade no limbo do instrumento.

Aplicação da lei da reflexão aos espelhos de figuras diversas.

40. Postoque a lei geral da reflexão, acima achada, seja sufficiente para achar, ou por construcções graficas, ou por expressões analyticas, todas as circumstancias, apresentadas pelos raios de luz reflectidos em superficies de figuras quaesquer, as quaes damos o nome de *espelhos*; com tudo, como os espelhos plano, e esferico tem nas observações frequentes applicações; desenvolveremos aqui os principaes phenomenos, que estas especies de espelhos nos apresentão.

Fig. 7.^a

41. Se imaginarmos dois pontos luminosos S , e S' , situados diante do espelho plano AB , e enviando a este espelho dois raios parallelos SE , e $S'E'$; a fim de termos as direcções dos raios reflexos, levantaremos nos pontos E , e E' as normaes EN , e $E'N'$ ao plano do espelho, e formando os angulos NER , e $N'E'R'$ iguaes aos angulos SEN , e $S'E'N'$, ER , e $E'R'$ seraõ as direcções dos raios reflexos.

Por serem parallelos os raios incidentes SE , e $S'E'$ os angulos AES , e $AE'S'$ seraõ iguaes, e por tanto iguaes os seus complementos SEN , e $S'E'N'$, e do mesmo modo iguaes NER , e $N'E'R'$, e por tanto iguaes os seus complementos REB , e $R'E'B$; consequentemente sera ER parallela a $E'R'$: logo - - - - -

Os raios, que incidem parallelos em huma superficie especular plana, reflectem-se parallelos.

Fig. 8.^a

42. Imaginemos agora, que, ficando fixa a origem S do

raio SE , a origem S' do raio directo $S'E'$ se móve para hum ponto S'' , no qual caso o angulo $ES''E'$ méde a divergencia dos raios incidentes. Levantem-se as normaes EN , e $E'N'$ ao plano especular nos pontos E , e E' das incidencias, e fação-se os angulos NER , e $N'E'R'$ iguaes aos angulos SEN , e $S'E'N'$, as rectas ER , e $E'R'$ seráo os raios reflexos, e se tirarmos $E'O$ parallela a ER , o angulo $OE'R'$ será a medida da divergencia dos raios reflexos.

A lei geral da reflexão dá as seguintes equações.

$$S''EA = REB, \text{ e } S''EA = R'E'B.$$

O parallelismo das rectas RE , e OE' , dá - - - =

$$REB = OE'B:$$

logo

$$S''EA = OE'B.$$

No triangulo $S''E'E$ temos o angulo externo - - - =

$$S''EA = S''E'A + ES''E':$$

logo será

$$OE'B = S''E'A + ES''E';$$

mas

$$S''E'A = R'E'B:$$

logo

$$OE'B = R'E'B + ES''E';$$

mas

$$OE'B = R'E'B + OE'R':$$

logo

$$OE'R' = ES''E';$$

isto he,

Os raios, que incidem divergentes em huma superficie especular plana, reflectem-se com a mesma divergencia.

43. Se os raios SE , e $S'E'$ incidirem convergentes na superficie especular AB , e tirarmos PE parallela a $S'E$, o angulo PES será a medida da convergencia dos raios incidentes SE , e $S'E'$.

Levantemos nos pontos E , e E' as normaes EN , e $E'N'$ á superficie especular, e fazendo os angulos NER , e $N'E'R'$

iguales aos angulos SEN , e $S'E'N'$, as rectas ER , e $E'R'$ serao os raios reflexos, e conduzindo EP' parallela a $E'R'$, o angulo REP' sera a medida da divergencia dos raios reflexos ER , e $E'R'$.

Por ser PE parallela a $S'E$, e pela lei da reflexao, sera - - - - -

$$PEA = S'E'A = R'E'B.$$

Do mesmo modo por ser $P'E$ parallela a $E'R$, sera - - -

$$P'EB = R'E'B:$$

logo

$$PEA = P'EB,$$

ou

$$SEA + PES = REB + P'ER;$$

porém a lei da reflexao da

$$SEA = REB:$$

logo

$$PES = P'ER;$$

isto he,

Quando dois raios incidem convergentes em huma superficie especular plana, reflectem-se com a mesma convergencia.

44. Reunindo pois os principios, demonstrados nos tres ultimos §§, teremos para a reflexao nos espelhos planos a seguinte lei.

A reflexao dos raios de luz nas superficies planas muda a direccao dos raios, sem alterar a sua inclinacao reciproca.

Fig. 10.^a

45. Imaginemos agora hum ponto luminoso S emittindo raios luminosos em todos os sentidos, concebamos defronte deste corpo o espelho plano indefinido AB , e o olho de hum observador situado em O .

Os raios divergentes, que partindo de S incidem na superficie especular plana AB , reflectir-se-hao com a mesma divergencia, e por tanto haverá hum feixe SEE' de raios, que pela reflexao formarao a piramide conica truncada $EE'o'o'$, cuja base menor sera EE' no espelho, e a base maior a abertura oo' da pupila do olho O . He huma propriedade do olho ver os objectos na direccao dos raios, que entrao pela pupila, e por tanto o olho O vera o objecto S em

S' , vertice da piramide conica $oo'S'$, truncada em EE' pela superficie do espelho.

Pela lei da reflexão teremos

$$SE'E = o'E'B;$$

mas

$$o'E'B = EE'S':$$

logo

$$S'E'E = EE'S'.$$

Pelo principio demonstrado, § 42, o angulo ESE' , que mede a divergencia dos raios incidentes, será igual ao angulo $ES'E'$, que mede a divergencia dos raios reflexos: logo nos triangulos SEE' , e $S'E'E'$ teremos, dois angulos iguaes a dois angulos, cada hum a cada hum, e o lado commum EE' : será pois

$$SE = S'E.$$

Dos pontos S , e S' abaixemos agora sôbre o plano do espelho as perpendiculares SE'' , e $S'E''$. Temos pela relação do angulo externo de qualquer triangulo com os dois internos, e oppostos

$$SEE'' = SE'E + ESE',$$

e

$$S'EE'' = S'E'E + ES'E':$$

logo será

$$SEE'' = S'EE''.$$

Temos pois nos dois triangulos rectangulos SEE'' , e $S'EE''$ as hypothenusas iguaes SE , e $S'E$, e os angulos iguaes SEE'' , e $S'EE''$: logo será

$$SE'' = S'E'',$$

e o lado EE'' commum a ambos os triangulos: o que significa o seguinte.

Quando o observador olha hum ponto luminoso, pelo intermedio de hum espelho plano, a imagem do ponto luminoso estará tão arredada para trás do espelho, quanto o ponto luminoso o está para diante do mesmo; e a linha, que une o ponto luminoso, e a imagem, he sempre perpendicular á superficie do espelho.

46. Sendo pois dada a posição de hum ponto luminoso; e do olho do observador, relativamente a hum espelho plano, o lugar da imagem se achará, abaixando do ponto luminoso huma perpendicular sobre o plano do espelho, e produzindo esta perpendicular para trás do espelho em igual comprimento: e se daquelle ponto tirarmos huma recta ao olho do observador, esta será a direcção, segundo a qual o olho verá a imagem do ponto luminoso, pela reflexão no espelho.

47. Se em vez de hum ponto luminoso, apresentarmos ao espelho hum objecto de dimensões sensíveis, cada hum dos seus pontos formará huma imagem particular, que se poderá determinar pelo método precedente, e a reunião destas imagens constituirá a imagem do objecto, visto pela reflexão. Practicando por este modo, acha-se immediatamente, que o espelho plano não altera a figura, nem a direcção dos objectos; mas os retrata fielmente aos olhos do observador; como todos as dias o observamos.

48. Quando pertendemos determinar a marcha da luz reflectida pelas superficies curvas quaesquer, he evidente, como já dissemos, que devemos considerar a reflexão em cada ponto de taes superficies, como feita em huma superficie plana tangente á curva naquelle ponto. Passaremos a dar hum unico exemplo desta especie de determinações, limitando-nos aos casos, que se encontraõ com mais frequencia na practica, que são os da reflexão sobre huma mui curta porção de superficies esféricas, concavas, ou convexas; e quando os raios incidentes cahem sobre a superficie, formando angulos mui pequenos com o eixo do espelho.

Fig. II.^a

49. Seja o espelho esférico AEB , cujo eixo he EE' , seja S o ponto luminoso, e consideremos o raio incidente SI . No ponto L levantemos a normal IC á curva, a qual será hum raio da esfera, e fazendo o angulo $CIF = CIS$, a recta IF será o raio reflexo, que cortará o eixo EE' do espelho em F . Façamos por abreviar as seguintes hypothèses.

O angulo $AE'E = a$, o angulo $ICE = b$, e o angulo $IFE = c$.

No triangulo $IE'E$, o angulo externo ICE , comparado com os dois internos, e oppostos, nos dá - - - - -

$$b = a + E'AC, \text{ ou } E'AC = b - a.$$

No triângulo ICF , teremos do mesmo modo

$$c = b + CIF, \text{ ou } CIF = c - b;$$

mas $E'IC$ he o angulo de incidencia, e CIF o angulo de reflexão: logo será

$$b - a = c - b;$$

donde vem

$$c = 2b - a \quad (a).$$

Do ponto I abaixe-se a perpendicular IP sobre o eixo EE' , chamemos-lhe, por simplificar, p , e chamemos r o raio IC da esfera especular. O triângulo ICP rectangulo em P , dará

$$\text{Sen } b = \frac{p}{r} \quad (b).$$

Estas duas expressões (a), e (b) nos dão o meio de achar sempre a direcção do raio reflexo, conhecida a do raio directo, o ponto de incidencia, e o raio da esfera especular; e reciprocamente, o meio de achar o raio directo, conhecido o ponto da incidencia, o raio reflexo, e o raio da esfera especular. Passemos agora a applica-las aos casos os mais interessantes.

50. Supporemos, em primeiro lugar; o ponto S situado no eixo EE' , e em tal distancia, que os raios SE , e SI possam suppôr-se paralelos; entao o angulo $IE'E$ cessará de existir; isto he, teremos $a = 0$.

Substituindo este valôr na expressão (a), vem

$$c = 2b;$$

mas o angulo externo c he igual aos dois internos, e oppostos b , e CIF : logo

$$2b = b + CIF;$$

donde

$$CIF = b;$$

isto he; que o triângulo IFC será issocetes, e por tanto $IF = FC$.

Porém pela nossa hypothese primitiva, a curvatura da porção de esfera, em que os raios incidem, he mui pequena; isto he, mui pequeno o angulo b : logo a somma dos

lados $IF + FC$, deve ser sensivelmente igual ao terceiro lado IC ; e por tanto será nesta hypothese verdadeira a equação seguinte.

$$FC = \frac{1}{2} IC = \frac{1}{2} r,$$

e como o exposto he verdadeiro para hum ponto qualquer I , tomado dentro dos limites suppostos, segue-se o principio seguinte:

Os raios, que incidem sobre huma pequena porção de huma superficie especular esférica, parallelamente ao eixo da mesma esfera, reúnem-se pela reflexão em hum ponto situado no eixo, e distante do centro do espelho metade do raio da esfera. Este ponto tem o nome de foco dos raios parallelos, ou foco principal do espelho.

51. Quando o ponto luminoso estiver em huma posição S fóra do eixo do espelho, acharemos pela maneira seguinte a posição do foco.

Tirem-se do ponto S ao espelho os dois raios SI , e SE , o primeiro parallelamente ao eixo, o segundo dirigido ao centro do espelho. O raio SI reflectir-se-ha por IF' , que passará pelo foco F dos raios parallelos, situado no meio do raio EC da esfera especular.

Para termos a reflexão de SE faremos o angulo $CEF' = SEC$, e $E F'$ será a reflexão do raio SE .

Produza-se IF , e $E F'$, até que se encontrem em F' , este ponto será o foco procurado.

Dos pontos I , F' , e S abaixem-se sobre o eixo EE' as perpendiculares IT' , $F'F''$, e SS' . Chamemos á primeira y , á segunda y' , a terceira será tambem y . Chamemos x , e x' as abcizas EF'' , e ES' .

Isto feito, he claro, que por ser extremamente pequeno o arco IE , o seu seno verso EI' pôde sem erro sensível suppr-se nullo, supposição, que nos dará, chamando r o raio do espelho esférico,

$$IF = CF = \frac{1}{2} r, \quad x = IF'', \quad \text{e} \quad x' = IS'.$$

Os dois triangulos SES' , e $F'EF''$, rectangulos em S' , e F'' , dão

$$x' :: y : 1 : \text{tang } SES', \quad \text{ou} \quad \text{tang } SES' = \frac{y}{x'}$$

$$x : -y' :: 1 : \text{tang } F'EF'', \quad \text{ou} \quad \text{tang } F'EF'' = -\frac{y'}{x}$$

mas o angulo de incidencia SES' he igual ao angulo de reflexão $F'EF''$: logo será

$$\frac{y}{x'} = -\frac{y'}{x} \quad (a)$$

Os triangulos $IF'F$, e $F''FF'$, rectangulos em F' , e F'' , dão

$$\frac{1}{2}r : y :: 1 : \text{tang } IF'F, \text{ ou } \text{tang } IF'F = \frac{y}{\frac{1}{2}r}$$

$$FF'' : -y' :: 1 : \text{tang } F''FF', \text{ ou } \text{tang } F''FF' = \frac{-y'}{FF''};$$

mas os angulos $IF'F$, e $F''FF'$ são iguaes, por serem verticalmente oppostos: logo será

$$\frac{y}{\frac{1}{2}r} = -\frac{y'}{FF''},$$

e como FF'' he igual IF'' menos IF , ou a $x - \frac{1}{2}r$, será

$$\frac{y}{\frac{1}{2}r} = -\frac{y'}{x - \frac{1}{2}r} \quad (b)$$

As duas equações (a), e (b), dão

$$y = -y' \frac{x'}{x} \quad (1.^a)$$

$$x = \frac{x'r}{2x' - r} \quad (2.^a)$$

Estas duas expressões nos dão o meio de determinar o fóco, por meio das suas coordenadas x , e y , sendo conhecidos, o raio do espelho, e a distancia deste ao ponto luminoso. Os signaes contrarios de y , e y' indicaõ o lado do eixo, em que está situado o fóco.

Realizando as hypotheses formadas com hum ponto luminoso, huma veltã, por exemplo, appresentada ao espelho; os resultados da analyse serão facilmente verificados pela experiencia.

52. Quando o espelho em vez de concavo; se suppozer convexo, o fóco será imaginario; por quanto neste caso os

raios reflectem-se divergindo, e o fóco não he mais, que o ponto, em que se cruzaõ os seus prolongamentos.

Para converter as expressões, que deduzimos, supposto concavo o espelho, nas que teriaõ lugar, sendo elle convexo; bastará inverter nas referidas formulas o sentido da curvatura; isto he, fazer negativa a expressãõ do raio, e teremos

$$y = -y' \frac{x'}{x}; \text{ como no espelho concavo,}$$

$$x = -\frac{x'r}{2x' + r}$$

Esta ultima expressãõ nos indica, que o fóco será situado no espelho convexo na mesma distancia, que no espelho concavo; mas para o lado opposto, isto he, para traz do espelho.

Determinação experimental do fóco principal dos espelhos concavos, e convexos.

53. No decurso das experiencias he muitas vezes necessario determinar a distancia focal principal dos espelhos esféricos.

Quando o raio da esfera da superficie especular he conhecido, a metade deste raio será sempre a distancia focal principal do espelho. Quando porém se desconhece o raio da esfera, determinar-se-ha a distancia focal principal, e por meio della o raio da esfera, por hum dos dois processos seguintes, conforme o espelho fór concavo, ou convexo.

1.º Processo.

Espelho concavo.

54. Em huma camara fechada por toda a parte, a excepção de huma abertura unica, practicada em huma janela, situa-se o espelho, cuja distancia focal se procura; de tal maneira, que nelle venhaõ incidir os raios, partindo de hum objecto exterior, assás distante, para se supporem sensivelmente parallelos, e inclina-se mui pouco o espelho, de

modo; que os raios reflexos se projectem na parte escura da camara. Aproxima-se então hum papellaõ branco do lugar presumido do foco, e faz-se variar de posição, até que nelle se desenhe limpa, e claramente a imagem do objecto distante; e logo, que se encontra este ponto, toma-se a distancia delle ao centro do espelho, que será a distancia focal principal, e consequentemente o seu dôbro o raio do espelho. Para que este método dê huma aproximação sufficiente, he indispensavel, que a porção de esfera, que constitue o espelho, seja mui pequena; aliás não teria lugar a hypothese, na qual unicamente o concurso dos raios sensivelmente em hum ponto, pôde ser admittido.

2.º Procêssõ.

Espelho convexo.

55. Colloque-se sôbre hum circulo maximo da esfera especular, huma tira de papel ACB , furada em r , e r' , com dois orifícios, situados a distancias iguaes do centro C da figura do espelho. Receba-se sôbre o espelho, assim preparado, a luz do sol. Os raios parallelõs Sr , e Sr' reflectir-se-hão para r'' , e r''' , de tal modo, que os seus prolongamentos concorrerão em F . Medindo então duas distancias dd , e $d'd'$ pèrpendiculares ao eixo CF do espelho, entre os dois raios; e tirando as linhas $r''dd'F$, e $r'''dd'F$, calcularemos a distancia CF do espelho ao foco, cujo dôbro será, como no caso precedente, o raio do espelho.

Este método he mais trabalhoso, e susceptivel de menos precisão, que o primeiro; felizmente porém a determinação da distancia focal principal dos espelhos convexos, apresenta-se raras vezes na practica; e quando esta se quizer com rigor, será mais conveniente medir directamente o raio da esfera especular.

Idéa dos apparelhos para dirigir o raio solár nas experiencias de optica.

56. Quando nas experiencias de optica introduzimos directamente o raio solár pela abertura da camara escura, a di-

recção deste raio he muitas vezes incómoda para as experiencias; e por outra parte, o movimento apparente do sol, fazendo variar a todo o momento a direcção do raio, obriga a mudar continuamente a posição dos instrumentos empregados na observação; o que torna não só difficeis; mas até impracticaveis, hum grande numero de opperações, que teremos de effectuar para o diante. He por tanto indispensavel possuir aparelhos proprios para dar ao raio solár huma direcção independente da posição do sol, relativamente ao orificio por onde o raio penetra.

57. O espelho plano, pôde evidentemente preencher este resultado. Com effeito, se fóra da camara escura existir hum similhante espelho, sustentado de modo, que pôssa dirigir-se em todos os planos, será sempre possível dar-lhe huma posição tal, que o raio reflexo penetre horisantalmente pelo orificio da camara escura; e se á medida, que o sol varia de posição, a posição do espelho variar convenientemente, o raio poderá sustentar-se fixo no interiôr da camara escura.

Fig. 14.^a

O aparelho mais simples para este resultado, consiste em hum plano de metal, ou madeira, atarrachado na porta da janella da camara escura, atravessado por hum tubo ouco AB , terminado exteriormente por duas hasteas ab , e ac , nas extremidades das quaes gira o espelho plano E , sustentado no eixo cb , o tubo gira á vontade no plano, que atravessa, e hum mecanismo conveniente, permite ao observador, situado dentro na camara, fazer girar o espelho E em tórno do eixo cb . Por este mecanismo, o observador, sem sahir da camara, pôde chamar sempre o raio solár á posição conveniente.

58. Este instrumento não he porém mais, que hum meio de supprir outro muito mais perfeito, cuja invenção he devida a Sgravesandre, e a que se chama *heliostato*. O heliostato compõe-se de hum espelho plano, susceptivel de tomar todas as posições; mas em vez de ser dirigido a cada momento pelo observador, na direcção conveniente para fixar horisantalmente o raio solár; este espelho tem huma cauda, ou hastea, por meio da qual hum relógio, unido a elle da maneira conveniente, e dependente do dia, em que se observa, o dirige sem dependencia alguma do observador, que pôde por este meio empregar toda a sua attenção no progresso das experiencias, tendo á sua disposição na camara escura hum raio

de luz em huma posição commoda, e fixo em todo o decurso da observação.

Da refração em geral.

59. Mostrámos, § 35, que todas as vezes, que os raios de luz incidem sobre a superficie de hum corpo diaphano, huma parte da luz he reflectida irregularmente, outra parte reflectida especularmente, e finalmente huma terceira parte continúa a sua marcha no interior do meio. Achámos além disto, que a reflexão irregular não era sujeita a lei alguma, e estudamos a lei, que preside á marcha dos raios reflectidos especularmente: entrando agora no estudo da dioptrica, seguiremos na sua marcha a porção de luz incidente, que penetra no interior do corpo; estudaremos os casos, em que esta marcha tem lugar na direcção primitiva, e aquelles, em que a direcção muda; bem como as leis, que regem estas variações.

60. Chamámos em geral *meios*, os corpos, nos quaes a luz se propaga; assim quando hum raio de luz atravessa hum espaço cheio de ar, penetra depois na agoa, no alcool, no ether, &c. tantas são as substancias diversas, atravessadas pelo raio de luz, tantos *meios* dizemos por elle penetrados.

61. Quando hum raio de luz incide perpendicularmente ás superficies de contacto de hum numero qualquer de meios, de densidades, e de naturezas diversas, a marcha do raio he rectilinea, e a mesma, que se se propagasse em hum unico meio completamente homogeo.

Para provarmos esta verdade, tomaremos hum vaso de vidro *A*, estreito, e alto, munido na abertura superior de huma virola de metal, sustentando as duas hasteas, *ab*, e *a'b'*, na sumidade das quaes se móve o eixo de hum espelho plano *EE*, que se inclina de 45° ao horizonte, depois de situado o vaso bem vertical. No interior do vaso lançaõ-se entao stratos de liquidos diversos, v. g., de agoa, e de azeite puro, e transparente; e situando o espelho *EE* de maneira, que nelle incida o raio horizontal do heliostato, o raio reflexo atravessará, perpendicularmente ás superficies de contacto, os meios contidos no vaso, e observaremos, que a sua marcha he rigorosamente vertical; sem que o raio se desvie della em parte alguma.

Fig. 15.^a

62. Se porém, fazendo girar convenientemente o espelho *EE* sobre o eixo *bb'*, fizermos com que a direcção do raio reflexo seja obliqua ás superficies de contacto dos diversos meios contidos no vaso *A*, a marcha da luz nestes meios cessará de ser rectilinea, e o raio, que os atravessa, soffrerá em cada huma das superficies de contacto huma inflexão maior, ou menor.

Esta variação de direcção, que os raios de luz experimentão pela acção dos meios diversos, de que sahem, e em que penetraõ, he o que chamãmos *refracção* da luz.

63. Chama-se *raio refracto* todo o raio de luz, cuja direcção foi alterada pela refracção.

64. Chama-se *angulo de refracção* o angulo, que o raio refracto fórma com a normal á superficie refringente no ponto de incidencia.

65. Damos finalmente os nomes de ponto de *emergencia*, e ponto de *immergencia*, aos pontos, em que o raio de luz penetra de hum meio em outro, e sahe deste segundo meio para o meio primitivo.

66. Quando hum raio de luz soffre a refracção, nota-se hum phenomeno particular, que para o diante explicaremos, e que depende da composiçãõ dos raios de luz, ainda os mais delgados, que podemos submeter ás experiencias. Consiste este phenomeno em huma dispersãõ, que o raio experimenta pela refracção, em virtude da qual, em vez de formar sobre os planos, que o interceptãõ, huma imagem viva, e brilhante, sensivelmente circular, como fôrmaõ os raios directos, e reflectidos especularmente; o raio refracto fórma huma imagem oblonga, offerecendo diversas côres, nas suas diferentes partes, imagem a que damos o nome de *espectro*.

Em tudo, o que por agora diremos, relativamente á direcção do raio refracto, tomaremos os raios, que nos dão a côr amarela, ou verde no espectro, que correspondem sensivelmente ao seu meio.

67. Na refracção da luz através dos corpos cristallisados, cujas fórmãs primitivas não são, nem o octaedro regular, nem o cubo, manifesta-se outro phenomeno particular, consistindo em que, hum raio incidente dá lugar á formaçãõ não de hum, mas de dois raios refractos, hum delles seguindo na sua marcha as leis, que presidem á refracção nos demais meios, o outro, seguindo huma lei particular, muito

mais complicada. Começaremos por tratar da marcha do raio refracto ordinariamente, ou da *refracção ordinaria*; trataremos depois da marcha do segundo raio, ou *raio extraordinario*; isto he, dos phenomenos da *refracção dupla*, ou *extraordinaria*.

68. A refracção nos explica, como para o diante veremos, hum grande numero de phenomenos singulares produzidos pela luz, e pela visão, citaremos agora a apparencia, ou illusão seguinte.

Tome-se huma bacia A , e nella se colloque huma barra Fig. 16.^a cylindrica, ou prismatica $A'B$, e situe-se o olho na direcção $A'BO$ do eixo da barra. He claro, que o olho nesta posição não poderá vêr a extremidade A' da barra cylindrica, ou prismatica; por quanto os raios de luz, que deste ponto podem partir sem encontrar o resto da barra, vão todos fóra do olho. Lance-se agoa na bacia até á altura NN , por exemplo, o ponto A' tornar-se-ha visível ao olho O , e a barra parecerá ter tomado a forma $A''NO$, quebrada na passagem NN do ar para o liquido. Para que isto aconteça, he necessario, que hum raio partido de A' se desvie ao penetrar no ar da direcção rectilínea, que trazia, e vá dirigir-se ao olho O , e que a sua direcção produzida se dirija a A'' , e represente alí a extremidade A' da barra; isto he, para este phenomeno he preciso, que o raio de luz ao passar da agoa para o ar, sôffra a refracção.

Lei geral da refracção simples, ou ordinaria.

69. Tome-se hum vaso A , e lance-se no fundo deste va- Fig. 17.^a so hum pequeno côrpo a : situando o olho no ponto O , o objecto a não será visível para o olho; por quanto o raio aO he interrompido pela parêde opaca do vaso A . Lance-se agoa, ou hum liquido diafano qualquer, no vaso A , o objecto a tornar-se-ha visível para o olho O , e parecer-lhe-ha situado no ponto a'' , prolongamento do raio refracto Oa'' . Se no ponto a'' levantarmos a normal $N'N$ ao plano PP da superficie liquida, os raios $a''a''$, $a''O$, e a normal $N'N$, estarão no mesmo plano, e o angulo de incidencia $a''a''N'$ será menor, que o angulo de refracção $N'a''O$.

70. Se agora tomarmos hum vaso de vidro, cheio de hum Fig. 18.^a liquido diafano, cuja secção por hum plano horisontal seja

$ABCD$, e sôbre a face AB dirigirmos da abertura da câmara escura hum raio de luz horizontal SI obliquo àquella superficie, e correndo hum cartão branco, na superficie da face CD , procurarmos a extremidade do raio refracto IR ; acharemos, que o raio de luz, pela refração, se aproxima da normal IN ao plano da incidencia; isto he, que o angulo de incidencia SIN' he maior, que o angulo de refração NIR .

71. As experiencias dos §§ antecedentes 69, e 70, nos mostraõ a verdade dos principios seguintes.

1.^o Qualquer que seja a natureza dos meios heterogeneos, em cuja passagem a luz se refrange, os raios incidente, e refracto são sempre comprehendidos no mesmo plano, com a normal á superficie refringente no ponto da incidencia.

2.^o Quando hum raio de luz passã de hum meio para outro meos denso, o angulo de refração he maior, que o angulo de incidencia.

3.^o Quando hum raio de luz passa de hum meio para outro mais denso, o angulo de refração he menor, que o angulo de incidencia.

72. Não he porém sômente a densidade maior, ou menor do meio, que depende a direcção do raio refracto, relativamente á do raio incidente; porém a experiencia mostra, que a natureza chymica do meio tem tambem sôbre este effeito huma total influencia, sendo as diversas substancias, ainda que de densidades mui pouco differentes, dotadas de refrangibilidades mui diversas.

Fig. 19.^a 73. Se retomarmos o vaso $ABCD$ de § 70, e tomarmos sôbre o raio IS huma extensaõ $IS' = a$, e do ponto S' baixarmos sôbre a normal NN' a perpendicular $S'F$, e medindo o seu comprimento a acharmos igual a c . Se do mesmo modo tomarmos $IR' = a'$, e baixando do ponto R' sôbre a normal a perpendicular $R'N''$, a acharmos igual a c' : os dois triangulos FIS' , e $IR'N''$, triangulos em E , e N'' , daraõ

$$\left\{ \begin{array}{l} 1 : \text{Sen } FIS' :: a : c, \text{ donde vem } \text{Sen } FIS' = \frac{c}{a} \\ 1 : \text{Sen } N''IR' :: a' : c', \text{ donde vem } \text{Sen } N''IR' = \frac{c'}{a'} \end{array} \right.$$

Calculando por estas fórmulas o valôr dos angulos, de

incidencia FIS' , e de refracção $N'IR'$, e fazendo variar arbitrariamente o primeiro, acharemos, que o segundo variará de tal modo, que a razão entre os senos destes angulos será sempre igual a huma mesma quantidade constante, em quanto não variar a natureza dos meios. Se pois representarmos em geral por I o angulo de incidencia, e por R o angulo correspondente de refracção, teremos sempre - - -

$$\text{Sen } I = n \text{ Sen } R$$

sendo n huma quantidade constante, dependente da natureza dos dois meios, e da sua densidade; quantidade, a que damos o nome de *razão de refracção*.

74. As experiencias, que temos feito, nos mostraõ já, que se a luz passa de hum meio mais denso, para hum menos denso, n he maior, que a unidade, e por isso o raio pela refracção affasta-se da normal.

Se pelo contrario a luz passa de hum meio menos denso para hum meio mais denso, n he maior, que a unidade, e o raio pela refracção aproxima-se da normal.

Finalmente, quando o raio incidente he perpendicular á superficie refringente, temos $I = 0^\circ$; e por conseguinte $\text{Sen } I = 0$; logo será $\text{Sen } R = 0$, qualquer que seja o valôr de n : com effeito achámos, que neste caso não ha refracção, e o raio continúa na direcção perpendicular á superficie.

75. Tal he a lei fundamental da refracção simples, ou ordinaria, cuja descoberta he devida a Descartes, e que pôde enunciar-se da maneira seguinte.

Lei.

Para os mesmos meios refringentes, os senos dos angulos de incidencia, e de refracção, tem entre si huma razão constante; e os raios incidente, e refracto, e a normal á superficie no ponto de incidencia, saõ sempre comprehendidos em hum mesmo plano.

Determinação da razão de refracção dos diversos meios.

76. A lei de Descartes, que acabamos de achar nos §§ antecedentes, nos deo a expressão geral do angulo de refrac-

ção, sendo conhecidas por huma parte a incidencia, e por outra a razão de refracção dos meios, que se consideraõ: expressão da fórma - - - - -

$$\text{Sen } R = \frac{\text{Sen } I}{n}$$

Daquã resulta, que para podermos em cada caso particular determinar a direcção do raio refracto, sendo dado o raio incidente, he indispensavel conhecer n ; isto he, a razão de refracção nos meios, que se consideraõ. Por isso, antes de applicarmos esta lei ás differentes fórmas de superficies refringentes, que temos de considerar, procuraremos os métodos, pelos quaes se pôde determinar o valôr de n para substancias dadas.

77. Como os meios diafanos, em que a luz, que se propaga no ar, se imerge, podem ser de tres especies, sólidos, liquidos, e aeriformes, e que o estado destas tres especies de meios exige, que nos processos, empregados para a determinação de n , se fação diversas modificações nos aparelhos, e modo de observação; dividiremos esta indagação em tres partes, que seraõ: determinação de n nos sólidos: determinação de n nos liquidos; e finalmente determinação de n nos fluidos aeriformes.

1.^a Determinação de n nos sólidos.

Fig. 20.^a

78. Seja ABC a secção transversal de hum prisma triangular da materia diafana, para a qual pretendemos determinar n , por hum plano perpendicular ás arestas do prisma.

Supponhamos, que no ponto I incide hum raio de luz SI , situado no mesmo plano. A lei geral da refracção nos ensina, em primeiro lugar, que o raio refracto deverá existir no mesmo plano ABC do raio incidente, e da normal á superficie no ponto de incidencia: em segundo lugar, que, ao penetrar do ar na materia do prisma, cuja densidade he superior, o raio SI se aproxima da normal NN' á face AB no ponto I de imergencia, tomando, por tanto, huma nova direcção IE , tal que tenhamos - - - - -

$$NIS > NIE.$$

Pela mesma lei, o raio IE , ao sahir do prisma para •

ar, nò ponto E da emergencia, affastar-se-ha tanto da normal $N''N'''$, á face BC naquelle ponto, quanto ao entrar no prisma se aproximou da normal NN' ; de tal modo, que o raio tomára no ar huma direcção EO , tal, que tenhamos

$$N'''EO > IEN'',$$

$$NIS - N'IE = N'''EO - IEN''.$$

Se no ponto O , imaginarmos o olho de hum observador, este verá duas imagens do ponto S ; huma na direcção do raio directo OS , e outra na direcção do raio refractó EO , e com hum instrumento conveniente, v. g., hum circulo repetidor, poderá o observador medir o angulo EOS . Medindo tambem a distancia SO do objecto S ao olho, ou directamente, ou por huma opperação trigonometrica, e a distancia SI de S ao ponto de incidencia; conhecendo além disto o angulo SIA , que o raio incidente fórma com a face do prisma para o lado da base, e finalmente o angulo em S , formado pelo raio directo SO , e o incidente SI , teremos os dados necessarios para determinar n , pelas considerações, em que vamos a entrar, e ás quaes se seguirá o método practico de adquirir experimentalmente o conhecimento destes dados.

79. Para simplificar as expressões analyticas, a que vamos ser conduzidos, adoptaremos a seguinte notação; fazendo

$$SIN = I \text{ ,, } N'''EO = R' \text{ ,, } IEC = y \text{ ,, } ISO = d'$$

$$EIN' = R \text{ ,, } SIA = x \text{ ,, } BEO = y' \text{ ,,}$$

$$IEN'' = I' \text{ ,, } BIE = x' \text{ ,, } EOS = d \text{ ,,}$$

Temos, pela lei geral da refração

$$\frac{\text{Sen } I}{\text{Sen } R} = n, \text{ e } \frac{\text{Sen } R'}{\text{Sen } I'} = n.$$

Se o angulo x fôr menor, que 90° , será tambem menor, que 90° o angulo x' , e teremos

$$I = 90^\circ - x, \text{ e } R = 90^\circ - x',$$

e por tanto

$$\text{Sen } I = \text{Cos } x, \text{ e } \text{Sen } R = \text{Cos } x'.$$

E^*

Se o angulo x fór maior, que 90° , será tambem x' maior, que 90° , e teremos - - - - -

$$I = x - 90^\circ, \text{ e } R = x' - 90^\circ, \\ \text{e por tanto}$$

$$\text{Sen } I = -\text{Cos } x, \text{ e } \text{Sen } R = -\text{Cos } x'.$$

Donde resulta, que ou x seja maior, ou menor, que 90° , será sempre - - - - -

$$\frac{\text{Sen } I}{\text{Sen } R} = \frac{\text{Cos } x}{\text{Cos } x'} = n \text{ - - - - - (A).}$$

Discorrendo similhantemente a respeito dos angulos I' , e R' , no ponto E , da emergencia: acharemos - - - - -

$$\frac{\text{Sen } R'}{\text{Sen } I'} = \frac{\text{Cos } y'}{\text{Cos } y} = n \text{ - - - - - (A')}.$$

Isto posto: façamos o angulo ABC , a que se chama *angulo refringente do prisma*, igual a f . No triangulo BIE , o angulo externo IEO he igual á somma dos dois internos, e oppostos; teremos pois - - - - -

$$y = f + x'.$$

Fica pois demonstrada a verdade das tres equações seguintes.

$$(a) \begin{cases} 1.^a \text{ - - - - - } \text{Cos } x' = \frac{\text{Cos } x}{n} \\ 2.^a \text{ - - - - - } y = f + x' \\ 3.^a \text{ - - - - - } \text{Cos } y' = n \text{ Cos } y. \end{cases}$$

Pela primeira destas equações calcularemos x' , sendo conhecida a razão de refração, e o angulo x complemento do angulo de Incidencia.

Substituindo este valor na segunda, e conhecendo o angulo refringente do prisma, teremos o valor de y .

Finalmente calcularemos y' , pondo por y , e por n os seus valores na equação 3.^a

Pssemos agora, para poder conhecer n , a envolver nestas expressões os outros dados do problema, quer dizer, os angulos d , e d' .

Para este fim reflectiremos, que sendo $SIEO$ hum qua-

drilatero, a somma dos seus angulos he igual a quatro rectos, ou a 360° ; teremos pois - - - - -

$$ISO + SOE + OEI + EIS = 360^{\circ};$$

porém saõ

$$SOE = d, ISO = d', OEI = y + 180^{\circ} - y', EIS = x + 180^{\circ} - x';$$

logo

$$d' + d + y + 180^{\circ} - y' + x + 180^{\circ} - x' = 360^{\circ},$$

ou

$$d' + d + y - y' + x - x' = 0;$$

mas a 2.^a das equações (a) dá $y - x' = f$: logo - - - - -

$$d' + d - y' + x + f = 0,$$

donde se tira

$$y' = x + d' + d + f - - - - - (B).$$

Por esta equação temos y' expresso em dados do problema; procuremos agora exprimir y nos mesmos dados.

Para este fim, na primeira das equações (a), substituiremos por x' o seu valor $y - f$, tirado da segunda, e virá

$$\text{Cos } x = n. \text{Cos } (y - f).$$

Se esta nova equação se subtrahir, membro a membro da equação terceira (a), virá - - - - -

$$\text{Cos } y' - \text{Cos } x = n (\text{Cos } y - \text{Cos } (y - f)).$$

Se somarmos membro a membro as mesmas equações, virá - - - - -

$$\text{Cos } y' + \text{Cos } x = n (\text{Cos } y + \text{Cos } (y - f)),$$

e dividindo huma pela outra as duas equações resultantes, teremos - - - - -

$$\frac{\text{Cos } y' - \text{Cos } x}{\text{Cos } y' + \text{Cos } x} = \frac{\text{Cos } y - \text{Cos } (y - f)}{\text{Cos } y + \text{Cos } (y - f)}.$$

Lembrando-nos agora, que a differença dos cosenos de dois arcos, dividida pela somma dos mesmos cosenos, he igual ao producto da tang. da semisomma pela tang. da semidifferença, tomado com signal contrario; a ultima equação se transformará na seguinte

$$\begin{aligned} \operatorname{tang} \frac{1}{2}(y' + x) \operatorname{tang} \frac{1}{2}(y' - x) &= \operatorname{tang} \frac{1}{2}(y + y - f) \operatorname{tang} \frac{1}{2}(y - y + f) \\ &= \operatorname{tang} \frac{1}{2}(2y - f) \operatorname{tang} \frac{1}{2}f = \operatorname{tang}(y - \frac{1}{2}f) \operatorname{tang} \frac{1}{2}f \dots \dots \dots (C) \end{aligned}$$

Pondo agora por y , e por x os seus valores, tirados da equação (B), virá

$$\operatorname{tang} \frac{1}{2}(y' + x) = \operatorname{tang} \frac{1}{2}(x + d + d' + f + x) = \operatorname{tang}(x + \frac{1}{2}(d + d' + f))$$

$$\operatorname{tang} \frac{1}{2}(y' - x) = \operatorname{tang} \frac{1}{2}(y' + d + d' + f - y') = \operatorname{tang} \frac{1}{2}(d + d' + f),$$

e substituindo estes valores na equação (C), vem

$$\operatorname{tang}(y - \frac{1}{2}f) \operatorname{tang} \frac{1}{2}f = \operatorname{tang}(x + \frac{1}{2}(d + d' + f)) \operatorname{tang} \frac{1}{2}(d + d' + f)$$

da qual se tira

$$\operatorname{tang}(y - \frac{1}{2}f) = \frac{\operatorname{tang}(x + \frac{1}{2}(d + d' + f)) \operatorname{tang} \frac{1}{2}(d + d' + f)}{\operatorname{tang} \frac{1}{2}f} \dots \dots (D).$$

Se nesta equação (D) pozermos por y o seu valor $f + x'$, acima achado, virá

$$\operatorname{tang}(x' + \frac{1}{2}f) = \frac{\operatorname{tang}(x + \frac{1}{2}(d + d' + f)) \operatorname{tang} \frac{1}{2}(d + d' + f)}{\operatorname{tang} \frac{1}{2}f} \dots \dots (E).$$

Reflectindo agora nas tres equações achadas (A') (B) e (D), acharemos nellas os meios necessarios para calcular n em dados observáveis do problema. Com effeito, a equação (D) dá y , expresso nos referidos dados, a equação (B) dá y' , expresso da mesma maneira; substituindo por tanto estes valores na equação (A') teremos o valor de n .

Quando porém o angulo y' fôr recto, e por consequente tambem recto o seu verticalmente oppôsto y , teremos $\operatorname{Cos} y' = 0$, e $\operatorname{Cos} y = 0$, e por tanto

$$n = \frac{0}{0};$$

quer dizer, n indeterminado. Neste caso recorreremos ás equações (E) (B) e (A), e tirando o valor de x' da equação (E), o valor de x da equação (B) substituilos-hemos, na equação (A) para ter n . Estas equações dão tambem

$$n = \frac{0}{0},$$

isto he indeterminado, quando x , e por tanto x' são rectos, no qual caso lançaremos mão das primeiras (A') (B) e (D).

80. Tendo, por meio das equações expostas, a expressão de n , em dados observaveis do problema; passemos a expôr o methodo practico, de obter aquelles dados pela observação.

Para fazer com o rigôr necessario as experiencias, relativas á determinação de n nos corpos sólidos, começar-se-ha por talhar a materia sólida em forma de prisma, e determinar-se-ha rigorosamente o angulo refringente do prisma. Ter-se-ha ao mesmo tempo a maior attenção, em que as bases do prisma sejaõ exactamente perpendiculares ás arestas.

Preparado, que seja o prisma, he necessario preparar o objecto luminoso, destinado a servir na observação. Este objecto deve reunir as condições, de hum pequeno diametro, a fim de se aproximar o mais possivel a hum ponto geometrico, e hum brilho consideravel, a fim, de que situado a hum grande distancia do prisma, pôssa dar imagens sensiveis, tanto pela refração através do prisma, como pela reflexão na face delle. Para conseguir hum semelhante objecto, toma-se hum alampada, de corrente de ar, e envolve-se a chaminé de vidro, que circunda a chama, com hum envulcro opáco, no qual se practica hum pequeno orificio, para servir de ponto luminoso, e situa-se este ponto, a hum distancia tal, que os raios delle tirados ao observador, e ao prisma, sejaõ extremamente pouco inclinados, ou sensivelmente parallelos.

Fixe-se no lugar, em que deve situar-se o prisma hum base sólida, e firme de madeira, e sôbre ella hum plano de vidro despolido, que por meio de tres parafusos, que o sustentão, se dirige no plano do raio partido do ponto luminoso, e collocando sôbre este plano o prisma por hum das bases; he evidente, que o plano do raio incidente, será perpendicular ás arestas do prisma, como o exigem as expressões, pelas quaes devemos exprimir n em dados das observações.

Seja ABC a secção do prisma pelo plano perpendicular Fig. 21.^a ás arestas, e no qual existe o raio incidente. As nossas fórmulas exigem, que determinemos os angulos S , O , SIA , e ABC , que chamamos d' , d , x , e f , nas mesmas fórmulas.

O angulo f refringente do prisma, he conhecido pela medição practica com hum goniometro; o angulo d pôde medir-se directamente com hum instrumento proprio, v. g., com hum circulo repetidor; resta pois unicamente determinar x , e d' .

Para determinar x , situar-se-ha o observador em hum ponto O' , tomado na direcção do raio IO' , reflectido especularmente pela face BA do prisma, e mediremos o angulo $SO'I$, formado pelos raios directo, e reflexo: chamemos ϕ este angulo observado.

He claro, que por estar S em huma distancia considerabilissima, relativamente á distancia IO' do ponto I de incidencia no prisma, ao observador O' , será $O'S$ sensivelmente parallela a IS ; e por tanto, os angulos $SO'I$, e SIO' serão supplementos hum do outro; isto he

$$SIO' = 180^\circ - \phi.$$

Levantando agora a normal IN no ponto de incidencia, teremos, pela lei da reflexão $SIN = NIO'$: logo

$$SIN = \frac{1}{2} SIO' = \frac{1}{2} (180^\circ - \phi) = 90^\circ - \frac{1}{2} \phi;$$

mas SIA , ou x , he igual a $NIA + SIN$, ou a $90^\circ + 90^\circ - \frac{1}{2} \phi$: logo

$$x = 180^\circ - \frac{1}{2} \phi.$$

Relativamente ao ultimo angulo d' , devemos reflectir, que estando o objecto S em huma grande distancia, o angulo d' he sensivelmente nullo, e tal o poderemos suppôr na maior parte dos casos; quando porém quizermos attender a elle, far-se-ha esta determinação, com a exactidão sufficiente, pela maneira seguinte.

Estende-se hum fio na direcção OS , toma-se o seu comprimento, e o da perpendicular IS' , abaixada de I sobre este fio, e o comprimento OS' , que nos faz conhecer $SS' = OS - OS'$. Então no triangulo $IS'S$, rectangulo em S' , temos conhecidos IS' , e SS' , e calcularemos d' pela equação, tirada do mesmo triangulo

$$\text{tang } d' = \frac{IS'}{SS'};$$

com o que teremos todos os dados necessarios para calcular n .

2.^a Determinação de n nos liquidos.

81. A determinação de n nos liquidos, differe tão sómente da determinação de n , nos sólidos, no modo de dar ao liquido a fôrma prismatica, que o sólido pôde receber, sendo talhado; e que o liquido só pôde tomar, quando se encerrar em hum vaso da referida fôrma.

82. Mostraremos adiante, que as laminas de vidro, cujas faces são perfeitamente parallelas, não fazem experimentar desvio sensivel aos raios de luz, que as atravessão, da direcção primitiva; conseguintemente, se encerrarmos o liquido em hum vaso prismatico, formado de semelhantes laminas, o desvio do raio luminoso será unicamente devido á acção do prisma de liquido.

Para formar hum semelhante vaso, o método seguinte, devido a Biot, e Cauchoix, he o mais perfeito.

Toma-se huma chapa de vidro bem rectangular, de hum centimetro de espessura, e quatro a 5 de comprimento, e largura. No meio desta placa, abre-se hum canal cylindrico I , de 2 centimetros proximamente de diametro, e talha-se então a placa em prisma, como se vê em $ABCA'B'C'$. Talhado o prisma, faz-se na sua espessura hum pequeno canal ad , que termina no canal cylindrico I , e se feicha em d com huma rôlha esmerilhada. Comprimindo então duas laminas de vidro perfeitamente planas, e rigorosamente parallelas, sôbre as faces $ABB'A'$, e $CBB'C'$ do prisma, igualmente planas, e perfeitamente polidas, a cohesão as fará adherir entre si (Sec. I.^a § 30); e por conseguinte o canal I será hum espaço prismatico, que enchendo-se de liquido, pela abertura d , formará o prisma de liquido, de que carecemos para a observação.

Fig. 22.^a

Para dar maior solidez ao prisma, apoiaõ-se as laminas lateraes com regoas de lataõ, que unidas com charneiras, no angulo refringente do prisma, são subjugadas por parafusos, que passão nas extremidades das regoas, e as ligão, da parte da face do prisma, opposta ao angulo refringente.

83. Construido assim o prisma, enche-se do liquido, de

que se quer tratar, e practica-se exactamente como para a determinação de n , nos corpos sólidos.

3.^a Determinação de n , nos gazes.

84. Para determinar a razão de refração nos gazes he necessario introduzir estes, assim como os liquidos, em vasos prismaticos, formados de laminas de vidro perfeitamente planas, e de faces rigorosamente parallelas; como porém os gazes tem huma densidade mui diversa nas differentes temperaturas, e sob pressões variaveis; he absolutamente necessario saber, em que temperatura, e sob que pressão estes corpos se achão, quando fazemos as observações.

Fig. 23.^a

Para este fim, o prisma P de vidro, em que se devem introduzir os gazes communica no seu meio a , com hum recipiente A de vidro, no qual se acha encerrado hum barometro de sifão, que indica em todos os momentos a força elastica do gaz interior, e dois thermometros o mais sensiveis possivel, contiguos ás faces do prisma, indicaõ ao mesmo tempo a temperatura. Deve procurar-se, que esta seja o mais constante possivel no decurso da observação.

85. Tem o prisma huma segunda abertura a' , munida de huma torneira, pela qual se atarracha na machina pneumatica, quando se quer fazer o vacuo, ou rarefazer o ar no seu interior; e para secar o espaço interior, introduz-se no prisma hum fragmento de potassa caustica, ou de chlorureto decalcio, que absorve todo o vapor aquoso.

Quando se quer introduzir no prisma hum gaz differente do ar atmosferico, começa-se por fazer o vacuo no prisma, e fechada a torneira, atarracha-se o prisma no alto de huma campanula contendo o gaz, sôbre a agoa, ou o mercurio, segundo a sua natureza, e abrindo as torneiras da campanula, e do prisma, o gaz penetra no interior deste, e feixa-se a torneira.

O prisma he finalmente sustentado por hum pé firme, que o mantem em tal posição, que as arestas delle sejaõ rigorosamente verticaes.

86. Isto feito procede-se á observação; advertindo, que sendo mui fraco o poder refringente dos gazes, o desvio occasionado nos raios de luz pela sua acção, he sempre mui pequeno, e deve por conseguinte medir-se com a mais es-

crupulosa exactidão, repetindo o angulo no circulo repetidor, para attenuar pelas repetições, os erros de cada marcação. Feita a observação, o calculo he o mesmo, que para a determinação de n , nos corpos sólidos.

Aquelles leitores, que desejarem huma descripção mais miuda, e circunstanciada das observações relativas á determinação de n nos gazes, pôdem consultar a descripção das experiencias feitas por Biot, e Arago, com hum prisma mandado construir por Borda, insertas pelo mesmo Biot no seu Tratado de Physica experimental, e Mathematica (Tom. 3.º pag. 222, e seguintes).

Refracção da luz, através dos vidros terminados por faces parallelas.

87. As fórmulas achadas no §. 88, sendo independentes de hum valor qualquer do angulo refringente do prisma; mas pelo contrario deduzidas em geral para hum valor qualquer deste angulo, serão ainda verdadeiras, quando o angulo refringente do prisma fôr nullo; isto he, quando tivermos $f = 0$.

Huma lamina terminada por superficies parallelas, he a mesma cousa, que hum prisma, cujo angulo refringente he nullo: logo para termos a direcção do raio refracto na passagem por huma lamina desta especie, não temos mais, que introduzir $f = 0$ nas expressões convenientes, achadas no §. 88, para hum angulo f qualquer.

88. Se fizermos $f = 0$ nas equações (a), teremos

$$y = x',$$

$$\text{Cos } x' = \frac{\text{Cos } x}{n},$$

$$\text{Cos } y' = n \text{ Cos } x';$$

e por tanto

$$\text{Cos } y' = \frac{n}{n} \text{ Cos } x,$$

donde se tira

$$y' = x, \text{ ou } y' = 360^\circ - x.$$

O segundo valor he evidentemente inadmissavel, pois re-

reflectiria o raio para o interior do prisma: logo ficará subsistindo para o caso, que nos occupa, unicamente o valôr - -

$$y' = x - - - - - (m)$$

Se introduzirmos este valôr de y' , e o de $f=0$ na equação (B) de §. 80; virá - - - - -

$$x = x + d' + d:$$

logo

$$d' + d = 0,$$

e por tanto

$$d = - d' - - - - - (n).$$

A equação achada (m) nos mostra, que todas as vezes, que hum raio de luz atravessa hum meio, terminado por superficies parallelas, o raio directo fórma com a face anterior do meio hum angulo igual, ao que o raio refracto fórma com a face posterior delle; e como as duas faces são parallelas, segue-se, que serão tambem parallelas as direcções daquelles dois raios.

Para interpretarmos a equação (n), sejaõ AB , e $A'B'$ as duas superficies, anterior, e posterior da lamina, S o ponto luminoso, O o olho do observador, e SI o raio incidente: o angulo OSI será d' , e SEO será o desvio d das imagens, situado sempre da parte opposta do raio directo SO , que une o ponto luminoso, e o olho, relativamente ao raio incidente SI , como o indica na fórmula o signal negativo de d' .

Se o objecto S estiver em huma distancia tal, que perante ella seja como nulla a distancia IO , teremos o angulo $d' = 0$, e por tanto - - - - -

$$d = - d' = 0.$$

O que nos mostra (como dissemos por anticipação no §. 82), que os objectos situados em grandes distancias não são sensivelmente desviados da sua verdadeira posição, quando os olhamos através de laminas, terminadas por superficies parallelas.

Da refracção através dos vidros, terminadas por superficies esféricas, ou das lentes.

89. Acabamos de vêr, que os raios de luz, atravessando meios terminados por superficies parallelas, tem antes, e depois da passagem por semelhantes meios, direcções entre si parallelas; e que todas as vezes, que a distancia do ponto luminoso á lamina refrigente he incomparavelmente maior, que a espessura desta, o raio refracto he o prolongamento do raio incidente, e a luz não experimenta desvio algum na sua marcha. Quando nos occupámos da determinação de n , aprendemos a calcular o desvio do raio de luz, que atravessa hum prisma refrigente; isto he, hum meio, terminado por superficies planas inclinadas entre si. Com estes dados poderemos calcular a marcha do raio refracto por hum meio terminado por superficies curvas quaesquer.

Com effeito; vista a extrema tenuidade das molléculas luminosas, a imersão, e emersão dos raios pódem considerar-se como tendo lugar em superficies planas, tangentes as faces curvas do meio naquelles pontos: e então o meio terminado por superficies curvas, refrangirá a luz da mesma maneira, que hum systema de prismas de angulos refringentes diversos.

90. Não pertenderemos aqui resolver este problêma na sua maior generalidade; mas applicar-nos-hemos tão sómente a determinar a marcha dos raios de luz, refractados pelas lentes; isto he, por vidros terminados por superficies esfericas, e isto sómente, quando a parte descuberta da superficie das lentes, e a maior espessura destas, são incomparavelmente menores, que os raios das esfêras, em que são trabalhadas as suas superficies, e extremamente pequenos os angulos, formados pelos raios incidentes com o eixo das mesmas lentes. Condições estas, que são essenciaes, para que a visão, através de semelhantes vidros, seja clara, e distincta, como he essencial no uso dos mesmos.

91. A combinação de duas superficies esféricas, dá lugar a quatro especies diversas de lentes, que são: 1.^a a lente convexo-convexa *A*, ou *lentilha*, quando as duas superficies tem as convexidades voltadas para o exterior da lente: 2.^a a lente convexo-concava *B*, formada por duas superficies esféricas, cujas convexidades estão voltadas para o mesmo lado;

Fig. 25.^a

e a superficie exteriormente convexa tem hum raio menor, que o da superficie exteriormente concava: 3.^a a lente *conca-vo-convexa C*, formada por duas superficies esféricas, dispo-
 stas como na antecedente; sendo porém o raio da esféra exte-
 riormente convexa maior, que o da esféra exteriormente con-
 cava: 4.^a a lente *concavo-concava D*, formada por duas su-
 perfícies esféricas, cujas concavidades são voltadas ambas pa-
 ra a parte exterior da lente.

92. A estas quatro especies de lentes formadas, por su-
 perfícies esféricas, podem acrescentar-se as duas lentes *E*,
 e *F*, a que chamamos *plano-convexas*, e *plano-concavas*, ter-
 minadas por humma superficie esferica, e humma superficie pla-
 na: sendo na primeira *E* a concavidade da esféra voltada
 para o plano; e na segunda pelo contrario, a convexidade
 da esféra voltada para o plano, e a concavidade para o lado
 exterior da lente.

93. Estas seis especies de lentes, podem porém reduzir-se
 a duas classes sómente, que são: a das lentes, cuja espessu-
 ra augmenta da circumferencia para o centro, e a das len-
 tes, cuja espessura augmenta do centro para a circumferencia.

Na primeira classe, que comprehende as lentes *convexo-convexa A*, *convexo-concava B*, e *plano-convexa E*, a refrac-
 ção dos raios de luz deve passar-se, como em hum systema
 de prismas, cujo angulo refringente se acha voltado para a
 circumferencia; e consequentemente os raios devem convergir
 pela refração, mais consideravelmente, do que antes de pas-
 sarem pela lente. O contrario deve acontecer nas lentes da se-
 gunda classe, que comprehende as lentes *concavo-concava D*,
concavo-convexa C, e *plano-concava F*, nas quaes a refração
 deve passar-se, como em hum systema de prismas, cujos an-
 gulos refringentes se achão voltados para o centro da lente.
 Esta he a razão, pela qual se dividem as lentes em duas
 classes, que se distinguem pelos nomes de lentes *convergen-tes*,
 e lentes *divergentes*.

94. Como as lentes, a qualquer das especies, que per-
 tenção, tem pelo menos humma superficie curva, he claro,
 que os prismas, que podemos suppôr compôem a lente, tem
 angulos refringentes diversos, nos diversos pontos della; e
 consequentemente os raios, que incidirem em diferentes pon-
 tos da mesma lente, ainda que nella penetrem com humma
 mesma incidencia, sahirão della com inclinações reciprocas

diversas; e se considerarmos os raios incidentes situados em hum mesmo plano, dirigido pelo ponto luminoso, e o centro da lente, os raios emergentes, que delles provierem, ou os seus prolongamentos, cortar-se-hão huns aos outros em diversos pontos, cuja serie constitue dois ramos de curva, symmetricos para hum, e outro lado do eixo, aos quaes os Physicos chamaõ *causticas* pela refração. Quando porém a parte descuberta da lente he mui pequena relativamente ao raio de curvatura das suas superficies, o concurso dos raios emergentes, ou dos seus prolongamentos, faz-se sensivelmente em hum ponto, a que damos o nome de *fóco*, e cuja distancia á lente vamos a determinar, nos casos, e circunstancias expostas no § 90.

95. Seja ALA , e $A'L'A'$ as duas superficies de hum lente *concavo-convexa*, e seja S hum ponto radiante, situado diante da superficie concava da mesma lente; tomemos, para estudar a sua marcha, hum raio incidente qualquer IS . Fig. 26.^a

No ponto I levantemos a normal CIN á superficie ALA , que será o raio CI da superficie esférica, produzido até N . Se designarmos por n a razão de refração para o vidro, de que he formada a lente; a fim de termos a direcção do raio refracto, tiraremos II' tal, que tenhamos - - - - -

$$\text{Sen } NII' = \frac{1}{n} \text{ Sen } SIC \text{ - - - - - (a)}$$

e a recta II' será o raio refracto pela primeira superficie da lente.

Mas sabemos, que todas as vezes, que hum raio de luz passa de hum meio menos refringente para hum meio mais refringente, como do ar para o vidro, o angulo de refração he menor, que o angulo de incidencia: logo, se produzirmos o raio refracto $I'I$ para o lado de I , até encontrar o eixo LR da lente em M , o ponto M cabirá entre o centro C da esfera, e o ponto S' , em que o raio incidente SI , produzido, corta o mesmo eixo $L'R$.

Reflectindo agora, que segundo as condições de § 90, debaixo das quaes raciocinamos, os angulos SIC , e NII' , que entrão na equação (a), são extremamente pequenos; poderemos, sem erro sensivel, toma-los pelos seus senos, e ter por verdadeira consequentemente a equação - - - - -

$$NI'I = \frac{1}{n} SIC.$$

Porém $NI'I$ he igual a CIM , por serem verticalmente oppóstos: logo - - - - -

$$CIM = \frac{1}{n} SIC - - - - - (b)$$

Adoptemos agora, para simplificar as expressões, a notação seguinte, fazendo - - - - -

$$\text{os angulos } \begin{cases} ISM = x. \\ IMC = y. \\ ICL = z. \end{cases}$$

No triangulo ICS' temos o angulo externo ICL igual aos dois internos, e oppóstos; isto he - - - - -

$$z = SIC + x.$$

Do mesmo modo o triangulo IMC dá - - - - -

$$z = CIM + y:$$

logo

$$SIC = z - x, \text{ e } CIM = z - y,$$

e substituindo estes valôres na equação (b), teremos - - -

$$z - y = \frac{1}{n} (z - x), \text{ ou } nz - ny = z - x,$$

donde vem

$$ny = x + (n - 1)z - - - - - (c)$$

O raio refracto II' torna-se incidente para a segunda superficie $A'L'A'$ da lente: para termos por tanto a direcção do novo raio refracto $I'E$, que lhe corresponde, isto he, do raio emergente; levantaremos no ponto I' , a normal, ou raio produzido $MI'C'$ da segunda superficie; e reflectindo agora, que passando o raio do vidro para o ar, deve afastar-se tanto da normal, quanto della se aproximára ao penetrar no vidro em I , a razão de refracção deverá agora ser $\frac{1}{n}$, e teremos por tanto - - - - -

$$\text{Sen } EI'N' = n \text{ Sen } MI'C';$$

du por serem $E'I'N'$, e $M'I'C'$ verticalmente oppostos, teremos

$$\text{Sen } M'I'C' = n \text{ Sen } MIC',$$

e por ser aqui applicavel, do mesmo modo, que á primeira superficie, a consideração da pequenez dos angulos, que entraõ na expressão, será tambem

$$M'I'C' = n. MI'C' \quad (d).$$

Façamos, para simplificar as expressões,

$$\text{os angulos } \begin{cases} I'C'M' = z' \\ I'M'L' = y'. \end{cases}$$

O triangulo $M'I'C'$ dá o angulo externo y , igual aos dois internos, e oppostos, isto he

$$y = M'I'C' + z'.$$

O triangulo $M'I'C'$ dá igualmente

$$y' = M'I'C' + z':$$

logo

$$M'I'C' = y' - z', \text{ e } MI'C' = y - z'.$$

Substituindo estes valôres na equação (d), vem

$$y' - z' = n(y - z'),$$

da qual se tira

$$ny = y' + (n - 1)z'.$$

Subtrahindo esta equação membro a membro da equação (c) vem

$$0 = x + (n - 1)z - y' - (n - 1)z';$$

da qual se tira

$$y' = x + (n - 1)(z - z') \quad (A).$$

Este valôr de y' , como se vê da fórmula, depende dos valôres de z , e de z' , os quaes dependem elles mesmos evidentemente da posição reciproca dos pontos S , I , e I' . Procuremos determinar estes angulos, e applicar-lhes as consi-

derações filhas das condições iniciais da questão, que nos occupa, expostas no §. 90.

Para este fim, abaixemos dos pontos I , e I' , sôbre o eixo LR da lente, as perpendiculares IP , e $I'P'$; e para simplificar as expressões, façamos $IP = \beta$, e $I'P' = \beta'$; façamos tambem os raios LC , e $L'C'$, das duas superficies esféricas, iguaes a r , r' .

O triangulo ICP , rectangulo em P , dá - - - -

$$1 : r :: \text{Sen } z : \beta, \text{ ou } \text{Sen } z = \frac{\beta}{r}.$$

O triangulo $I'C'P'$, rectangulo em P' , dá - - - -

$$1 : r' :: \text{Sen } z' : \beta', \text{ ou } \text{Sen } z' = \frac{\beta'}{r'}.$$

He porém claro, que sendo por huma parte, na nossa hypothese, a distancia LL' , que separa as duas superficies da lente, extremamente pequena, e por outra o raio SI , mui pouco inclinado a respeito do eixo $L'R$ da lente, as perpendiculares β , e β' devem ser sensivelmente iguaes entre si; pois se a distancia LL' fôsse rigorosamente nulla, ou o raio IS rigorosamente paralelo ao eixo $L'R$, estas duas perpendiculares β , e β' se tornariao rigorosamente iguaes. Podemos pois suppôr $\beta = \beta'$, o que mudará as ultimas expressões em

$$\text{Sen } z = \frac{\beta}{r}, \text{ e } \text{Sen } z' = \frac{\beta}{r'} \quad - - - - (e)$$

Para acharmos agora a expressao da distancia focal, chamemos D a distancia LS' da primeira superficie ao ponto S' , onde o raio incidente produzido côrta o eixo da lente, e chamemos D' a distancia $L'M'$ da segunda superficie ao ponto M' , onde o raio emergente produzido côrta o mesmo eixo.

O triangulo $IS'P$, rectangulo em P , dá - - - -

$$1 : \text{tang } x :: S'P : \beta;$$

mas por ser o arco IL extremamente pequeno, o seu *seno-ver*:o PL pôde suppôr-se sensivelmente nullo, e poderemos tomar $S'L$ por $S'P$; isto he, suppôr $D = S'P$, e teremos

$$1 : \text{tang } x :: D : \beta, \text{ ou } \text{tang } x = \frac{\beta}{D} \quad - - - - (f).$$

Applicando considerações semelhantes ao triangulo $I'P'M'$, rectangulo em P' , teremos do mesmo modo - - - -

$$1 : \text{tang } y' :: D' : \beta', \text{ que dá } \text{tang } y' = \frac{\beta'}{D'},$$

e continuando a suppôr $\beta = \beta'$, virá - - - - -

$$\text{tang } y' = \frac{\beta}{D'} \text{ - - - - - (g).}$$

Isto posto, temos nas expressões (e), (f), e (g) os valôres de Sen z, Sen z', tang x, e tang y', que são os angulos, que se encontraõ na expressãõ (A). Reflectindo agora, que pelas nossas condições iniciaes, todos estes angulos são mui pequenos, poderemos empregar, sem erro attendivel, em vez dos mesmos angulos, os seus senos, ou as suas tangentes; e fazendo-o assim; a fórmula (A) se tornará em - - - - -

$$\text{tang } y' = \text{tang } x + (n - 1) (\text{Sen } z - \text{Sen } z'),$$

e pondo por estas linhas trigonometricas os seus valôres, achados em (e), (f), e (g); teremos - - - - -

$$\frac{\beta}{D'} = \frac{\beta}{D} + (n - 1) \left(\frac{\beta}{r} - \frac{\beta}{r'} \right).$$

Nesta equaçãõ β he factor commum; e dividindo por elle, a equaçãõ se reduz a - - - - -

$$\frac{1}{D'} = \frac{1}{D} + (n - 1) \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{r'} \right),$$

equaçãõ independente de β ; quer dizer, independente da distancia do ponto de incidencia ao centro L da lente, e por tanto applicavel a todos os pontos, comprehendidos no campo da nossa hypothese primitiva.

96. Se suppozermos o ponto luminoso S, situado no eixo da lente, D será o mesmo para todos os raios incidentes, e por tanto D' será tambem o mesmo para todos os raios emergentes; quer dizer, que estes ultimos raios, ou os seus prolongamentos, cortaraõ todos o eixo em huma mesma distancia D' da superficie da lente.

Se suppôzermos o ponto luminoso assás distante, para que os raios incidentes sejaõ paralelos, teremos D infinito, e por tanto $\frac{1}{D} = 0$; o que converte a nossa fórmula na seguinte, em a qual D' representa a distancia focal para os

raios paralelos, a que chamaremos, como nos espelhos,
distancia focal principal da lente - - - - -

$$\frac{1}{D'} = (n - 1) \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{r'} \right) \quad (B)$$

logo

$$D' = \frac{1}{(n - 1) \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{r'} \right)} \quad (B')$$

97. Na equação (B') n , que designa a relação entre o angulo de incidencia, e o de refração, he sempre maior, que a unidade, quando as lentes são, como suppozemos fórmadas de vidro, e em geral de hum meio mais denso, que o ar; donde se segue, que $n - 1$ he sempre nesta hypothese positivo, e consequentemente o signal de D' , dependerá unicamente do signal do factor $\frac{r' - r}{rr'}$ do segundo membro.

Daqui resulta, que, em quanto suppozermos r , e r' ambos positivos, quer dizer, as duas superficies das lentes ambas concavas para o lado do ponto radiante S , que foi a nossa supposição na deducção da fórmula, $\frac{r' - r}{rr'}$, e por tanto D' , será positivo, quando fôr $r' > r$; e pelo contrario $\frac{r' - r}{rr'}$, e por tanto D' , será negativo, quando fôr $r' < r$.

Isto significa, que no primeiro caso, ou o que he o mesmo, quando a lente fôr *concavo-convexa*, os raios emergentes divergirão entre si, o foco principal cahirá entre a lente, e o ponto radiante, e este foco será só virtual, e nelle concorrerão, não os raios; mas os seus prolongamentos; no segundo caso porém, que he o da lente *convexo-concava*, o signal negativo de D' indica, que o foco principal cahê do outro lado da lente, relativamente ao ponto radiante; e por tanto o foco será real, e haverá nelle hum concurso effectivo dos raios emergentes.

98. Para termos a expressão D' da distancia focal principal, quando as lentes se suppozermem convexas para o lado do ponto luminoso, não teremos mais, que inverter na expressão o signal do raio; por quanto he o signal do raio,

quem evidentemente determina na fórmula o sentido da curvatura.

99. Se suppozermos agora huma lente *convexo-convexa*, formada por superficies esféricas iguaes; teremos os raios r , e r' iguaes; mas de signaes contrarios, isto he, $r = -r'$, e a fórmula (B) mudar-se-ha em - - - - -

$$\frac{1}{D'} = \frac{2(n-1)}{r}$$

da qual se tira

$$r = 2 D' (n - 1).$$

Se pois recebermos sôbre huma lente *convexo-convexa*, formada por superficies esféricas de raios iguaes, a luz do sol; ou de qualquer objecto mui distante, e determinarmos experimentalmente a distancia D' do fóco principal, o que se fará como para o espelho concavo; poderemos concluir o raio da lente, supposto conhecido n , para o vidro, de que a lente he formada. Este modo de determinar o raio, he sómente possível, quando as lentes são convergentes; unico caso, em que o fóco he real, e observavel, e quando conhecemos de antemaõ a relação entre os raios r , e r' ; por quanto entrando estes raios ambos da mesma maneira na composição da distancia focal, teremos huma só equação para determinar duas incognitas; o que deixaria o problêma indeterminado, a não termos essa condição anterior, que nos dá para a solução do problêma huma segunda equação.

100. A serie de desprezos, que fizemos no calculo, pelo qual deduzimos todas as expressões acima, nos mostra, que já mais, mathematicamente fallando, o fóco de qualquer lente pôde ser hum ponto, e que todas estas expressões não são mais, que aproximações. Porém como os sentidos, e os meios experimentaes, de que podêmos dispôr são grosseiros, como além disto na natureza não ha nem pontos, nem linhas geometricas; he necessario fazer semelhantes desprezos, todas as vezes, que podêmos demonstrar, que elles estão fóra dos limites das grandezas observaveis; por quanto a falta delles só serviria de complicar as expressões com termos insensíveis na observação dos phenomenos. Este limite dos desprezos, he o que aqui fizemos vêr sufficientemente pelo raciocinio, e poderíamos pôr em completa evidencia pelo calculo, mos-

trando a ordem dessas grandezas desprezadas; se o plano da nossa obra não excluísse os calculos complicados, que não são rigorosa, e absolutamente necessarios para a clara intelligencia das proposições, que avançamos.

*Investigação das causas physicas da Reflexão,
e da Refracção.*

101. Depois de havermos nos §§ antecedentes patenteados os principaes phenomenos, produzidos pela luz reflectida, e refracta ordinariamente; depois de havermos achado a lei geral, que preside á reflexão especular, e a que rege a refracção simples, e ordinaria; cumpre, meditando estes factos, e as leis, que delles deduzimos, penetrar mais ávante no conhecimento das acções observadas, e determinar, se nos fôr possível, as forças, que os originaõ, investigar finalmente, quaes sejaõ as causas physicas de taes phenomenos. Para proceder com ordem neste trabalho, começaremos pela reflexão, e passaremos depois á refracção.

Reflexão.

101. Antes de Newton, os Physicos pertendiaõ explicar a reflexão da luz nas superficies especulares, pela theoria geral da reflexão dos corpos elasticos, e vendo os raios de luz mudar de direcção ao tocar similhantes superficies, e retroceder, formando o angulo de reflexão igual ao angulo de incidencia, consideráraõ sem hesitação as superficies especulares como planos, e as molléculas luminosas como esféras elasticas, que vindo com huma dada velocidade chocar estes planos, se reflectiaõ segundo a lei geral da elasticidade, isto he, formando, como com effeito fórmaõ, o angulo de reflexão igual ao de incidencia.

102. Newton porém, cujo génio já mais soube contentar-se com explicações vagas, e sómente plausiveis; Newton, costumado a avaliar as grandezas, não em si mesmas; mas em relação ás grandezas, com que se comparaõ, não podia satisfazer-se com huma similhante explicação. Prescindindo aqui das difficuldades, que nesta hypothese, lhe antolhava a explicação dos phenomenos da refracção, e de huma infinidade de outros, por elle observados; a hypothese em si mes-

ma lhe pareceo envolver erros, e inexactidões inadmissiveis. Com effeito, se as superficies especulares planas, são taes, relativamente aos nossos sentidos, não podem suppôr-se taes, relativamente ás molléculas de luz, que sabemos serem incomparavelmente menores, que as menores grandezas apreciaveis. Relativamente a estas molléculas athomisticas, as superficies especulares são superficies irregulares despolidas, e escabrosas, e se as molléculas luminosas se reflectissem pelo choque contra taes superficies; cada raio, reflectido sôbre a superficie elementar da sua incidencia, inclinada de huma maneira diversa das outras, reflectir-se-hia em huma direcção particular; e a superficie a mais escrupulosamente polida pelos nossos meios os mais delicados, daria ainda sómente huma reflexão irregular, como a observamos na superficie a mais escabrosa.

104. Similhante reflexão bastaria só por si para fazer regeitar desde logo a antiga explicação, e Newton por ella, e pelas mais, que omitimos, convencido, que outra devia ser a causa da reflexão da luz, começou sôbre este objecto, sôbre a refração, e sôbre outros objectos de optica, huma serie de trabalhos, e descubertas, que lhe grangeárao nesta parte da physica huma gloria em nada inferiôr, á que lhe merecêrao os seus trabalhos astronomicos.

105. Acabámos de mostrar, que a luz não pôde ser reflectida pelas superficies especulares, por choque das molléculas luminosas contra aquellas superficies; por quanto hum similhante choque só poderia produzir huma reflexão irregular, qualquer que fosse o polimento dado á superficie pelos procêssos os mais delicados. Sabemos por outra parte, que os raios de luz seguem a direcção rectilinea primitiva até ao contacto apparente com aquellas superficies, e que só então trocáo a direcção primitiva na nova direcção, que lhes assigna a lei observada da reflexão. He por tanto indispensavel reconhecer, que as molléculas luminosas, que fórmao os raios, se reflectem antes de tocar as superficies reflectidoras, e em huma distancia dellas, que inferior ás menores grandezas apreciaveis, he ainda consideravel relativamente ás dimensões das referidas molléculas. Este modo de conceber a reflexão, nos conduz a reconhecer a existencia de huma força repulsiva da parte da superficie reflectidora sôbre as molléculas luminosas, a qual força, combatendo a componente

da velocidade das molléculas ao longo do raio normal á superficie, a diminue, a destroe, e a final a suppéra; e compondo-se com a componente da força de projecção da mollécula parallela á superficie, lhe dá em definitivo huma velocidade uniforme ao longo do raio reflectido. Como porém o desvio das molléculas só começa a ser sensível no contacto apparente com a superficie reflectidora, concluiremos, que qualquer que seja a lei, segundo a qual diminue a acção repulsiva, que nos occupa, com o incremento da distancia, esta lei deve ser por extremo convergente.

106. Vimos, §. 35, que se os raios de luz incidem na superficie polida de hum meio diafano, sómente parte da luz he reflectida; e outra parte penetra no interior do meio, aonde segue a direcção, que lhe assigna a lei da refração. Esta observação nos mostra, que se das superficies reflectidoras dimana huma acção repulsiva sôbre as molléculas luminosas, esta acção não he absoluta; pois que vemos huma certa porção de luz escapar a ella, e penetrar no meio. Para explicar esta anomalia, ou, por melhor dizer, esta contradicção apparente, bastará suppôr, que a acção da superficie reflectidora sôbre as molléculas luminosas; não depende sómente da natureza da superficie; mas tambem das circumstancias, em que as molléculas luminosas, se appresentão na estera da sua acção: e conceber por tanto, que as molléculas de luz, cuja successão compõe o raio luminoso, não chegão todas ao limite da acção da superficie reflectidora em circumstancias identicas.

Para darmos huma imagem grosseira deste modo de applicação, imaginemos, que o plano superficial, seja a região polar austral, ou boreal de hum magnete, e que sôbre esta região se dirija hum raio, formado de pequenas agulhas magnéticas, cujos pólos sejaõ situados diversamente. He claro, que todas as agulhas, que penetrarem na esfera de acção do magnete, appresentando lhe os pólos do mesmo nome, seraõ repellidas, e que pelo contrario seraõ attrahidas, as que lhe appresentarem o pólo de nome opposto.

Este modo de conceber a causa da reflexão, não he pois contradicção pelo phenomeno da refração, que tem lugar simultaneamente com elle; examinemos por tanto mais particularmente as consequencias, que d'elle dimanaõ, e vejamos, sôbre tudo, se a lei geral da reflexão, achada por experien-

cia nos §§ 32, e seguintes, he delle huma necessaria consequencia.

107. Temos reconhecido, que as molléculas materiaes da superficie reflectidora, exercem huma acção repulsiva sôbre as molléculas luminosas; porém que esta acção, só tem lugar sôbre aquellas, que se achão em certas circumstancias, ao entrar na esfera sensivel da repulsaõ. Sem pertendermos interpretar quaes sejaõ essas circumstancias; mas sómente para dar mais clareza ao raciocinio, e mais concisaõ ao discurso, dividiremos as molléculas, que compõem os raios de luz em duas classes, que seraõ: a das molléculas, que se apresentaõ na esfera sensivel da força repulsiva, em circumstancias de serem repellidas, e chamar-lhes-hemos molléculas *reflectiveis*: e a das molléculas capazes de experimentar a acção da refraçãõ, ás quaes chamaremos *refrangiveis*.

108. Isto posto, he claro, que se huma superficie fôr plana, ou se as asperezas, que a cobrem fôrem assás pequenas, para que a sua grandeza se póssa suppôr nulla, relativamente ao raio da esfera sensivel da força repulsiva, (e tal he a superficie dos corpos polidos) a força repulsiva será por toda a parte a mesma, e normal á superficie; e por tanto, quando hum raio de luz se dirigir sôbre a referida superficie, todas as molléculas reflectiveis do mesmo raio, o seraõ da mesma maneira, o que produzirá huma reflexãõ especular; todas as molléculas refrangiveis escaparão á acção repulsiva, e penetrarão no meio; e se houverem molléculas no raio, cujo estado seja intermedio a estes dois oppostos, estas molléculas seguirão marchas diversas, confôrme o seu estado, e seraõ dispersadas em sentidos diversos, o que produzirá a reflexãõ irregular, que se nota em todas as experiencias.

109. Se porém a superficie fôr despolida, isto he, se as asperezas, que a cobrirem, fôrem de dimensões sensiveis, relativamente ao raio da esfera da acção repulsiva; a repulsaõ definitiva da superficie, será de intensidades diversas nos seus diversos pontos; as acções differentes em direcção das superficies das asperezas, irregularmente situadas, destruindo-se em parte, e compondo-se em parte, em direcções diversas, faraõ com que poucas molléculas reflectiveis experimentem a acção regular, de que depende a reflexãõ especular, e a maior parte dellas, dispersadas confusamente, e até recalçadas para

o interiôr das cavidades do côrpo, produzirão huma reflexão fraca, e inteira, ou quasi inteiramente irregular.

110. Vemos pois, que a admissão da acção repulsiva, qual a temos considerado, nos dá razaão dos primeiros phenomenos de reflexão, que observámos; ou por melhor dizer, que taes phenomenos seriaõ previstos pelo desenvolvimento desta hypothese, se a experiencia de antemão os não houvera mostrado. A lei geral da reflexão especular vai decorrer com igual facilidade do mesmo principio.

Fig. 27.^a

111. Seja AB huma superficie especular indefinida, e representemos pela parallela $A'B'$ o limite, além do qual a acção repulsiva da superficie he insensível. Seja m huma mollécula reflectivel do raio incidente SI , que movendo-se no vácuo, vem incidir em I na superficie AB , e representemos por mI a velocidade propria da mollécula luminosa. Como a direcção mI he obliqua á superficie, decomponhamo-la nas duas, mP parallela, e PI normal á dita superficie. He claro, que a força mP não poderá ser alterada pela acção repulsiva da superficie, que lhe he perpendicular; mas a força PI será cada vez menor, á medida, que a mollécula se aproximar da superficie, e chegará hum momento, em que será nulla. A mollécula de luz, animada por consequente, desde que tocou a recta $A'B'$ por duas forças perpendiculares, huma constante no sentido mP , outra decrescente no sentido PI , deverá, segundo as leis da mechanica, descrever huma trajetoria mI' convexa para a superficie AB .

Chegada a mollécula ao ponto I' , onde a força, no sentido PI , se acha aniquilada, a mollécula continuaria a mover-se parallelamente á superficie, e no sentido AB , em virtude da força mP , se a acção repulsiva não começa-se desde logo a restituir-lhe no sentido IP , velocidades crescentes, segundo a mesma lei, em que decrescêraõ as primitivas velocidades no sentido PI ; mas em virtude destas acções combinadas, a mollécula, a contar do ponto I' , descreverá outra trajetoria $I'm'$ semelhante á primeira, e convexa como ella para o lado de AB , e chegada finalmente ao limite $A'B'$ da acção repulsiva, a mollécula tomará hum movimento uniforme, e a mesma velocidade, que trazia antes de tocar $A'B'$; porém a direcção será a recta $m'R'$ tangente á extremidade do ramo $I'm'$ da trajetoria.

Se agora tirarmos pelo ponto I' , a normal $I'N$ á superficie AB , esta recta dividirá a curva em duas partes iguaes, e semelhantes; e consequentemente as tangentes extremas Sm , e $m'R$ formarão angulos iguaes com a normal $I'N$.

Como porém o limite $A'B'$ da acção repulsiva he, pela hypothese, extremamente proximo a AB , e tal que os sentidos não podem apreciar a distancia AA' , que della o separa; seguir-se-ha, que os sentidos não poderaõ distinguir a trajetoria $mI'm'$, descripta pelas molléculas luminosas; mas estas parecêraõ reflectir-se subitamente no ponto I , fazendo o angulo de reflexão NIR , igual ao angulo de incidencia SIN . (Lei fundamental da reflexão, achada pela observação).

112. Para que a hypothese admittida, da acção repulsiva das molléculas da superficie reflectidôra, sôbre as molléculas reflectiveis da luz, reproduza a lei observada da reflexão, não he necessario suppôr, que a lei do seu enfraquecimento em razão da distancia seja regular; poderemos suppôr nesta força huma lei irregular, e até intermitencias nas diferentes distancias, sem que por isso a referida lei, deixe de ser della huma consequencia inevitavel. Com effeito as irregularidades da lei, e as intermitencias tornaraõ sinuoso o primeiro ramo mI' da trajetoria; como porém nas mesmas distancias, do outro lado da normal NI' , o segundo ramo $I'm'$ da trajetoria offerecerá as mesmas sinuosidades, symetricamente dispostas; os dois ramos mI' , e $I'm'$ da trajetoria seraõ ainda symetricos, e tanto basta, para que as tangentes extremas, que são as unicas observaveis, formem angulos iguaes com a normal, que he a condição exigida pela lei.

113. Huma condição porém essencial, para que a reflexão se faça segundo a lei, he que o plano de incidencia possa suppôr-se indefinido, relativamente a mollécula de luz, que se considera; pois só entaõ podemos suppôr a acção repulsiva rigorosamente a mesma por toda a parte, em distancias iguaes da superficie, e normal á mesma superficie, condições indispensaveis para a symetria dos dois ramos da trajetoria. Mas para que hum plano se possa suppôr indefinido relativamente á acção, que nos occupa, a qual só se estende a distancias inapreciaveis, basta, que o plano tenha dimensões sensiveis, e por tanto a reflexão especular terá lugar em toda a superficie, excepto sómente nas suas extremidades, o

que he conforme á experiencia, como veremos mais perfeitamente no decurso deste tractado.

114. Quando as molléculas de luz vem, como até agora o suppozemos, incidir na superficie especular através do vácuo, temos a considerar sómente a acção da superficie de incidencia; mas quando esta superficie, em vez de ser o limite, que separa hum côrpo do vácuo, he, como succede quasi sempre na practica, a superficie de separação de dois meios heterogeneos, he claro, que se a superficie de incidencia exerce sôbre as molléculas de luz huma acção repulsiva, a superficie do outro meio, em que a luz se movia, exercerá tambem huma acção repulsiva de direcção contraria, e por conseguinte a mollécula luminosa será sempre animada pela velocidade mP , parallelá á superficie commum AB dos dois meios; mas a componente $I'P$ normal a esta superficie, será alterada, não já por toda a acção repulsiva do meio, em cuja superficie incide; mas pela differença das acções repulsivas dos dois meios, que a superficie AB separa. He porém claro, que se esta condição altera diversamente do caso precedente, o valôr da componente normal á superficie, como esta differença influe da mesma maneira nos dois ramos mI' , e $I'm'$ da tragectoria, esta curva será ainda neste caso symetrica de hum, e outro lado da normal $I'N$, e a reflexão se fará ainda, sendo o angulo de reflexão igual ao angulo de incidencia, conformemente á observação.

115. De ser a reflexão, na passagem da luz de hum para outro meio, dependente, como acabamos de vêr, não da energia absoluta da força repulsiva de cada hum dos dois meios; mas da differença das forças repulsivas de cada hum delles; segue-se, que se os dois meios exercerem sôbre a luz acções identicamente iguaes, não haverá reflexão alguma, e não poderemos neste caso distinguir a superficie de separação de taes meios; ou, o que he o mesmo, a superficie será perfeitamente diafana. Taes são as superficies imaginarias, que podemos suppôr separarem os stractos successivos de hum meio homogéneo, as quaes não podemos distinguir de maneira alguma.

116. A experiencia mostra, que a acção repulsiva dos diversos meios sôbre as molléculas reflectiveis da luz, não he sómente funcção da densidade dos meios; mas tambem da sua natureza: conformando-se nisto a referida acção com to-

das aquellas, cuja esfêra sensível se limita ao contacto apparen-te, e que no comêço deste tractado distinguimos pela denominação de, *acções chymicas*. Por esta razão, meios dedensidades mui diversas, com tanto, que sejaõ de tal natureza chymica, que venhaõ a produzir sôbre a luz repulsões indenticamente iguaes, poderãõ produzir sôbre os raios luminosos, que os atravessaõ, o mesmo effeito, que os stractos successivos de hum meio homogêneo. Assim muitas substancias, que reflectem a luz, que sôbre ella incide atravessando o ar, não a reflectem quando, estando imergidas na agoa, a luz lhes chega através daquelle fluido; e opâcas no primeiro caso, são translucidas, e até diafanas no segundo. Do mesmo modo huma substancia diafana, quando se acha no ar, em certas temperaturas; pôde em outras tornar-se opâca, e reciprocamente. Donde resulta, como mui judiciosamente nota o Professor Biot no seu tractado de physica experimental, e mathematica, que a diafaneidade, e a opacidade das substancias, não são propriedades inherentes ás particulas materiaes, que as constituem; porém dependem do arranjo reciproco destas particulas.

117. Voltando agora a considerar o estado da superficie; em que a luz incide, vimos pela theoria exposta, que todas as molléculas luminosas reflectiveis o seriaõ especularmente, quando a superficie reflectidôra fosse absolutamente plana, isto he, perfeitamente polida, pois que entãõ a acção repulsiva da superficie no sentido normal á mesma, tocaria o seu maximo. Pelo contrario quando a superficie he escabrosa, a luz reflectida especularmente, he na menor proporção possível; por quanto, nestê caso, a acção repulsiva da superficie, normal á mesma, toca o seu minimo. Daqui resulta, que tanto mais se aproximar a superficie do estado de perfeito polimento, tanto maior será a porção de luz reflectida especularmente, e reciprocamente; por quanto a força repulsiva normal á superficie, da qual depende a reflexão especular, se aproximará tanto mais do seu maximo, ou do seu minimo.

118. Porém reflectindo nós, que todas as vezes, que a incidencia de hum raio de luz he obliqua á superficie reflectidora, a velocidade da mollécula luminosa ao longo do raio incidente, se pôde decompôr em duas, huma parallelâ á superficie, e a outra normal á mesma superficie, e que para

que a mollicula seja reflectida, basta que a aççãõ repulsiva pôssa destruir esta segunda componente, pois que a primeira jámais he por ella alterada, no caso da reflexãõ especular: concluiremos, que a facilidade de reflexãõ, para huma mesma superficie crescerá, diminuindo o valôr daquella componente; mas este valôr he tanto menor, quanto o raio incidente mais se affasta da direcçãõ normal á superficie: logo huma mesma superficie deverá reflectir especularmente, tanto mais luz, quanto esta incidir sôbre ella com maior obliquidade.

Esta consequencia da hypothese adoptada he, como as antecedentes, confirmada pela experiencia. Com effeito, se sôbre huma lamina de vidro despolido, recebemos hum raio de luz, sob huma incidencia mui proxima da perpendicular á superficie, apenas se notará huma reflexãõ especular mui fraca; se porém augmentâmos successivamente o angulo de incidencia, a reflexãõ especular tornar-se-ha cada vez mais abundante; e na proximidade do parallelismo, esta superficie dará huma reflexãõ especular quasi taõ energica, como a que pôde produzir huma superficie polida, em iguaes circumstancias.

Refracçãõ.

119. Do mesmo modo, que a admissãõ de huma fôrça repulsiva da parte dos meios sôbre as molliculas luminosas reflectiveis, nos deo rigorosamente razaõ de todos os phenomenos da reflexãõ; a admissãõ de huma fôrça attractiva da parte dos meios sôbre as molliculas de luz refrangiveis, semelhante á precedente, pelo que respeita á lei do seu enfraquecimento pelo incremento da distancia; nos dará rigorosamente razaõ de todos os phenomenos, dependentes da refracçãõ simples.

Fig. 28.^a 120. Seja AB a superficie de hum meio refringente, e SI hum raio de luz incidente, que se propaga no vácuo. Se a superficie AB se considêra indefinida relativamente á luz incidente, para o que bastará neste caso, como no da reflexãõ, que a dita superficie tenha dimensões sensiveis; e se além disto he plana, relativamente á extensãõ do raio da esfêra sensivel da aççãõ attractiva; esta fôrça será por toda a parte a mesma, e normal á superficie. Tomando entãõ hu-

ma distancia AA' perpendicular a AB , para designar o raio da esfera sensível da força attractiva, e tirando $A'B'$ parallelamente a AB , esta parallelamente será o limite exterior da acção sensível do meio, que consideramos.

Tomemos agora no raio SI huma mollécula refrangível m , e seja mI a velocidade desta mollécula, ao longo do raio SI . Poderemos decompôr esta velocidade, nas duas, MP parallelamente a AB , e PI perpendicular a esta superficie. A primeira componente, não poderá ser de modo algum alterada pela acção attractiva do meio, que lhe he perpendicular em direcção; mas a componente PI crescerá a cada instante em virtude da attracção do meio, que he huma força acceleratriz, dirigida no mesmo sentido, e cuja intensidade cresce desde $A'B'$, onde começa a ser sensível, até AB onde tem o seu maximo. A mollécula m será pois a datar do ponto m , em que penetra no limite $A'B'$, animada por duas forças perpendiculares, huma MP parallelamente a AB , e constante, e outra PI perpendicular a AB , crescente em cada instante: esta mollécula deverá pois, segundo as leis da mechanica, descrever huma trajectoria curvilínea mI' , concava para o lado da superficie AB .

Quando agora a mollécula m tendo chegado a I' , penetrar no interior do meio, se tomarmos a distancia AA'' igual, e opposta a AA' , e tirarmos a parallelamente $A''B''$ á superficie AB , a mollécula descreverá entre as parallelas AB , e $A''B''$ huma trajectoria curvilínea concava, no sentido da primeira, e chegada ao ponto I'' sôbre $A''B''$, continuará a mover-se uniformemente, e na direcção $I''R$, tangente á trajectoria $I'I''$ no extremo della.

Para provarmos esta proposição, bastará mostrar, que em distancias iguaes para hum, e outro lado da superficie refringente, a acção do meio sôbre a mollécula luminosa, he rigorosamente a mesma.

A fim de o demonstrarmos, seja AB a superficie do meio, e representem as parallelas $A'B'$, e $A''B''$ equidistantes de AB , os limites exterior, e interior da acção attractiva da superficie AB sôbre as molléculas luminosas. De hum, e outro lado de AB tirem-se as duas parallelas tambem equidistantes ab , e $a'b'$ situadas dentro dos limites da acção attractiva, e representemos, por simplificar, as distan-

Fig. 29.^a

cias iguaes AA' , e AA'' , por r , e as distancias tambem iguaes Aa , e Aa' , por d .

Se imaginarmos huma mollécula refrangivel m , situada na parallela ab , para avaliarmos qual será sôbre ella a acção do meio, tomaremos perpendicularmente a AB , a distancia $mo = r$, e tirando a parallela $o'o''$ a AB , a mollécula será attrahida, no sentido mo , por hum stracto indefinido do meio, cuja espessura será AO' , e a distancia á mollécula Aa , isto he, será attrahida no sentido mo por hum stracto do meio da espessura $r - d$, obrando da distancia d .

Se imaginarmos agora a mollécula transferida a m' sôbre $a'b'$, para termos sôbre ella a acção do meio, tomaremos perpendicularmente a AB , a distancia $m'p = r$, e tiraremos a parallela $p'p''$ a AB , e tomaremos do mesmo modo a distancia $m'n = Aa' = d$, e tiraremos pelo ponto n a parallela $n'n''$ a AB . Então a mollécula será attrahida no sentido de mo , pelo stracto indefinido $a'n'n''b'$ do meio, cuja espessura he $m'n = d$, e a distancia á mollécula zero; será demais a mollécula attrahida no mesmo sentido pelo stracto indefinido $n'p'p''n''$ do meio, cuja espessura he $np = r - d$ obrando da distancia $nm' = d$; será finalmente a mollécula attrahida em sentido contrario, pelo stracto indefinido do meio $Aa'b'B$, cuja espessura he $AA' = d$, e a distancia á mollécula zero. As acções pois, que o meio exerce sôbre a mollécula seraõ as seguintes, affectando do signal $+$, as que se exercem no sentido mo , e do signal $-$, as que se exercem no sentido opposto.

+ Attracção de hum stracto da espessura d , obrando da distancia zero.

- Attracção de hum stracto da espessura d , obrando da distancia zero.

+ Attracção de hum stracto da espessura $r - d$, obrando da distancia d .

Ora esta ultima acção será a unica efficaz, e por tanto: *a acção do meio he a mesma sôbre a mollécula, fóra, e dentro do meio, em distancias iguaes da sua superficie.*

Sendo assim, como sabemos, que a acção do meio sôbre a mollécula só começa, quando a mollécula se acha á quem do limite externo $A'B'$ da força attractiua da superficie, is-

to he, cessa de existir, desde que $d=r$: logo na distancia $d=r$, tomada para o interior do meio, cessará tambem de existir a acção do meio sôbre a mollécula, e por tanto esta, chegando ao ponto da trajetoria, cortado pela parallela $A'B'$ á superficie, limite interno da acção attractiva da mesma superficie, não experimenta acção alguma effectiva da parte do meio, continuando por tanto a mover-se sómente com a velocidade adquirida, e por isso com movimento uniforme, e ao longo da recta tangente ao extremo da mesma trajetoria.

121. O raio r da esféra sensível da attracção do meio sôbre as molléculas refrangiveis da luz, he tão pequeno, que não pôde ser apreciada pelos sentidos, e consequentemente tambem não podem estes distinguir a trajetoria curvilinea da mollécula ao penetrar no meio, e daqui resulta, que o raio luminoso parece quebrar-se subitamente no ponto de incidencia, e tomar naquelle mesmo ponto, huma nova direcção rectilinea mais proxima da normal á superficie no ponto de incidencia.

122. A hypothese sôbre a causa da refracção não seria digna do seu illustre Author, se se limitasse a dar huma explicação plausivel dos phenomenos observados; porém desta hypothese deve dimanar, e dimanar com effeito como consequencia necessaria, e analyticamente deduzida, a lei geral da refracção descoberta por Descartes, isto he, a constancia da razão entre o Seno de incidencia, e o Seno de refracção, para os mesmos meios, debaixo de quaesquer incidencias. Para pôrmos por tanto em plena evidencia o valôr, que deve dar-se a esta hypothese; entraremos nas seguintes considerações.

123. Representemos por AB a superficie refringente, e pelas parallelas $A'B'$, e $A''B''$ os limites exterior, e interior das forças attractivas. Seja m huma mollécula refrangivel de luz, que movendo-se no vácuo, segundo a direcção SI , chega com a velocidade constante v , ao limite $A'B'$ da acção do meio. Fig. 30.^a

Qualquer que seja a lei, segundo a qual a acção attractiva do meio varia com a distancia desde o limite $A'B'$ até AB , se dividirmos este espaço em zonas infinitamente delgadas, pelas parallelas ab , cd , ef , &c. á superficie AB , poderemos suppôr constante a acção attractiva na extensão de cada huma destas zonas: representemos pois pelas constantes a , a_1 ,
Tom. II.

movimento uniformemente acelerado, Secção 1.^a § 40)
 $\frac{at^2}{2}$; logo o espaço percorrido pela mollécula no fim do
 tempo t , em virtude de todas as forças, que a sollicitão será

{ Parallelamente á superficie da zona - - - - $t \cdot v \text{ Sen } I$
 { Perpendicularmente áquella superficie - $t \cdot v \text{ Cos } I + \frac{at^2}{2}$,

e as velocidades da mollécula no fim do mesmo tempo, se-
 raõ - - - - -

(a) { Parallelamente á superficie da zona - - - - $v \cdot \text{Sen } I$
 { Perpendicularmente áquella superficie - $v \text{ Cos } I + at$

Se pois designarmos por x , e por y as coordenadas rec-
 tanguulares da mollécula m no fim do tempo t , contadas de I
 parallelamente a superficie AB , e perpendicularmente a es-
 ta superficie, teremos - - - - -

$$x = t \cdot v \cdot \text{Sen } I$$

$$y = t \cdot v \cdot \text{Cos } I + \frac{at^2}{2};$$

mas no tempo t , a mollécula tem, por hypothese, atraves-
 sado a zona; se pois designarmos por e a sua espessura, te-
 remos no fim do dito tempo, $y = e$, ou pondo por y o seu
 valôr - - - - -

$$t \cdot v \cdot \text{Cos } I + \frac{at^2}{2} = e$$

ou

$$t^2 + \frac{2t \cdot v \text{ Cos } I}{a} = \frac{2e}{a},$$

donde se tira

$$t = -\frac{v \cdot \text{Cos } I}{a} + \sqrt{\left(\frac{v^2 \text{Cos}^2 I}{a^2} + \frac{2e}{a}\right)} =$$

$$-\frac{v \text{ Cos } I}{a} + \frac{1}{a} \sqrt{(v^2 \cdot \text{Cos}^2 I + 2ae)}.$$

Das duas raizes desta equação, só pôde ter lugar a posi-
 tiva no caso que nos occupa; por quanto o tempo, assim
 como o espaço percorrido devem pela natureza da questão
 ser positivos, logo teremos - - - - -

$$(b) \quad t = -\frac{v \cos I}{a} + \frac{1}{a} \sqrt{(v^2 \cos^2 I + 2ae)}$$

Se substituirmos este valôr de t na expressão da velocidade perpendicular à superfície, achada em (a), será esta velocidade

$$v \cos I + a \left(\frac{-v \cos I}{a} + \frac{1}{a} \sqrt{(v^2 \cos^2 I + 2ae)} \right) = \sqrt{(v^2 \cos^2 I + 2ae)}$$

Reflectindo sôbre este valôr da velocidade perpendicular a AB , adquirida pela mollécula luminosa no fim da primeira zona, vê-se, que este valôr se compõe, do quadrado, $v^2 \cos^2 I$, da força inicial da mollécula ao penetrar na zona, e da quantidade $2ae$ independente de I , e de v , e funcção sómente da espessura e da zona, e da intensidade a da acção attractiva entre os limites da mesma. Esta consideração nos põe em circumstancias de formar a expressão da velocidade perpendicular a AB , adquirida pela mollécula de luz nas zonas seccessivas, cujas espessuras designámos por $e, e_2, e_3, \&c. e_n$, e as intensidades das acções attractivas correspondentes por $a_1, a_2, a_3, \&c. a_n$; estas expressões, se representarmos por W a velocidade perpendicular, adquirida no fim da zona antecedente, serão da fórma

$$\sqrt{(W^2 + 2a_\pi e_\pi)}$$

sendo π o indicio do valôr da acção attractiva, e da espessura, na zona, que se considera.

Daqui se vê, que as velocidades da mollécula de luz no fim das zonas successivas, serão

Fim da 1. ^a zona	{	Parallelamente a AB ,
		$v \cos I$:
Fim da 2. ^a zona	{	Perpendicularmente a AB ,
		$\sqrt{(v^2 \cos^2 I + 2ae)}$.
Fim da 2. ^a zona	{	Parallelamente a AB ,
		$v \cos I$:
Fim da 2. ^a zona	{	Perpendicularmente a AB ,
		$\sqrt{(v^2 \cos^2 I + 2ae + 2a_2 e_2)}$.

$$\text{Fim da } 3^{\text{a}} \text{ zona} \left\{ \begin{array}{l} \text{Parallelamente a } AB, \\ v. \text{ Sen } I: \\ \text{Perpendicularmente a } AB, \\ \sqrt{(v^2 \text{ Cos}^2 I + 2ae + 2a_1 e_1 + 2a_2 e_2)}. \\ \&c. \quad \quad \quad \&c. \quad \quad \quad \&c. \end{array} \right.$$

$$\text{Fim da } z\text{-na } (n+1) \left\{ \begin{array}{l} \text{Parallelamente a } AB, \\ v. \text{ Sen } I: \\ \text{Perpendicularmente a } AB, \\ \sqrt{(v^2 \text{ Cos}^2 I + 2ae + 2a_1 e_1 + \dots + 2a_n e_n)}. \end{array} \right.$$

e se suppozermos $(n + 1)$ igual ao numero das zonas desde o limite $A'B'$ da acção attractiva exterior, até á superficie refringente AB , estas ultimas expressões achadas, serão os valores das velocidades da mollécula no ponto m' , em que ella chega á superficie do meio.

Chegada a mollécula á superficie AB , aonde tem as velocidades, que acabamos de calcular, começará com ellas, a penetrar no meio, e desde AB até ao limite interior da acção attractiva da superficie, adquirirá velocidades sempre crescentes no sentido perpendicular a AB , em virtude da acção do meio. Se dividirmos o espaço entre AB , e $A''B''$ em hum numero $n + 1$ de zonas das espessuras e, e_1, e_2, \dots, e_n , provamos, § 120, que as acções attractivas do meio sobre a mollécula, serão nestas zonas as mesmas, que nas zonas correspondentes, situadas entre o limite exterior $A'B'$, e a superficie AB ; e como conhecemos a velocidade inicial normal á superficie, com que a mollécula penetra na primeira zona, que he $\sqrt{(v^2 \text{ Cos}^2 I + 2ae + 2a_1 e_1 + \dots + 2a_n e_n)}$, teremos as velocidades seguintes no fim de cada huma das novas zonas

$$\text{No fim da } 1^{\text{a}} \text{ zona} \left\{ \begin{array}{l} \text{Parallelamente a } AB, \\ v. \text{ Sen } I: \\ \text{Perpendicularmente a } AB, \\ \sqrt{(v^2 \text{ Cos}^2 I + 2ae + 2a_1 e_1 + 2a_n e_n + 2a_n e_n)}. \end{array} \right.$$

$$\text{No fim da } \left\{ \begin{array}{l} \text{Paralelamente a } AB, \\ \text{v. Sen } I: \\ \text{Perpendicularmente a } AB, \\ \sqrt{(v^2 \text{Cos}^2 I + 2ae + \dots + 2a_n e_n + 2a_n e_n + 2a_{n-1} e_{n-1})}. \\ \text{\&c.} \quad \text{\&c.} \end{array} \right.$$

$$\text{No fim da } \left\{ \begin{array}{l} \text{Paralelamente a } AB, \\ \text{v. Sen } I: \\ \text{Perpendicularmente a } AB, \\ \sqrt{(v^2 \text{Cos}^2 I + 2ae + \dots + 2a_n e_n + 2a_n e_n + \dots + 2ae)} \\ = \sqrt{(v^2 \text{Cos}^2 I + 4ae + 4a_1 e_1 + \dots + 4a_n e_n)} \text{ -- (c).} \end{array} \right.$$

Taes serãõ pois as velocidades da mollécula de luz, quando tem chegado ao limite interiôr da acção da superficie; e como sabemos, que dalli em diante a mollécula continúa a mover-se uniformemente, e com a velocidade adquirida, ser-nos ha facil calcular a direcção do raio refracto; isto he, a direcção, em que a mollécula deve caminhar.

Fig. 30.^a

Para este fim, seja $A''B''$ o limite interiôr da acção atractiva da superficie AB , e I' o ponto, em que a mollécula luminosa chega a esta superficie limite. Representemos por $I'O$ a velocidade da mollécula no sentido paralelo a AB , e por $I'O'$ a velocidade da mollécula no sentido perpendicular a mesma superficie, tirando OR , e $O'R$ parallelas a $I'O'$, e $A''B''$, a diagonal $I'R$ será o espaço descripto pela mollécula na unidade de tempo, em virtude daquellas duas velocidades.

O triangulo $I'O'R$ rectangulo em O' , dá

$$1 : \text{Sen } I' :: I'R : O'R,$$

ou

$$\text{Sen } I' = \frac{O'R}{I'R} = \frac{O'R}{\sqrt{O'R^2 + I'O'^2}}$$

Mas $O'R$ he a velocidade da mollécula parallelamente a AB , e $I'O'$ a velocidade da mollécula perpendicularmente a

AB: logo teremos, pondo por estas velocidades os seus valores (*c*) - - - - -

$$\text{Sen } I' = \frac{v \cdot \text{Sen } I}{\sqrt{v^2 \text{Sen}^2 I + v^2 \text{Cos}^2 I + 4ae + 4a_1 e_1 + \dots + 4a_n e_n}}$$

$$= \frac{v \cdot \text{Sen } I}{\sqrt{(v^2 (\text{Sen}^2 I + \text{Cos}^2 I) + 4ae + 4a_1 e_1 + \dots + 4a_n e_n)}}$$

$$\sqrt{(v^2 + 4ae + 4a_1 e_1 + \dots + 4a_n e_n)};$$

donde se tira

$$\frac{\text{Sen } I}{\text{Sen } I'} = \frac{\sqrt{(v^2 + 4ae + 4a_1 e_1 + \dots + 4a_n e_n)}}{v} \dots (d).$$

O segundo membro desta equação, he completamente independente do angulo de incidencia *I*, e depende tão somente de *a*, *e*, e *v*, que representaõ a acção do meio, a espessura das zonas, e a velocidade da luz no vácuo: logo este valôr será constante, em quanto o meio fôr o mesmo; quaesquer que sejaõ aliãs as incidencias; isto he, será verdadeira, e consequencia rigorosa da nossa hypothese, a lei da refração achada experimentalmente por Descartes.

124. A velocidade *I'R* da luz ao longo do raio refracto no interiôr do corpo, e além do limite interiôr da acção da superficie, he igual - - - - -

$$\sqrt{I'O'^2 + O'R^2},$$

e pondo por estas linhas os seus valôres, teremos, chamando *V* á referida velocidade - - - - -

$$V = \sqrt{(v^2 (\text{Sen}^2 I + \text{Cos}^2 I) + 4ae + 4a_1 e_1 + \dots + 4a_n e_n)}$$

$$V = \sqrt{(v^2 + 4ae + 4a_1 e_1 + \dots + 4a_n e_n)};$$

e introduzindo pelo segundo membro o seu valôr, tirado da equação (d) teremos - - - - -

$$V = v \frac{\text{Sen } I}{\text{Sen } I'};$$

mas $\frac{\text{Sen } I}{\text{Sen } I'} = N$, se N representar a razão de refracção para os meios, que se consideraõ: logo - - - - -

$$V = vN, \text{ ou } N = \frac{V}{v},$$

expressão, que significa, *ser a razão de refracção igual á razão entre as velocidades da luz, antes, e depois de penetrar no meio refringente.*

125. Para considerarmos agora a refracção da mollécula de luz na segunda superficie do meio; isto he, na superficie de emergencia, deveremos reflectir, que tudo se passará entre os limites da acção attractiva da superficie, do mesmo modo, que na superficie de imergencia, com a unica differença, que sendo agora, a acção attractiva do meio de direcção opposta á componente da velocidade inicial da mollécula normal á superficie, deveremos na expressão daquella velocidade, quando a mollécula se acha no limite exterior da acção do meio, affectar do signal — todos os termos dependentes da acção attractiva do meio, e as velocidades da mollécula no limite da refracção nesta segunda superficie seraõ, designando I'' o angulo de incidencia da luz sôbre a segunda superficie - - - - -

$$(e) \left\{ \begin{array}{l} \text{Parallelamente á superficie,} \\ v. \text{ Sen } I'' : \\ \text{Perpendicularmente á superficie,} \\ \sqrt{(v^2 \text{ Cos}^2 I'' - 4ae - 4a_1e_1 - \dots - 4a_n e_n)}. \end{array} \right.$$

Igualmente as velocidades da mollécula sôbre a superficie mesma da emersão, seriaõ - - - - -

$$(f) \left\{ \begin{array}{l} \text{Parallelamente á superficie,} \\ v. \text{ Sen } I'' : \\ \text{Perpendicularmente á superficie,} \\ \sqrt{(v^2 \text{ Cos}^2 I'' - 2ae - 2a_1e_1 - \dots - 2a_n e_n)}. \end{array} \right.$$

126. Até aqui temos considerado a mollécula de luz, pas-

sando do vácuo para o meio refringente; mas na practica a passagem da mollécula tem geralmente lugar de hum meio refringente para outro meio refringente; he porém extremamente facil passar da primeira á segunda supposição. Com effeito, se a mollécula de luz passa de hum meio a outro, ambos elles exerceraõ sôbre ella acções attractivas, dependentes da sua densidade, e natureza; demais, estas acções se exerceraõ em sentidos contrarios; e por tanto a acção definitiva dos meios sôbre a mollécula será, em cada zona comprehendida no campo da esfêra sensivel da acção dos meios, a differença entre as acções de cada hum delles. Assim, se conservando as nossas denominações primitivas, e chamando V a velocidade da luz no primeiro meio, a' , a'_1 , a'_2 , a'_n ás acções attractivas do mesmo, correspondentes ás attracções a , a_1 , a_2 ... a_n do segundo meio; a expressão das velocidades da mollécula de luz na superficie do contacto dos dois meios, será - - - - -

$$(g) \left\{ \begin{array}{l} \text{Parallelamente á superficie,} \\ V. \text{ Sen } I: \\ \text{Perpendicularmente á superficie,} \\ V \left(V^2 \text{ Cos}^2 I + 2e(a-a') + \dots + 2e_n(a_n-a'_n) \right). \end{array} \right.$$

127. As hypotheses, ou antes as theorias Newtonianas, dão-nos pois razão dos phenomenos principaes da reflexão, e da refracção, e dellas temos deduzido rigorosamente as leis fundamentaes de taes phenomenos. Estas mesmas hypotheses vão ainda indicar-nos nova ordem de phenomenos, que acharemos do mesmo modo confirmados pela experiencia.

Dos casos, em que a refracção se muda em reflexão total.

128. A refracção da luz muda-se em certas circumstancias, em huma reflexão total. Nestes casos as molléculas luminosas refrangiveis, cessando de continuar a sua marcha no interior dos meios, a que se dirigiaõ, voltaõ por huma direcção, que fórma com a normal á superficie refringente no

ponto da incidencia, hum angulo igual ao angulo de incidencia.

129. A mudança da refração em reflexão total pôde ter lugar na superficie de imergencia, ou junto desta superficie, e na superficie de emergencia, ou junto della. Trataremos primeiramente dos casos, em que a refração se muda em reflexão total na superficie de imergencia, ou proximo a ella; e passaremos depois a considerar o mesmo phenomeno, na superficie de emergencia, ou na sua proximidade.

Fig. 32.^a 130. Para que huma mollécula refrangivel de luz, que se móve para huma superficie refringente AB , na direcção, e com a velocidade MI , pôssa experimentar a reflexão, he necessario, que a componente MO desta velocidade, normal á superficie AB , pôssa reduzir-se a zero, entre os limites exterior $A'B'$, e interior $A''B''$ da acção sensivel da superficie; por quanto, antes de chegar ao limite exterior $A'B'$, o movimento da mollécula he independente da existencia do meio AB , e passado o limite interior $A''B''$, as acções do meio equilibrando-se entre si, a mollécula móve-se tão sómente em virtude das velocidades, que tem adquiridas, no fim da passagem de $A'B'$ até $A''B''$.

131. Isto posto, achámos, que todas as vezes, que a mollécula movendo-se no vácuo, incide na superficie de hum meio refringente, as suas velocidades successivas no sentido normal á superficie, a partir do limite exterior da acção do meio, são as seguintes.

$$1.^a \quad - \quad \sqrt{(v^2 \text{ Cos}^2 I + 2ae)}$$

$$2.^a \quad - \quad \sqrt{(v^2 \text{ Cos}^2 I + 2ae + 2a_1e_1)}$$

$$3.^a \quad - \quad \sqrt{(v^2 \text{ Cos}^2 I + 2ae + 2a_1e_1 + 2a_2e_2)}$$

$$\&c. \quad - \quad - \quad - \quad - \quad - \quad - \quad \&c.$$

$$\text{Final} \quad - \quad \sqrt{(v^2 \text{ Cos}^2 I + 4ae + 4a_1e_1 + 4a_2e_2 + \dots + 4a_n e_n)}$$

Porém como o angulo de incidencia I he sempre comprehendido entre zero, e 90° , $v^2 \text{ Cos}^2 I$, será sempre huma quantidade positiva: como, além disto, a a_1 a_2 ... a_n , e e e_1 e_2 ... e_n são tambem sempre positivos, segue-se, que os valores da componente MO serão sempre quantidades reaes, e positivas, desde $A'B'$ até $A''B''$: e por tanto a refração neste caso terá lugar em todas as incidencias: logo

Naõ pôde dar-se a reflexão total da luz na superficie de hum

meio refringente, quando o raio de luz incide do vácuo na superficie do meio.

132. Se porém a luz, em vez de incidir do vácuo sobre a superficie do meio refringente, o faz, atravessando outro meio; ou o que he o mesmo, se a superficie refringente, em vez de ser a separação entre o vácuo, e hum meio refringente, he a superficie commum de dois meios; a expressão das velocidades, normaes á superficie, que a mollécula de luz terá em cada zona extremamente delgada, a partir do limite exterior da acção da superficie, serão - - - - -

$$1.^{\text{a}} \dots \sqrt{(V^2 \text{Cos}^2 I + 2e(a - a'))}$$

$$2.^{\text{a}} \dots \sqrt{(V^2 \text{Cos}^2 I + 2e(a - a') + 2e_1(a_1 - a'_1))}$$

$$3.^{\text{a}} \dots \sqrt{(V^2 \text{Cos}^2 I + 2e(a - a') + 2e_1(a_1 - a'_1) + 2e_2(a_2 - a'_2))}$$

&c. - - - - - &c.

Se a acção do primeiro meio, isto he, do meio, em que a luz inicialmente se propaga, he menor, que a acção do segundo meio, $a - a'$, $a_1 - a'_1$, $a_2 - a'_2$, &c. serão quantidades positivas, e consequentemente, os valores da velocidade normal á superficie, que a mollécula tem nas diferentes zonas, entre o limite exterior $A'B'$, e o interior $A''B''$ da acção dos meios, serão sempre reaes, e positivos; e por tanto a mollécula seguirá o raio refracto no interior do segundo meio: logo

Não pôde dar-se reflexão total da luz na superficie de hum meio refringente, quando o raio de luz obega á dita superficie, atravessando hum meio, cuja acção attractiva sobre a luz he mais fraca, que a sua.

133. Se porém a acção do primeiro meio sobre a luz he mais forte, que a do segundo, as diferenças $a - a'$, $a_1 - a'_1$, &c. das acções correspondentes, e oppostas dos dois meios, serão negativas; e consequentemente a expressão da velocidade da mollécula de luz, no sentido normal á superficie, poderá ser real, ou imaginaria, conforme a somma dos termos, affectos destas diferenças, fór menor, ou maior, que $V^2 \text{Cos}^2 I$, unica quantidade positiva, que, neste caso, existe debaixo do radical.

Quando o valor da componente da velocidade da molécula de luz, dirigida normalmente á superficie, a que chamaremos, por abreviar, *velocidade de imergencia*, apparece imaginario, he huma próva, que a molécula de luz não podia ter penetrado até á zona, que dér tal resultado; mas sómente até a huma zona anteriór, na qual esta velocidade sendo nulla, a refração se torna em reflexão total. Com effeito na zona, em que a velocidade de imergencia se torna nulla pela acção dos dois meios, a molécula continuaria a mover-se com a velocidade constante $V \text{ Sen } I$, parallelamente á superficie commum, se a differença negativa das acções dos meios, depois de haver destruido a velocidade de imergencia, não continuasse a obrar; como porém a sua acção continúa, a molécula recobrará normalmente á superficie; mas em sentido contrarió ao primitivo, velocidades crescentes em cada zona, como decrescerão as velocidades primitivas; e por tanto a molécula descreverá o segundo ramo de huma trajectoria similhante ao primeiro, e convexo para a superficie; e por tanto reflectir-se-ha, fazendo o angulo de reflexão igual ao angulo de incidencia. De tudo isto resulta, que

A refração pôde tornar-se em reflexão total, quando a luz passa de hum meio, que tem sobre ella maior acção, para hum meio, que a tem menor, e a existencia do phenomeno dependerá, para cada dois meios conjugados, do valor do angulo de incidencia.

134. Mostrão mais as considerações expostas, que a reflexão total pôde ter lugar, conforme as incidencias, antes da superficie commum dos meios, na mesma superficie commum, ou além della; porém sempre entre os limites $A' B'$, e $A'' B''$ da acção sensível da superficie dos meios; isto he; sempre em distancias da superficie inappreciaveis aos sentidos. Procuremos agora determinar os limites das incidencias, que podem produzir a reflexão total nestas differentes partes.

Quando a molécula de luz se acha na superficie commum dos dois meios, achámos por expressão da velocidade de imergencia

$$V(V^2 \text{ Cos}^2 I + 2e(a - a') + \dots + 2e_n(a_n - a'_n)),$$

e fazendo por abreviar $2ae + 2a_1e_1 + \dots + 2a_n e_n = A$,
e $2a'e + 2a'_1e_1 + \dots + 2a'_n e_n = B$, teremos

$$\sqrt{V^2 \cos^2 I + A - B}.$$

Para que a reflexão total tenha lugar nesta superficie; deveremos pois ter

$$\sqrt{V^2 \cos^2 I + A - B} = 0,$$

ou

$$V^2 \cos^2 I + A - B = 0;$$

que dá

$$\cos^2 I = \frac{B - A}{V^2} \quad (a)$$

Designando por v a velocidade da luz no vácuo, e por $a, a_1, \&c.$ as acções do primeiro meio em cada zona; acharemos, como acima (§ 126)

$$V = \sqrt{v^2 + 4a'e + 4a'_1 e_1 + \dots + 4a'_n e_n},$$

ou

$$V = \sqrt{v^2 + 2B};$$

donde

$$V^2 = v^2 + 2B, \text{ ou } B = \frac{V^2 - v^2}{2}.$$

Similhantermente, se representarmos por V' a velocidade da luz no segundo meio, por $a, a_1, a_2, \&c.$ as acções deste meio nas diferentes zonas, teremos

$$A = \frac{v'^2 - v^2}{2}.$$

Mas designando por N a razão de refração para o primeiro meio, achamos, no mesmo citado § 126

$$V = Nv;$$

logo representando por N' a razão de refração para o segundo meio, teremos tambem

$$V' = N'v;$$

e introduzindo estes valores de V , e de V' nas expressões de B , e de A , teremos

$$B = \frac{v^2 (N^2 - 1)}{2}, \text{ e } A = \frac{v^2 (N'^2 - 1)}{2}.$$

Substituindo agora estes valôres na equação (a), vem -

$$\text{Cos}^2 I = \frac{V^2 (N^2 - 1 - N'^2 + 1)}{2 N^2 V^2} = \frac{N^2 - N'^2}{2 N^2} \dots (b).$$

Equação, que nos dá o valôr do angulo de incidencia, no caso da reflexão total na superficie dos dois meios, expresso na razão de refração dos mesmos meios.

135. Se agora supozermos, que o valôr $\sqrt{V^2 \text{Cos}^2 I + A - B}$ da velocidade de imersão na superficie commum, he ainda real, ou o que he o mesmo, se $B - A$ he menor, que $V^2 \text{Cos}^2 I$; a mollécula de luz poderá penetrar a superficie commum dos meios, e avançar-se para o limite interiôr da acção da superficie; e chegada áquelle limite, a sua velocidade de imergencia terá por expressão - - - - -

$$\sqrt{V^2 \text{Cos}^2 I + 4e_1(a - a') + 4e_1(a_1 - a'_1) + \dots + 4e_n(a_n - a'_n)}$$

ou

$$\sqrt{V^2 \text{Cos}^2 I + 2A - 2B},$$

e para que a reflexão total tenha lugar neste limite, será -

$$\sqrt{V^2 \text{Cos}^2 I + 2A - 2B} = 0,$$

ou

$$V^2 \text{Cos}^2 I + 2A - 2B = 0,$$

que dá

$$\text{Cos}^2 I = \frac{2B - 2A}{V^2};$$

e pondo por B , A , e V^2 os seus valôres - - - - -

$$\text{Cos}^2 I = \frac{N^2 - N'^2}{N^2}.$$

Donde resulta a seguinte lei, que regula os valôres das incidencias, que pôdem produzir a reflexão total, e o lugar, em que a dita reflexão pôde ter lugar.

1.º Reflexão total entre a superficie, e o limite exterior da acção da mesma superficie - - - - -

$$\text{Desde } \text{Cos}^2 I = 0 \dots \text{ até } \text{Cos}^2 I = \frac{N^2 - N'^2}{2 N^2}.$$

logo

$$\begin{aligned} \cos^2 I'' &= \cos^2 I' = 1 - \sin^2 I' = 1 - \frac{v^2 \sin^2 I}{v^2 + 2B} = \\ &= \frac{v^2 + 2B - v^2 \sin^2 I}{v^2 + 2B} = \frac{v^2 + 2B - v^2(1 - \cos^2 I)}{v^2 + 2B} = \\ &= \frac{v^2 \cos^2 I + 2B}{v^2 + 2B}; \end{aligned}$$

e por tanto

$$V^2 \cos^2 I'' = (v^2 + 2B) \frac{v^2 \cos^2 I + 2B}{v^2 + 2B} = v^2 \cos^2 I + 2B.$$

Substituindo este valôr na expressão (c), vem por valôr da velocidade de emergencia da molécula, quando se acha na superficie mesma - - - - -

$$\sqrt{(v^2 \cos^2 I + 2B)}.$$

Este valôr sendo real, e positivo, segue-se, que ainda quando a molécula de luz tem penetrado até á superficie de emergencia, não pôde dar-se reflexão total.

Quando a molécula se suppozer chegada ao derradeiro limite da acção do meio, a expressão da sua velocidade de emergencia será (§ 125) - - - - -

$$\sqrt{(V^2 \cos^2 I'' - 4ae - 4a_1 e_1 - \dots - 4a_n e_n)},$$

ou

$$\sqrt{(V^2 \cos^2 I'' - 2B)};$$

e substituindo por $V^2 \cos^2 I''$, e por B o seu valôr, acima achado, á expressão, tornar-se-ha em - - - - -

$$\sqrt{(v^2 \cos^2 I + 2B - 2B)} =$$

$$\sqrt{v^2 \cos^2 I} = v \cos I.$$

Isto he, que ainda neste limite extremo, a conversão da refração em reflexão não tem lugar, e a velocidade da molécula de luz ao longo do raio emergente será a mesma, que tinha ao longo do raio imergente, antes de penetrar na esféra de acção sensível do meio: logo - - - - -

Quando a superfície de emergencia, e de imergencia de hum meio cercado pelo vácuo, são parallelas, jámais pôde dar-se reflexão total em nenhuma das superficies, e a velocidade da luz no raio emergente, e no raio imergente são iguaes; logo neste caso, não pôde haver desvio angular entre os dois raios; como já o provámos por outro meio nos §§ 86, e 87.

138. Quando porém a superfície de emergencia, não fôr parallela á superfície de imergencia, teremos $I'' = I' + i$, e as velocidades de emergencia da mollécula luminosa, serão -

Ao chegar ao 1.º limite da acção do meio,

$$V \text{ Cos } (I' + i).$$

Na superfície de emergencia,

$$V(V^2 \text{ Cos}^2 (I' + i) - B).$$

No 2.º limite da acção do meio,

$$V(V^2 \text{ Cos}^2 (I' + i) - 2B).$$

Quando I'' era igual a I' achámos todas estas expressões reaes; porém como $I' + i$ he maior, que I' , será $\text{Cos } (I' + i) < \text{Cos } I'$, e poderá acontecer, que as expressões nesta hypothese se tornem imaginarias: o que denota, como sabemos, a existencia da mudança da refração em reflexão total.

Para fixarmos os limites dos angulos, que dão a reflexão total nos diversos pontos, sabemos que

1.º Haverá reflexão total no 1.º limite da acção do meio, quando fôr

$$V \text{ Cos } (I' + i) = 0 \quad (C)$$

2.º Haverá reflexão total entre este 1.º limite, e a superfície

Desde $V \text{ Cos } (I' + i) = 0$, até $V^2 \text{ Cos}^2 (I' + i) - B = 0$.

3.º Haverá reflexão total na superfície de emergencia, quando fôr

$$V^2 \text{ Cos}^2 (I' + i) - B = 0 \quad (C')$$

4.º Haverá reflexão total entre esta superfície, e o 2.º limite da acção do meio

Desde $V^2 \cos^2 (I' + i) - B = 0$, até $V^2 \cos^2 (I' + i) - 2B = 0$.

5.º Haverá finalmente reflexão total no 2.º limite da acção do meio, quando fôr - - - - -

$$V^2 \cos^2 (I' + i) - 2B = 0 \quad (C')$$

A equação (C) dá $\cos (I' + i) = 0$; por quanto V he sempre huma quantidade positiva: logo - - - - -

$$I' + i = 90^\circ.$$

A equação (C') dá $\cos^2 (I' + i) = \frac{B}{V^2}$; porém

$$V^2 = N^2 v^2, \text{ e } B = \frac{v^2 (N^2 - 1)}{2}; \text{ logo - - - - -}$$

$$\cos^2 (I' + i) = \frac{N^2 - 1}{2 N^2}.$$

A equação (C'') dá $\cos^2 (I' + i) = \frac{2B}{V^2}$, e fazendo as mesmas substituições, que na antecedente - - - - -

$$\cos^2 (I' + i) = \frac{N^2 - 1}{N^2}.$$

Logo os angulos, que limitaõ a reflexão total na segunda superficie de hum meio refringente, supposta naõ parallela á primeira, são os seguintes, pondo por $(I' + i)$ o seu valôr I'' .

Reflexão total antes da superficie de emergencia - - - - -

$$\text{Desde } \cos^2 I'' = 0, \text{ até } \cos^2 I'' = \frac{N^2 - 1}{2 N^2}.$$

Reflexão total na superficie de emergencia, quando - - - - -

$$\cos^2 I'' = \frac{N^2 - 1}{2 N^2}.$$

Reflexão total entre a superficie de emergencia, e o limite exterior da acção do meio - - - - -

$$\text{Desde } \cos^2 I'' = \frac{N^2 - 1}{2 N^2}, \text{ até } \cos^2 I'' = \frac{N^2 - 1}{N^2}.$$

Reflexão total no ultimo limite da acção do meio, quando

$$\cos^2 I' = \frac{N^2 - 1}{N^2}$$

Experiencias sobre a mudança da refracção em reflexão total.

139. *Experiencia 1.^a* Tome-se hum prisma triangular Fig. 33.^a ABC , e situe-se de maneira, que os raios de luz, que penetrando por AC se reflectem em AB , sahião pela face CB , e situe-se o olho em O , de maneira, que lhe sejaõ visiveis por refracção, os objectos situados por baixo de AB ; neste caso tambem os raios, que penetraõ por AB' , como por exemplo SI , se refrangirão em AB , e sahirão para o ar; vindo por consequente a sair pela face CB somente huma luz mui frouxa, da que entra no prisma por AC ; e pelo contrario huma grande quantidade da luz, que entra por AB . Descendo agora cada vez mais a posição do olho para a base do prisma, ou o que he o mesmo, fazendo girar o prisma em tôrno do seu eixo no sentido CAB , marcado pelas setas S, S, S , na figura; os raios incidentes, como $E'I'$, que vem de CA , e os que vem dos objectos situados por baixo de AB , tornar-se-hão cada vez mais obliquos, e chegará, como vimos pelo calculo, hum limite, no qual a refracção de huns, e outros se mudará em reflexão total. Desentaõ a superficie AB , assim como todos os objectos situados por baixo della, cuja luz a reflexão total lançará para fóra do prisma, cessarão de ser visiveis para o olho O , e pelo contrario os raios, que penetraõ por CA , reflectindo-se completamente em AB , sahirão todos por CB , e o olho verá, em vez da superficie AB , e dos objectos situados por baixo della, as imagens dos objectos como S' , situados além da superficie AC .

140. *Experiencia 2.^a* Na base AB do prisma da experiencia antecedente, deponha-se huma gôta de agoa, e praticando como na referida experiencia, observar-se-ha: que toda a parte da superficie AB , não occupada pela gôta de agoa, tem já cessado de ser visivel pela refracção, quando ainda o he por este modo a gôta liquida. Se porém se continua a fa-

zer girar o prisma no mesmo sentido, ou o que he preferivel, se se continúa a descer o olho para a base BC , a gôta acaba por desaparecer tambem.

141. Esta experiencia he huma confirmação da theoria exposta; com effeito, para que a refracção se mude em reflexão total na superficie em contacto com o vácuo, ou com o ar, que tem huma razão de refracção mui fraca, devemos ter

$$\text{Cos}^2 I = \frac{N^2 - 1}{2 N^2}$$

até

$$\text{Cos}^2 I = \frac{N^2 - 1}{N^2}$$

Para que a refracção se mude em reflexão total na parte da superficie cuberta pela gôta; quer dizer, na parte, em que a superficie he commum ao vidro, e á agoa, devemos ter, representando por N' a razão de refracção na agoa

$$\text{Cos}^2 I = \frac{N^2 - N'^2}{2 N^2}$$

até

$$\text{Cos}^2 I = \frac{N^2 - N'^2}{N^2}$$

Logo quando a reflexão total tem lugar na parte da superficie em contacto com a gôta, $\text{Cos}^2 I$ he maior, que no caso da reflexão total no resto da superficie AB ; e por tanto o angulo I deverá ser menor no segundo caso, que no primeiro, como acaba de mostrar-nos a experiencia.

142. Crescendo N'^2 , diminuirá necessariamente o valôr de $\text{Cos}^2 I$; e por tanto o angulo I será maior; e se com effeito se substituem á gôta de agoa substancias, cuja acção sôbre a luz seja mais consideravel, a reflexão total tardará mais em produzir-se, isto he, exigirá incidencias cada vez mais obliquas, para que possa ter lugar.

143. Se finalmente á gôta de agoa substituirmos huma substancia, cuja acção sôbre a luz seja mais forte, que a do

vidro, que fórma o prisma, N' será maior, que N , e entraremos no caso, em que a reflexão total he impossivel (§ 135).

144. *Experiencia 3.^a* Se em vez da gôta de agoa se depõe na superficie AB huma gôta de tinta de escrever, notar-se-ha: que á medida, que a tinta pela evaporação successiva da agoa se vai tornando mais densa; e consequentemente crescendo a sua acção sôbre a luz, as incidencias necessarias para obter a reflexão total vaõ augmentando; e finalmente quando a tinta tem secado, tornando-se em huma nodoa solida, cuja materia tem sôbre a luz huma acção superior, a que sôbre ella exerce o vidro, a reflexão total torna-se impossivel, e a nodoa he visivel pela refração, quaesquer que sejaõ as incidencias.

Da determinação da razão de refração nos corpos opacos.

145. Desde § 78 até § 88, mostrámos a maneira, pela qual se pôde determinar a razão de refração nos corpos diaphanos; porém faltavaõ-nos naquella época os conhecimentos precisos para determinar a razão de refração nos corpos opacos. O phenomeno da reflexão total, vai fornecer-nos o meio de obter esta ultima determinação.

246. Para este fim, imaginemos o corpo opaco, cuja razão de refração pertendemos examinar, em contacto com a base AB do prisma, do mesmo modo, que a tinta, na experiencia antecedente. Então a reflexão total deverá ter lugar na superficie de contacto dos dois meios, e neste caso, designando por I o angulo de incidencia da luz sôbre a superficie commum, teremos, quando a reflexão total tem lugar -

$$\text{Cos}^2 I = \frac{N^2 - N'^2}{2N^2},$$

donde se tira

$$N'^2 = N^2 + 2N^2 \text{Cos}^2 I \quad \text{---} \quad (A);$$

equação, que nos dá o valôr de N' expresso em N , e em I . Supporemos N determinado pelos métodos expostos; procuraremos por tanto determinar I , feito o que, fica conhecido N' .

Fig. 34.^a

147. Para conseguir esta determinação, poremos o prisma ABC , pela face AB , sobre hum plano horizontal de vidro, e imaginando o raio GE , que limite a reflexão total da superficie commum ao prisma, e ao ponto opaco G , chamemos I'' , e I''' os angulos $N'EG$, e $N''EO$, que o raio GE fórma com a normal á superficie AC antes, e depois da emergencia: chamemos tambem a o angulo CAB ; e tirando do ponto O a vertical OV , chamemos b o angulo VOE , que o raio emergente EO fórma com a vertical, e que podemos determinar por observação.

O angulo $NGA = 90^\circ$, o angulo $N'EA = 90^\circ$: logo,

$$NGA + N'EA = 180^\circ;$$

porém $NGA = EGA + I''$, e $N'EA = GEA + I'$: logo

$$EGA + GEA + I + I' = 180^\circ;$$

mas o triangulo EAG dá $EGA + GEA + a = 180^\circ$: logo

$$a = I + I',$$

donde se tira,

$$I' = a - I.$$

Pela lei geral da refração na superficie de emergencia do vidro para o ar, temos

$$\text{Sen } I''' = N \text{ Sen } I':$$

logo

$$\text{Sen } I''' = N \text{ Sen } (a - I).$$

Visto que OV he perpendicular a AB , e $N''N'$ perpendicular a AC : segue-se, que os angulos $VN''E$, e a tem os lados perpendiculares, e por consequencia são iguaes. Mas no triangulo $N''OE$, temos o angulo externo

$$VN''E = N''OE + OEN'' = b + I'':$$

logo

$$b + I'' = a, \text{ ou } I'' = a - b:$$

logo

$$\text{Sen } (a - b) = N \text{ Sen } (a - I);$$

e como nesta equação tudo he conhecido, á excepção sómente de I , calcularemos o seu valôr, que substituido na equação (A), nos dará o valôr procurado de N' .

Do poder refringente dos corpos.

148. Acabamos de vêr como he possivel determinar a razão de refração, para as diversas especies de substancias, e por conseguinte designando por N esta razão para hum meio qualquer, N he huma quantidade, cujo valôr sabemos achar em todos, e quaesquer casos. Temos porém visto (§ 124), que

$$N = \frac{V}{v},$$

$$V = \sqrt{v^2 + 2B}:$$

$$\text{logo}$$

$$N = \frac{\sqrt{v^2 + 2B}}{v},$$

$$\text{ou}$$

$$N^2 = \frac{v^2 + 2B}{v^2},$$

que dá

$$\frac{2B}{v^2} = N^2 - 1 \quad (a);$$

e como $B = 2ae + 2a_1e_1 + 2a_2e_2 + \dots + 2a_n e_n$, no qual valôr a condição he, que as espessuras $e, e_1, e_2, \&c.$ das zonas sejaõ infinitamente pequenas, poderemos, sem alterar a hypothese suppolas iguaes entre si, e á primeira e , e entãõ teremos

$$B = 2e(a + a_1 + a_2 + \dots + a_n),$$

e substituindo este valôr na expressãõ (a), virã

$$\frac{4e}{v^2} (a + a_1 + a_2 + \dots + a_n) = N^2 - 1.$$

Em outro meio, cuja razão de refração fôsse N' , e as acções attractivas em cada zona a' , a'_1 , a'_2 , &c., teriamos do mesmo modo

$$\frac{4e}{v'^2} (a' + a'_1 + a'_2 + \dots + a'_n) = N'^2 - 1,$$

e por tanto $N^2 - 1 : N'^2 - 1 :: a + a_1 + a_2 + \dots + a_n : a' + a'_1 + a'_2 + \dots + a'_n$, e por conseguinte a somma das acções attractivas de hum meio, quando a luz nelle penetra, he proporcional ao quadrado da razão de refração do meio, diminuido de huma unidade. E como podemos sempre calcular $N^2 - 1$, para qualquer meio, este valôr nos servirá de medir a somma das acções.

149. Esta somma das acções attractivas do meio depende (como sabemos § 73) não só da sua densidade; mas tambem da natureza chymica do mesmo meio. Procuremos dividir a acção destas duas causas, quer dizer, assignar o effeito pertencente a cada huma.

Para este fim reflectiremos, que sendo a acção dependente da natureza chymica do meio, proveniente da acção de cada huma das molléculas sôbre a luz, deverá ser tanto mais energica, quanto maior numero de molléculas poderem ser comprehendidas no raio da esfera sensível daquella acção: e por tanto será proporcional á densidade do meio. Assim, se tomando por unidade huma certa densidade, chamarmos S a somma das acções de hum certo meio, quando a sua densidade he 1, teremos quando esta densidade fôr d

$$\frac{4e S d}{v^2} = N^2 - 1,$$

donde vem

$$\frac{N^2 - 1}{d} = \frac{4e S}{v^2}.$$

O valôr de $\frac{N^2 - 1}{d}$ he só dependente da intensidade S das forças attractivas, por quanto a espessura e das zonas pôde suppôr-se igual em todos os meios, e o denominador v^2 he o quadrado da velocidade da luz incidente: e por tan-

to a expressão $\frac{N^2 - 1}{d}$, dependente unicamente de S , e proporcional a elle, pôde servir de comparar nos diversos corpos a parte da intensidade da sua acção attractiva sobre a luz, dependente da sua natureza.

Este valor $\frac{N^2 - 1}{d}$, he o que Newton chamou o poder refringente dos corpos, e a taboa A, inserida no fim desta secção, contém o poder refringente de diversas substancias; assim como as suas razões de refacção, determinadas pelo mesmo Newton, e o mappa B o poder refringente de hum certo numero de gazes determinado por Biot, e Arago.

Considerações sobre a refração através dos prismas.

150. Depois que Newton, fazendo atravessar aos raios de luz hum prisma refringente, conseguiu separar os raios elementares, de que he composto o pincel luminoso o mais tenue, que por qualquer outro meio podemos isolar; como em breve passaremos a mostra-lo; o prisma tem-se tornado nas mãos do physico hum instrumento de hum uso continuo nas indagações sobre a luz. Convem pois, antes de nos servirmos deste instrumento na analyse da luz, tratar de certos phenomenos dependentes da posição do prisma, relativamente aos raios incidente, e emergente; phenomenos, de que faremos uso naquella parte da optica, e que ficando de antemão expostos, demonstrados, e desenvolvidos, não interromperão então a serie dos nossos raciocinios, nem a das experiencias, com a sua explicação.

151. Se representarmos por ABC a secção transversal Fig. 35.^a de hum prisma triangular por hum plano perpendicular ás suas arestas, e por SS' o diametro de hum objecto extremamente distante, tomado no plano da secção ABC ; e imaginarmos o olho de hum observador, situado em hum ponto O , tal, que tenhamos o angulo $S'IA = OEC$: o diametro SS' do objecto será visto debaixo do mesmo angulo por via de refração, pelo olho situado em O , do que o seria, não existindo o prisma, por hum olho situado em O' , cruzamento dos raios incidentes SI , e $S'I'$, produzidos convenientemente; ou o que he o mesmo, teremos o angulo $SO'S' = EOE'$.

Para demonstrarmos esta proposição reflectiremos, que na posição supposta o raio $S'I'$ tem sobre a superficie de imergencia BA a mesma inclinação, que o raio emergente EO tem sobre a superficie de emergencia BC : logo serão iguaes os angulos de refração, que estes raios formão no interior do prisma, isto he, será - - - - -

$$BIE' = BEI.$$

No triangulo BIE , temos - - - - -

$$IBE + BIE + BEI = 180^\circ.$$

No triangulo $BI'E'$, temos - - - - -

$$IBE + BI'E' + BE'I' = 180^\circ.$$

Tirando a segunda equação da primeira, vem - - - - -

$$BIE - BI'E' + BEI - BE'I' = 0;$$

ou

$$BIE - BE'I' = 0, \text{ que dá } BIE = BE'I';$$

e por tanto os angulos de emergencia correspondentes aos raios EI , e $I'E'$, igualmente inclinados sobre as facas BA , e BC , serão tambem iguaes; isto he, teremos tambem - -

$$OEC = SIA.$$

Temos pois provado, que se fôr - - - - -

$$S'I'A = OEC,$$

será tambem - - - - -

$$SIA = OEC,$$

NB. Devros e subtrahindo a primeira equação da segunda, vem - - -

$$S'I'A - S'IA = OEC - OEC - - - (a).$$

entender-se = e
subtrahindo a
equação da
a

Porém $S'I'A - S'IA$ he evidentemente igual a $SO'S'$. Por causa do triangulo OEE' , do qual OEC he o angulo externo, opposto aos dois internos OEC , e EOE' , teremos

$$OEC - OEC = EOE',$$

e substituindo por tanto na equação (a) por $S'I'A - S'IA$ o seu valôr $SO'S'$, e por $OEC - OEC$ o seu valôr EOE' , teremos, como pertendiamos demonstrar,

$$SO'S' = EOE'.$$

152. A posição do prisma, que acabamos de descrever, na qual os angulos de imergencia são iguaes em somma aos angulos de emergencia tem, além da propriedade, que acabamos de reconhecer no § antecedente, a de ser nella o maior possível o angulo, que entre si formão os raios incidente, e emergente; ou o que he o mesmo, de ser o menor possível o desvio da imagem occasionado pela refração através do prisma. Por esta razão a posição indicada, na qual o prisma offerece o maior angulo possível entre os raios incidente, e emergente, chama-se a *posição do maximo*.

A determinação analitica da posição do maximo, e consequentemente a demonstração desta ultima propriedade da posição designada do prisma refringente, depende da applicação do calculo differencial, e excede por consequente os limites do nosso plano (*).

(*) Como a determinação da posição do maximo, e a demonstração do principio exposto he muy interessante, consignamos nesta nota, para os leitores possuidores dos conhecimentos necessarios para a sua intelligencia. Fig. 36.^a

Seja ABC a secção do prisma triangular, por hum plano perpendicular ás suas arestas, e SI , IE , e EO os raios incidente, refracto, e emergente, situados no mesmo plano da secção ABC . Tiremos por O a recta OS' parallelá a IS : o angulo EOS' será o desvio das imagens directá, e refractá, que deve, no caso que consideramos, ser hum minimo.

Façamos por abreviar, como no § 80

$$\begin{aligned} SIA &= x & ABC &= f \\ BIE &= x' & EOS' &= \Delta, \text{ que no } \S 80 \text{ cha-} \\ IEC &= y & & \text{mamos d.} \\ BEO &= y' & & \end{aligned}$$

No mesmo § 80 achámos as seguintes equações:

$$\cos x' = \frac{\cos x}{n}, \text{ ou } \cos x = n \cos x' \quad (1.^a)$$

$$y = f + x' \quad (2.^a)$$

$$\cos y' = n \cos y \quad (3.^a)$$

e quando o ponto S he extremamente distante, como *v. g.*, o sol, ou huma estrella, achámos tambem

$$\Delta = y' - x - f.$$

153. Tomando porém esta proposição por demonstrada *a priori*, he della huma consequencia a observação seguinte, que sendo confirmada pela experiencia, lhe serve como de demonstração *a posteriori*.

Fig. 37.^a

Seja ABC a secção do prisma por hum plano perpendicular ás arestas, e sejaõ SI , IE , e EO os raios incidente, refracto, e emergente, taes que seja o angulo $SIA = CEO$: entãõ, pela proposição antecedente, o angulo SRO , formado pelos raios incidente, e refracto, produzidos até se encontrarem em R , será hum maximo: por tanto, se fizermos variar o angulo SIA , ou augmentando-o, ou diminuindo-o, em ambos os casos o angulo R se tornará menor. Se pois fizermos girar o prisma no sentido BAC , tendente a augmentar o angulo SIA , o raio EO mover-se-ha successivamente em tôrno do ponto R para a posição RO' , que fórma o angulo SRO' menor, que SRO . A imagem do ponto S caminhará pois em virtude deste movimento do prisma, no sentido $S'S''$. Se movermos o prisma em sentido contrario, o angulo SIA começará por diminuir de novo, e até ao limite

Para que Δ seja hum minimo, he necessario, que diff. (Δ) seja igual a zero, logo

$$dy' - dx = 0, \text{ ou } dy' = dx \quad (4.^a);$$

porque sendo f o angulo refringente do prisma, que he constante em todas as posições, a sua differencial he nulla.

Differenciando agora as equações (1.^a), (2.^a), e (3.^a), teremos

$$dx' = \frac{\text{Sen } x}{n \text{ Sen } x'} dx \quad (\text{da } 1.^a)$$

$$dy = dx \quad (\text{da } 2.^a)$$

$$dy' = \frac{n \text{ Sen } y}{\text{Sen } y'} dy \quad (\text{da } 3.^a);$$

mas n , que he a razão de refração he igual, como sabemos;

a $\frac{\text{Sen } x}{\text{Sen } x'}$: logo

$$dy' = \frac{\text{Sen } x \text{ Sen } y}{\text{Sen } x' \text{ Sen } y'} dx.$$

do maximo, a imagem tornará a caminhar de S'' para S' ; mas passado este limite, e continuando o prisma a mover-se no mesmo sentido, o angulo SIA tornar-se-ha menor, que na posição do maximo; o que exigirá, que o angulo R diminua tambem, e que por tanto a imagem torne a voltar de S' para S'' . Assim fazendo girar hum prisma em tórno do seu eixo sempre no mesmo sentido, a imagem caminha até certo limite em hum sentido; mas passado este limite, volta caminhando em sentido opposto á posição primitiva. Este resultado da existencia do maximo, he rigorosamente confirmado pela experiencia, e nos dá hum meio facilimo de collocar o prisma na posição do maximo: procurando a posição, na qual a imagem, tendo cessado de mover-se em hum sentido, está por hum instante como estacionaria, antes de começar a mover-se em sentido opposto.

Substituindo este valór na equação (4.^a), vem - - -

$$\frac{\text{Sen } x \text{ Sen } y}{\text{Sen } x' \text{ Sen } y'} dx = dx'$$

logo

$$\frac{\text{Sen } x \text{ Sen } y}{\text{Sen } x' \text{ Sen } y'} = 1 - - - - - (5.^a).$$

Como pela lei da refração $\frac{\text{Sen } x}{\text{Sen } x'}$ he igual $\frac{\text{Sen } y'}{\text{Sen } y}$, a equação (5.^a) só póde ser verdadeira, quando fór $\text{Sen } y' = \text{Sen } x$, e $\text{Sen } y = \text{Sen } x'$, ou o que he o mesmo, $y' = 180^\circ - x$, e $y = x'$. Logo na posição do maximo os raios incidente, e emergente formão angulos iguaes com as faces correspondentes do prisma, como na posição descripta (§ 153).

Mas se os angulos SIA , e CEO são iguaes; serão tambem iguaes os angulos BEI , e BIE , e o triangulo BIE será isocelles, e por tanto cada hum destes angulos será igual a $90^\circ - \frac{1}{2}f$: logo - - - - -

$$\text{Cos } x = n \text{ Sen } \frac{1}{2}f,$$

$$\text{Cos } y' = - n \text{ Sen } \frac{1}{2}f$$

$$\Delta = 180^\circ - 2x - f,$$

e por tanto

$$\text{Sen } \frac{1}{2}(\Delta + f) = n \text{ Sen } \frac{1}{2}f.$$

Decomposição da luz directa.

Fig. 38.^a

154. No interiôr do camara escura introduza-se, por hum pequeno orificio circular O , por meio do heliostato, ou na falta d'elle, por meio do apparelho descripto, § 57, hum raio solár, formando por cima da horizontal hum angulo de 40° a 50° . Junto do orificio O , situe-se hum prisma equilatero ABC , cujo angulo refringente he de 60° , e situe-se este prisma de tal maneira, que tendo o angulo refringente B voltado para cima, receba o raio solár sôbre huma das faces perpendicularmente ás arestas: finalmente além do prisma, e na distancia de 5 a 6 metros colloque-se hum quadro plano, e vertical perfeitamente branco QQ .

Isto disposto, faça-se girar o prisma sôbre o seu eixo, até que a imagem do orificio, projectada pelo prisma sôbre o quadro QQ , depois de ter caminhado em hum sentido, se torne por hum instante estacionaria, antes de começar a caminhar no sentido oppôsto; conseguida esta posição, fixe-se nella o prisma, que então se achará na posição do maximo (§ 152).

155. Considerando attentamente a imagem do orificio, projectada pelo prisma sôbre o quadro QQ , notaremos os phenomenos seguintes.

1.º A imagem do orificio circular O , por onde a luz penetra na camara escura, projectada pelo prisma no quadro branco não he circular; porém tem o seu diametro horisontal da mesma grandeza, que se fosse recebida sôbre o quadro, situado na mesma distancia da abertura, e sem interposição do prisma; mas o diametro vertical he muito maior (*).

Fig. 39.^a

(*) Para calcular qual deveria ser o diametro da imagem, quando fôsse directamente recebida sôbre o quadro, basta conhecer, o diametro do orificio, a distancia deste ao quadro, e o diametro apparente do sol no momento da observação. Com effeito seja SS' o diametro apparente do sol, e OO' o diametro do orificio, seja finalmente QQ' o quadro, em que a imagem he recebida. Para termos a grandeza total da imagem, comprehendida a penumbra, tiraremos os raios $S'OQ$, e $SO'Q'$, e estes seraõ os limites da imagem comprehendida a penumbra. Para termos do mesmo modo a grandeza da imagem qq' ,

Os limites lateraes da imagem são sensivelmente duas rectas verticaes parallelas, e os limites inferior, e superior dois arcos de circulo; o que dá á imagem total huma figura oblonga.

2.^o Esta imagem será illuminada de côres, diversas em toda a sua extensão, a partir de hum vermelho vivo, e intenso, que tem lugar na parte superior da imagem, quando o angulo refringente do prisma esta voltado para cima, como na nossa experiencia, até hum rôxo bellissimo, que termina a imagem na parte opposta. Entre estas duas côres extremas, podem distinguir-se cinco gradações principaes, que são, a partir da côr vermelha extrema: *alaranjado, amarello, verde, azul, e indigo.*

3.^o Estas sete côres, que se devisaõ distinctamente na imagem oblonga do orificio, projectada pelo prisma sobre o quadro QQ (imagem a que os opticos daõ o nome de *espectro*)

alumiada pela luz plena, tiraremos os raios $S'O'q'$, e SOq' . Abaixemos agora de O sobre QQ a perpendicular OA , esta será a distancia do orificio ao quadro.

Façamos, por simplificar, o angulo SOS' , ou diametro apparente do sol, igual a D , $OA = \Delta$, e $OO' = d$. A largura total da imagem, comprehendida a penumbra, he

$$Qq' = Qq' + q'Q' \quad (1.^a).$$

Por ser o triangulo QOq' isocetes, e OA perpendicular sobre a base Qq' , será

$$Qq' = 2QA, \text{ e } QOA = AOq' = \frac{1}{2}D;$$

mas o triangulo rectangulo QOA , dá

$$QA = AO \text{ tang } QOA = \Delta \text{ tang } \frac{1}{2}D;$$

logo

$$Qq' = 2\Delta \text{ tang } \frac{1}{2}D.$$

Como a distancia do sol ao orificio he infinitamente maior, que o diametro delle; os raios SO , e $S'O'$, que do ponto S do disco solar se dirigem ás duas extremidades O , e O' do diametro do orificio, pôdem suppôr-se parallelas, e por tanto $q'Q' = OO' = d$.

Por tanto a expressão $(1.^a)$, substituindo por Qq' , e por $q'Q'$ os seus valôres, tornar-se-ha na seguinte

$$QQ' = d + 2\Delta \text{ tang } \frac{1}{2}D.$$

não são separadas subita, e determinadamente; porém passa-se de huma côr á outra por huma gradação, por assim dizer, insensível. Qualquer recta porém, que se imagine, tirada no espectro, perpendicularmente ao seu maior comprimento, offerecerá huma mesma gradação de côr em toda a sua extensão.

156. Se em vez de dármos ao prisma a posição indicada; em que o angulo refringente tem o seu vertice na parte superior, o voltâmos inversamente, e o situamos na posição do maximo; tudo se passará da mesma maneira; com a unica differença, que as côres serão invertidas no espectro, e o vermelho, occupando a parte inferior d'elle, o rôxo occupará a parte superior.

157. Newton, a quem devemos a experiencia citada, variou-a da maneira seguinte.

Situando-se em frente do orificio, entrepôz o prisma entre o orificio, e o olho, de maneira, que observava através do prisma a imagem luminosa do orificio, e havendo collocado as arestas do prisma em huma direcção sensivelmente horizontal, fez girar o prisma sobre o seu eixo, até que achou a posição sensivelmente estacionaria da imagem, no qual caso o prisma tinha a posição do maximo. Então a largura do orificio não lhe pareceo alterada pela refração da luz através do prisma; porém o diametro vertical apresentou-se-lhe dilatado, e as diversas partes da imagem, tintas das diversas côres, que se observárao no espectro.

158. Se em vez de receber sobre o prisma hum raio de luz solar, se recebe a luz, provinda de outro qualquer ponto luminoso, v. g., de huma estrêlla, ou de huma vela acesa, os mesmos phenomenos terao lugar: a intensidade da luz solar dará somente imagens muito mais vivas; e consequentemente as gradações de côr no espectro serão mais distinctas, mais pronunciadas, e o phenomeno, por consequente, mais bello, e mais brilhante.

159. Não he porém somente a luz directa quem nos apresenta estes resultados, a luz reflectida pelos corpos opacos o apresenta da mesma maneira.

O melhor método para fazer esta experiencia, consiste em colár horizontalmente, sobre hum fundo preto, huma tira mui estreita de papel branco, ou hum fio branco de materia qualquer: situar hum prisma equilatero defronte desta li-

na, de maneira, que as arestas do prisma lhe sejam paralelas, e olhar através do prisma para a linha branca horisontal. Então, em vez de observarmos hum simples fio, ou faixa mui delgada, e branca; devisaremos huma faixa horisontal de huma certa largura, dividida em faixas tambem horisontaes, córadas diversamente, e nas quaes distinguiremos especialmente as côres, vermelha de hum lado, azul no outro, e verde no meio. Quando o angulo refringente do prisma tiver o seu vertice na parte superiôr, a faixa vermelha apresenta-se em baixo, seguindo a verde, e azul em cima; quando a posição do prisma he inversa, a côr azul apresenta-se em baixo, seguindo a verde, e a vermelha em cima.

Explicação da decomposição da luz pela diversa refrangibilidade dos raios, que a compõe, e experiencias de Newton em apoio da mesma explicação.

160. O primeiro phenomeno, que nos apresenta o espectro solar, he a dilatação do seu diametro vertical, e pelo contrario a igualdade do diametro horisontal, com o que a imagem apresentaria não existindo o prisma; comecemos pela analyse deste phenomeno.

Para isto, seja ab o diametro horisontal do orificio, $ABCD$ a projecção do prisma sôbre o plano horisontal, a qual será evidentemente hum parallelogramo; então os raios incidentes aa' , e bb' , e os raios emergentes cc' , e $c''c'''$, que atravessão hum meio $ABCD$, terminado pelas faces AB , e CD paralelas, serão paralelos em direcção; e como pela pequenez do diametro apparente do sol as incidencias dos raios aa' , e bb' são mui proximas á perpendicular, os raios emergentes serão sensivelmente os mesmos, que os raios incidentes; e por tanto estes raios, qualquer que seja a sua refrangibilidade, devem atravessar o prisma sem desvio sensivel no sentido horisontal, no qual sentido as superficies de imergencia, e de emergencia são paralelas relativamente aos raios; e por tanto o diametro horisontal do espectro deve ser o mesmo existindo, ou não existindo o prisma, qualquer que seja a refrangibilidade dos raios.

Em quanto ao diametro vertical, mostrámos § 151, que

estando o prisma na posição do maximo, este diametro seria tambem o mesmo, existindo, ou não existindo o prisma, se os raios de luz, que penetrao pelo orificio fôsem todos igualmente refrangiveis; mas a experiencia mostra, que o diametro vertical he augmentado: logo os raios de luz tem refrangibilidades diversas, e são estas diversas refrangibilidades, quem produzem a dilataçã da imagem no plano do angulo refringente do prisma (*).

161. O segundo phenomeno observado no espectro, consiste nas côres diversas, de que são illuminadas as suas diversas partes, e este phenomeno nos indica, que os raios diversamente refrangiveis, que illuminao as faixas horisontaes do espectro, são distinctos tambem pela propriedade de produzirem no nosso orgão a sensaçã de côres diversas.

162. Por isso que a luz no espectro he continuada sem interrupçã, desde a parte superior até a inferior delle, concluiremos mais; que desde os raios, que possuem a maxima refrangibilidade, até aos menos refrangiveis, existem huma infinidade de raios diversos, dotados de cada vez menores refrangibilidades.

163. Por isso tambem, que as côres do espectro passão gradualmente, e sem salto de humas a outras, vê-se ainda: que assim como a refrangibilidade dos raios varia progressivamente do maximo ao minimo sem salto, nem interrupçã; a propriedade corante dos raios varia tambem gradualmente, e por huma gradaçã insensivel, desde o rôxo extremo, que pertence aos raios os mais refrangiveis, até ao extremo vermelho, que caracteriza os raios dotados da minima refrangibilidade.

164. De tudo isto se conclue, que se suppozermos o es-

(*) He evidente, que todas as vezes, que a luz incidente he, como na experiencia, que nos occupa, huma pyramide conica de raios, não podẽmos pôr o prisma rigorosamente na posição do maximo para todos elles; mas, em consequencia da pequena inclinaçã, que tem os raios entre si, por ser sempre mui pequeno o diametro apparente do sol, pôde-se, sem erro attendivel, considerar esta condicãõ preenchida na mesma experiencia, quando o prisma se acha na posição do maximo, relativamente ao eixo da pyramide.

pectro dividido em faixas horisontaes infinitamente delgadas, cada huma destas faixas será illuminada, com raios igualmente refrangiveis, e que terão a mesma propriedade côrante; visto, que a propriedade decôrar de tal, ou tal gradação de côr, pertence aos raios de luz de tal, ou tal refrangibilidade.

165. Por mais, que diminuamos o orificio, por onde o raio de luz penetra na camara escura: por mais que procuramos adelgaçar, e simplificar este raio; como *v. g.*, fazendo o atravessar huma serie de orificios *a, a', a'' &c.*, situados na mesma recta, a fim de excluir huma porção cada vez maior do raio primitivo; o prisma appresentado ao raio o dividirá ainda no espectro da maneira indicada. Daqui se vê, que todo o raio de luz directa, o mais delgado, e simples, que podemos isolar, sem empregar a acção dos meios refringentes, he ainda composto de huma infinidade de raios simples, diversamente refrangiveis, e dotados de propriedades côrantes diversas.

Por isso quando dizemos, que o espectro solar he illuminado de sete côres diversas, ou quando enunciamos, que a luz inteira se compõe de raios de sete diferentes côres, este enunciado está mui longe de ser exacto, e rigoroso; por quanto no espectro solar existem, rigorosamente fallando, a partir de hum extremo até ao outro, huma infinidade de côres diferentes, e o raio de luz inteira contém huma infinidade de raios dotadas da propriedade de illuminar com hum numero infinito de côres. Porém a imperfeição da nossa lingoagem, e a falta de termos para expressar em particular cada huma daquellas gradações de côr, faz com que comprehendamos debaixo de huma mesma denominação todas as que se encerraõ entre certos limites, ainda que entre si diferentes; assim todos sabemos, que se chama, *v. g.*, amarello o enxofre, e amarella tambem a gema de ovo, verde a folha do choupo, e a do cypreste, posto, que taes côres sejaõ mui diversas.

166. Se a refrangibilidade differente dos raios, que compõe a luz inteira, he a causa da dilatação, que esta luz appresenta pela refração, he necessaria consequencia: que se em vez de submettermos á refração hum raio de luz inteira; submettermos a esta acção hum raio simples de huma

Fig. 41.^a

luz igualmente refrangível, hum semelhante raio não deverá experimentar dilatação.

Newton, bem longe de desprezar esta confirmação da sua doutrina, imaginou immediatamente os meios de pôr em evidencia hum phenomeno tão proprio para corroboralla. E reflectindo, que no espectro solar cada linha horisontal he illuminada pelos raios de luz igualmente refrangíveis, imaginou submeter cada hum destes raios, assim separados, á refração por hum novo prisma, certo, que se a sua theoria era verdadeira, a dispersão não teria lugar nos raios situados na mesma horisontal; mas que estes soffrieraõ sem decompôr-se desvios tanto mais consideraveis, quanto fôsem mais refrangíveis.

Para este fim, em vez de receber o espectro projectado pelo primeiro prisma sôbre o quadro branco da primeira experiencia; recebe-o sôbre a face de hum segundo prisma, situado perpendicularmente ao primeiro. Nestas circumstancias he evidente, que todos os raios situados na mesma linha horisontal do espectro, se achaõ na mesma secção do segundo prisma, por hum plano perpendicular ás arestas delle; e por conseguinte se estes raios são com effeito igualmente refrangíveis, não devem dilatar-se naquelle plano, e o effeito da refração no segundo prisma deve limitar-se a desvia-los á direita, ou á esquerda mais, ou menos, segundo a sua maior, ou menor refrangibilidade; e por tanto, o espectro, produzido pelas duas refrações, será comprehendido entre as mesmas horisontaes, que o primeiro espectro: a largura das faixas de differentes côres será tambem a mesma: finalmente em hum, e outro espectro os limites lateraes serão rectilíneos, e as distancias entre elles, medidas horisontalmente, serão iguaes; porêr sendo estes lados verticaes no primeiro espectro serão inclinados á vertical no segundo, em virtude do maior desvio dos raios mais refrangíveis pela acção do segundo prisma.

Fazendo a experiencia desta maneira, Newton achou os resultados perfeitamente conformes a este raciocinio, e multiplicando as refrações successivas, achou, que a propriedade dos raios igualmente refrangíveis, era inherente a elles, e não podia ser alterada por hum numero qualquer de refrações.

167. Newton, por meio de huma terceira experiencia, o mais concludente possível, e facil além disto de verificar, confirmou ainda a diversa refrangibilidade dos raios heterogeneos, que compõe a luz inteira.

Seja SI a pyramide cônica de raios, que penetra na camera escura, receba-se esta pyramide sôbre o prisma ABC , este prisma projectará hum espectro córado sôbre o plano vertical PP . Na altura deste quadro, aonde se projecta huma qualquer das côres, v. g., o vermelho, abra-se hum pequeno orificio circular: o quadro interceptando todos os raios, excepto os que cahem sôbre o orificio, deixará penetrar para traz de si huma pyramide cônica de luz vermelha, que projectará sôbre hum segundo quadro $P'P'$ hum círculo vermelho. Abrindo neste lugar hum segundo orificio circular, penetrará para traz do quadro $P'P'$, huma pyramide cônica de luz vermelha, sensivelmente homogenea. Receba-se esta pyramide sôbre hum segundo prisma $A'B'C'$, que se situe na posição do maximo relativamente á luz incidente. Então se os raios homogeneos são igualmente refrangiveis, a imagem projectada por este prisma, sôbre hum ultimo quadro vertical $P''P''$, será circular, e de côr igual em toda a sua extensão. A experiencia confirma rigorosamente este resultado.

Fig. 42.^a

Deixando tudo disposto da mesma maneira; façamos girar o primeiro prisma, de modo, que os raios alaranjados, amarells, verdes, &c. penetrem successivamente pelo orificio do quadro PP , a ultima imagem projectada no quadro $P''P''$ deverá permanecer sempre circular, mas tinta das diversas côres, que successivamente penetraõ até ao ultimo prisma.

Além disto, se os raios diversos em côr são tambem diversos em refrangibilidade, como até agora nolo tem indicado as experiencias, esta imagem estará situada mais acima, ou mais abaixo no quadro $P''P''$, conforme a refrangibilidade dos raios; e assim veremos, que á medida que o prisma ABC gira sôbre o seu eixo, a imagem no ultimo quadro muda de côr, e de situação. Isto nos confirma, de huma maneira positiva, a opiniaõ de Newton sôbre a causa da dilataçã dos raios, e coloraçã das imagens na refraçãõ.

168. Mostrámos, § 95., que toda a lente convergente equivalle no seu effeito a hum systema de prismas refringen-

tes, cujas bases estando voltadas para o centro da lente, os ângulos refringentes estão voltados para a circumferencia. Se por tanto os raios de luz inteira são formados de raios heterogeneos de refrangibilidades diversas, as distancias da lente ao foco de cada hum destes raios devem ser diversas, e menores á medida, que os raios fôrem mais refrangiveis. Podemos por huma experiencia mui simples patentear a existencia deste phenomeno.

Fig. 43.^a Receba-se sôbre a lente convergente AB , o feixe $OA'O'B$ de raios solâres directos, penetrando pelo orificio da camara escura: como este feixe de raios he composto de huma infinidade de raios differentes em refrangibilidade, desde os raios vermelhos, até aos raios rôxos, os fôcos dos diversos raios serão os pontos successivos do eixo da lente desde F até F' , convergindo em F os raios rôxos extremos, que possuem a maxima refrangibilidade, e em F' os raios vermelhos, dotados da refrangibilidade minima. Se agora a huma certa distancia do foco F' situarmos hum quadro branco, este quadro interceptará as bases de todas as pyramides cónicas, que tem os seus vertices de F' até F , o que produzirá no quadro huma imagem circular. Na parte cd desta imagem, se achão evidentemente reunidas as bases de todas as pyramides; e por tanto a luz, que alumia esta parte, será composta quasi do mesmo modo, que a luz incidente $OA'O'B$. A' medida porém, que sahirmos deste circulo para as extremidades da imagem, começará por faltar no anel circular a luz vermelha, depois a côr de laranja, mais longe a amarella, a verde, &c. até que a extremidade, ou orla exterior do anel, será unicamente illuminada pela luz rôxa. O quadro deverá pois apresentar huma imagem circular branca, cercada por huma areola formada por aneis concentricos de côres variadas até ao ultimo, que será rôxo.

Se se abrir hum orificio em huma carta preta, e se situar este orificio no ponto F' , foco dos raios vermelhos, a carta interceptará todas as outras pyramides, excepto a interior $cF'd$, e fazendo caminhar o orificio da carta ao longo de $F'F$, haremos assim isolando as pyramides successivas.

Fig. 44.^a Se em vez de abrir na carta hum simples orificio, cortarmos nella hum circulo aberto, com outro circulo cheio no centro (fig. 44), e dermos ao circulo interior o diametro ss das secções das pyramides extremas no lugar, em que se

penétraõ, poderemos por meio desta carta, segundo a situarmos mais, ou menos proxima á lente, isolar os diversos aneis da areola, que circunda a imagem, e he evidente, que só os aneis extremos vermelho, e rôxo seraõ simplicies como no espectro, e os outros formados de luz inteira, diminuida sómente de taes, ou taes especies de raios. Esta experiéncia, e a antecedente são devidas ao Professor Charles.

169. De todas as experiéncias, que acabamos de descrever, resulta este importante conhecimento.

Os raios de luz inteira, que nos enviaõ os objectos luminosos, não são simples; mas cada hum delles he composto de huma infinidade de raios, dotados de refrangibilidades, e de propriedades colorantes diversas.

Decomposição da luz, pela reflexão na segunda superficie dos meios refringentes.

170. Depois de ter demonstrado pelas experiéncias antecedentes, e outras, que omittimos como suprabundantes, que os raios de luz inteira são sempre compósitos de huma infinidade de raios de refrangibilidades diversas. Passou Newton a mostrar, que estes raios gozaõ tambem da propriedade, de experimentarem com maior, ou menor facilidade a reflexão total, e achou, que os raios mais refrangiveis, eraõ tambem os que mais facilmente se reflectiaõ totalmente.

171. As experiéncias de que Newton concluiu este resultado podem reduzir-se todas á seguinte.

Toma-se hum prisma, cujo angulo refringente tem 90° , e os outros dois cada hum de 45° . Recebe-se a luz solár, que penétra na camara, sôbre huma das faces adjacentes ao angulo refringente. He claro, que a luz he em parte reflectida especularmente, pela face inferiôr do prisma, e em parte passa para o ar, formando hum espectro córado por traz do prisma. A parte de luz reflectida, que sahe pela outra face adjacente ao angulo refringente, recebe-se sôbre hum segundo prisma, que dispersando-a, a projecta finalmente sôbre hum quadro, formando hum espectro córado de luz frouxa, por ser sempre pouco intensa a luz reflectida parcialmente na superficie interiôr dos meios.

A' medida porém que fazemos girar o primeiro prisma, no sentido proprio para augmentar a obliquidade da inciden-

cia, nota-se: que, passado hum certo limite, toda a parte rôxa da imagem situada por traz do primeiro prisma desaparece; e pelo contrario reforça-se a intensidade da parte rôxa do espectro do segundo prisma: pouco depois desaparece o azul no primeiro espectro, e reforça-se o azul no segundo, e assim por diante, até á desappareição total do primeiro espectro, e completo brilhantismo do segundo.

He pois evidente, que os raios rôxos são os primeiros, que se reflectem totalmente, depois delles os azues, os verdes, &c. até aos vermelhos, que são os ultimos em soffrer a reflexão total: logo

Os raios os mais refrangiveis, são os mais dispòstos a reflectir-se totalmente.

Da reflexão irregular dos raios simples.

172. As propriedades dos raios simples não podem, como vimos, ser alteradas, nem pela refração, nem pela reflexão especular. Em todos estes casos os raios mudam de direcção, segundo a lei, que a cada hum delles pertence, ou que he commum a todos; mas não são dilatados, alterados, nem decompostos, e conservaão constantes a mesma refrangibilidade, e a mesma propriedade colorante. Passaremos agora a mostrar, que a reflexão irregular, não altera tão pouco a refrangibilidade, nem a propriedade colorante de semelhantes raios.

A habil mão de Newton, dispoendo para esta demonstração as experiencias, o seu sublime genio interpretando a linguagem destas observações, lhe dérao o cunho da evidencia, e da simplicidade, que caracterisaão aquelle genio rarissimo, honra do espirito humano, e talento sem paralelo na carreira scientifica.

173. Tendo practicado dois orificios na camara escura, Newton recebeu a luz, que por elles penetrava, sobre dois prismas dispòstos de maneira, que projectavao sobre hum quadro fronteiro dois espectros situados hum abaixo do outro, e girando com os prismas convenientemente, trouxe estes espectros ao contacto pelas extremidades oppòstas; quer dizer, fez com que o vermelho de hum, tocasse o rôxo do outro.

Isto conseguido, situou huma faixa de papel branco horizontal, na união dos dois espectros, de maneira, que a faixa se achava illuminada, em metade da largura, pela luz vermelha, e na outra metade, pela luz rôxa, e absorveo o resto dos espectros por hum panno negro, situado por traz da dita faixa de papel a huma certa distancia.

Afastou-se então da faixa, e observando-a através de hum prisma, cujo eixo lhe era paralelo, vio a parte rôxa separada da vermelha, de tal modo, que a refração, era maior para a parte rôxa, que para a vermelha: logo a reflexão irregular não fazia perder aos raios a differença de refrangibilidade, que lhes pertencia na luz directa.

174. A refrangibilidade propria dos diversos raios, que compõe a luz inteira, não sómente he inalteravel pela reflexão irregular na supercie dos corpos opacos; mas a propriedade colorante dos raios, não soffre tambem por esta causa alteração alguma; e qualquer que seja a substancia, que reflecte os raios simplicies da luz, estes raios conservarão a propriedade de excitar no olho, que os recebe, huma sensação sempre similhante, ou o que he o mesmo, lhe daraõ a sensação de huma mesma côr.

Para patentearmos esta verdade, faremos penetrar a luz inteira pelo orificio da camara escura, e recebendo esta luz sôbre hum prisma, separaremos os diversos raios, que hiraõ pintar o espectro côrado, sôbre hum quadro situado a huma certa distancia. Neste quadro abrir-se-ha huma pequena abertura, sôbre a qual faremos incidir successivamente as differentes côres do espectro. Por traz desta abertura, e sôbre hum fundo negro, situaremos hum corpo de huma côr, e natureza qualquer, e veremos que, qualquer que seja a côr ordinaria deste corpo, apparecerá vermelho, alaranjado, amarello, &c. segundo os raios, que penetrando pela abertura do quadro o alumiaem, fôrem vermelhos, alaranjados, amarellos, &c. Quando porém a côr ordinaria do corpo coincide com a da luz, que o alumia, a reflexão desta luz he mais abundante, e o corpo appresenta huma côr mais viva, e mais brilhante, do que no caso, em que o raio, que o alumia he diverso da sua côr ordinaria; assim, por exemplo, o cinabre appresenta huma côr vivissima, quando sôbre elle fazemos incidir a luz vermelha; o chromato de chumbo, quando o alumiamos com os raios amarellos, &c.

175. Estes factos nos fazem já antever a causa da coloração dos diversos corpos; com effeito, hum corpo tem huma côr differente da côr da luz inteira, quando exercendo acções diversas sobre os raios heterogeneos, que compõem a luz pura, absorve huns em maior abundancia, que outros, e reflecte pelo contrario mais abundantemente estes, do que aquelles; de maneira, que os raios, que predominão na luz reflectida, determinão a sensação de côr, que o corpo visto pela reflexão produz no olho do observador.

176. As côres naturaes dos corpos, jámais são simples; quer dizer, não ha corpo algum conhecido, que goze da propriedade de reflectir sómente huma especie de raios absorvendo todos os outros. Se tal corpo existisse, seria completamente invisivel, quando o alumiassemos com outra luz diversa daquella, que elle reflectisse: ora este phenomeno não he appresentado por substancia alguma, nem ainda por aquellas, cuja côr nos parece mais similhante ás côres simples do espectro solár.

Dos meios de simplificar com a maior perfeição os raios heterogeneos, que compõe a luz inteira.

177. Depois de haver mostrado pelas experiencias, e raciocinios antecedentes, e outros do mesmo genero, que a luz dimanada dos objectos luminosos he huma mistura de raios heterogeneos, dotados de refrangibilidades, e propriedades colorantes diversas; Newton antes de estudar particularmente cada hum dos raios simples, occupou-se da maneira de os isolár com toda a perfeição possível, ou o que he o mesmo, de obter raios de huma luz, quanto possível homogenea.

178. Para nos convenceremos da necessidade deste trabalho, isto he, dos meios de produzir huma separação de raios, mais perfeita, do que aquella, que até ao presente temos conseguido; devemos reflectir, que no espectro, que temos produzido, cada faixa corada, o he ainda por hum certo numero de raios heterogeneos.

Ainda considerando o orificio da camara escura como hum ponto; he evidente, que os raios, que partem do disco solar, e penetraõ pelo orificio, formão no interiõr da camara huma pyramide cônica de luz, cujo vertice existe no ori-

ficio; e como cada raio, que parte de cada hum dos pontos do disco solar, he composto de todos os raios heterogeneos, que compõe a luz inteira, a base desta pyramide cônica, recebida sobre o prisma he a reunião de todas as bases das pyramides, formadas por cada especie dos raios simples.

Quando o prisma recebendo todos estes raios os separa, refrangindo-os mais, ou menos, segundo as suas naturezas, os eixos de todas estas pyramides, encontrando o quadro, que recebe o espectro, fôrmaõ sobre elle huma serie de pontos, situados em pequenas distancias ao longo do eixo vertical do espectro; e para termos agora as bases das pyramides de diversas côres, que devem compôr a imagem, deveremos descrever de cada hum destes centros hum circulo de hum raio dependente da distancia do quadro ao orificio, e do diametro apparente do sol. Como a differença de refrangibilidade dos diversos raios he mui pequena, os centros dos circulos são mui proximos, e consequentemente as suas arêas recamaõ-se, e sobrepõe-se, como se vê na (fig. 45.), e Fig. 45.^a por conseguinte, á excepção das extremidades da imagem, todo o resto das partes della he illuminado por huma luz composta.

179. Daqui se vê, que no espectro solar, obtido pelos meios, que até agora temos exposto, a decomposição da luz pôde dizer-se começada; mas não conseguida completamente, e que Newton para estudar as propriedades dos raios simples, precisava achar processos mais perfeitos para a separação, e simplificação mais completa dos raios; passemos a seguir no exame, e exposição destes meios.

180. Em quanto nos servirmos do mesmo prisma, ou antes de prismas, que dispersem a luz da mesma maneira, os centros dos circulos de côres diversas, de que o espectro he composto, teraõ entre si as mesmas distancias, qualquer que seja o diametro da imagem, que o prisma refracta. Por outra parte, quanto menor fôr o diametro da imagem, que o prisma refracta, tanto menores seraõ os diametros dos circulos diversamente côrados, de que a arêa do espectro he composta; estes circulos por conseguinte anteciparaõ tanto menos uns sobre os outros; e com effeito no limite, isto he, quando a imagem fôr hum ponto luminoso, os circulos no espectro seriaõ tambem pontos, o espectro teria huma largura insensivel, seria huma recta formada por pontos de diversas

côres, perfeitamente simples; pois que neste caso não haveria anticipação, ou superposição de huns círculos sobre os outros. Convem pois, para conseguir a separação cada vez mais perfeita das côres, aproximar-nos quanto podermos deste limite, diminuindo mais, e mais a imagem, que deve ser refractada pelo prisma.

181. Como porém he necessario para as experiencias, que as côres, além de simples, sejaõ vivas, e intensas, convem diminuir o mais possivel o diametro da imagem do sol; mas conservando-lhe, on se fôr possivel augmentando-lhe, a intensidade de luz.

182. Para conseguir estes fins, e fazer ao mesmo tempo desaparecer das bôrdas do espectro, a incerteza provinda da dispersão da luz da penumbra, Newton recebeu toda a luz entrada pelo orificio da camara escura sobre huma lente convergente, que reunindo os raios em huma certa distancia, produzia ali huma imagem de hum diametro mui pequeno, e por isso mesmo de huma luz mui intensa, e isenta completamente de penumbra. Recebendo então esta imagem sobre o seu prisma, o espectro se apresentou de hum comprimento muito maior relativamente á largura, do que quando era produzido sem o arteficio da lente: as bôrdas eraõ perfeitamente terminadas, e livres da incerteza da penumbra; finalmente as côres eraõ vivissimas, e assás simples, para que cada raio não experimentasse dilatação sensivel por hum numero consideravel de refracções successivas, a que se submettesse.

183. Newton aproximou-se ainda mais do limite rigoroso da simplicidade, substituindo na experiencia ao sol, como ponto luminoso, o disco do planeta Venus, e tendo operado sobre a luz deste planeta, como sobre a luz solar, obteve hum espectro sensivelmente linear, e entretanto assás brilhantes para nelle se poderem distinguir as diversas côres.

184. Se sobre os raios de luz assim purificados, e simplificados, se repettem as experiencias, que ficaõ indicadas, os resultados seraõ ainda mais rigorosos, e confirmação por conseguinte com maior força ainda, as conclusões theoreticas, que Newton delles deduzio.

Divisão do espectro em sete côres principaes, e relação achada por Newton entre a largura das faixas do espectro, occupadas por cada huma dellas.

185. Apesar de reconhecer na luz inteira a coexistencia de huma infinidade de raios diversamente refrangiveis, e dotados de propriedades colorantes diversas; Newton, na impossibilidade de designar por hum nome particular cada hum destes raios, e gradação de côr particular á impressão de cada hum delles, tomou o partido de os dividir em sete classes, ou especies diversas, caracterisadas pelos nomes de sete differentes côres, que encerraõ em si gradações successivas. Estas sete côres, ou especies de raios são, como já dissemos, a partir dos menos refrangiveis,

Vermelho, Alaranjado, Amarello, Verde, Azul, Indigo, e Roxo.

186. Para ligar a estas denominações huma idéa fixa, e invariavel, como he necessario para a comparação das observações, e perfeita intelligencia da lingoagem, procedeo Newton a marcar rigorosamente no espectro os limites de cada côr.

Para este fim introduzio hum raio solar na camara completamente escura, e tendo-o recebido sôbre huma lente convergente, situou no fóco da lente hum prisma, cujo angulo refringente era $62^{\circ} 30'$, e deo a este prisma a posição do maximo. A distancia do prisma ao quadro, que recebia o espectro era de $18\frac{1}{2}$ pés, e o espectro tinha 10 pollegadas de comprimento, e 2 pollegadas e $\frac{1}{3}$ de largura, finalmente observando o angulo formado pelos raios incidentes com o raio emergente verde, que he o raio de refrangibilidade media, achou Newton este angulo igual a $44^{\circ} 40'$.

Isto feito, traçou sôbre hum papel branco o contôrno do espectro com as dimensões observadas, e fazendo coincidir este contôrno com o contôrno verdadeiro do espectro, fez traçar nelle linhas horisontaes *AA, BB, CC, DD, EE, FF, GG, HH*, pelos limites adoptados para cada côr, excluindo as partes curvas *AA'A*, e *HH'H*, que ter-

Fig. 46.³

minaõ o espetro na parte superior, e inferior; e medindo as distancias entre estas linhas, achou o seguinte.

Fig. 47.^a

Produzindo AH até O , de maneira, que AO seja igual a $2 AH$, teremos, tomando AO por unidade - - - -

$$OA:OB:OC:OD:OE:OF:OG:OH::1:\frac{8}{9}:\frac{5}{6}:\frac{3}{4}:\frac{2}{3}:\frac{3}{5}:\frac{9}{16}:\frac{1}{2}:$$

esta progressão acha-se ser a mesma, que a das divisões de huma côrda, que dão os tons *Do, Re, Mi^b, Fa, Sol, La, Si, Do₂*.

187. Esta coincidência singular, induzio em erro muitos Physicos, que encontrando-a nas descobertas de Newton, quizeraõ dar-lhe huma importancia, muito superior, á que lhe compete, e á que o mesmo Newton lhe deo. E na verdade, esta relação singular, foi fortuitamente encontrada nesta experiencia; por quanto se empregassemos nella hum prisma, de huma materia, cuja acção dispersante sobre a luz, fôsse diversa, da que possuia o vidro do prisma de Newton, as relações entre a largura das faixas, seriaõ diversas.

188. Se agora dividirmos o intervalo AH em 360 partes, ou o que he o mesmo, AO em 720, e dividirmos AO nas razões precedentes, teremos a distancia de O ao limite de cada côr, e subtrahindo estas distancias humas das outras, teremos os intervalos occupados por cada huma das côres, que seraõ os seguintes, expressos em huma unidade igual a $\frac{AO}{720}$.

Larguras occupadas por cada côr.

Pelo rôxo - - - - -	80
Pelo indigo - - - - -	40
Pelo azul - - - - -	60
Pelo verde - - - - -	60
Pelo amarello - - - - -	48
Pelo alaranjado - - - - -	27
Pelo vermelho - - - - -	45

Comprimento do espetro, sem os simicirculos extremos - - - - - 360.

189. Tendo-o obtido com a sua ordinaria delicadeza, exactidão, e pericia, Newton se apressou com tudo em generalisar este resultado, e suppôz, que estas proporções entre as faixas córadas, eraõ sempre constantes. Experiencias positivas mostráráõ depois, que esta lei de proporção avançada por Newton, não era exacta, e que a dispersão dos raios he diversa nas diversas substancias, segundo a sua natureza chymica; sendo por tanto indispensavel determina-la por observação em cada substancia em particular.

190. Este erro de hum genio tal, como o de Newton, deve preservar os observadores da natureza, da promptidão excessiva de generalisar hum resultado, sem ter primeiro variado por muitas maneiras as experiencias com substancias, e fórmãs diversas, e em hum grande numero de circumstancias differentes; e com effeito se o grande Newton em vez de se haver limitado nesta parte, contra o seu costume, a hum pequeno numero de substancias, cujas acções dispersantes são pouco diversas, se houvera estendido a hum numero dellas mais consideravel, jámais huma conclusão taõ precipitada houvéra sido avançada por elle.

Recomposição da luz, formação da côr branca.

191. Os raios elementares, que compõe a luz inteira, e que os procêssos antecedentes nos permitiráõ isolar, e estudar separadamente, não são alterados, como vimos, pela refração, nem pela reflexão irregular na superficie dos corpos de diversa natureza; mas semelhantes raios conservaõ invariavelmente as suas propriedades.

As experiencias seguintes nos mostraráõ, que se novamente reunirmos estes raios, reproduziremos a luz inteira, e nesta luz inteira, formada por assim dizer, syntheticamente, descobriremos as mesmas propriedades, que a caracterisavaõ antes da decomposição, e os raios elementares, nella segunda vez reunidos, conservaráõ tambem todas as suas propriedades. Veremos tambem nestas experiencias, que para que hum côrpo pôssa appresentar-nos a côr branca, he necessario, que a sua superficie pôssa reflectir os diversos raios simplicies, na mesma proporção, em que existem na luz inteira, e confundidos entre si da mesma maneira, que naquella especie de luz.

192. Receba-se o raio de luz inteira, que penetra na camera escura, sobre hum prisma, que decompondo-o, projete o espectro solar, e em vez de receber este espectro sobre hum quadro, apresentemos aos raios emergentes huma lente convergente. Os raios reunir-se-hão de novo gradualmente, até se cruzarem no fóco da mesma lente, e continuarão além d'elle a separar-se de novo, como antes de haverem atravessado a lente, de tal maneira, que se sobre hum quadro branco, situado em distancias iguaes áquem, e além do fóco, recebemos a luz, que atravessa o vidro convergente, teremos em huma, e outra posição espectros córados, iguaes, e semelhantes; o que nos prova, que os raios heterogeneos separados pelo prisma, e reunidos novamente pela acção da lente, cruzando-se a final no fóco desta, nem pela segunda reunião, nem pelo cruzamento fóraõ de maneira alguma alterados nas suas propriedades refrangivel, e colorante.

193. Se situarmos o quadro no fóco dos raios o quadro parecerá branco; mas em qualquer outra posição parecerá tinto de côres diversas; o que nos mostra, que para produzir a sensação da côr branca, he indispensavel, que o côrpo seja alumiado pela luz inteira, e que pôssa por conseguinte reflectir irregularmente raios de todas as especies, e na mesma proporção, e mistura, em que existem na mesma luz inteira.

194. Para confirmar ainda com mais rigôr esta conclusão, interceptemos com huma regoa negra, situada entre o prisma, e a lente, huma especie qualquer de raios, ou huma parte sómente dos raios de huma, ou mais especies, o quadro situado no fóco cessará em todos estes casos de apresentar a côr branca; mas parecerá tinto de huma côr differente, que variará segundo as proporções de côres diversas, que o alumiamem.

195. Outra prova ainda, de que para a luz ser branca, he indispensavel a perfeita mistura de todos os raios heterogeneos, se obtem, substituindo ao quadro branco, e despolido, que situamos no fóco, hum disco tambem branco; mas polido especularmente, v. g., huma lamina de prata polida. Esta lamina parecerá illuminada de côres diversas. Vimos, que os diversos raios, quando atravessão huma lente convergente, não se reúnem em hum fóco unico, mas em fócos parciaes, tanto mais distantes da lente, quanto os raios são

menos refrangíveis; assim o corpo branco despolido não he illuminado pelos raios heterogeneos completamente misturados; mas a reflexão inteiramente irregular, que tem lugar na superficie de hum semelhante corpo, completando a perfeita mistura daquelles raios, nos dá a sensação da côr branca. Pelo contrario o corpo polido, que reflecte os raios especularmente não os confunde, e conserva-lhes na reflexão a mesma pequena divergencia, com que incidirão sôbre elle, o que nos permite distinguir côres diferentes, em pontos diversos da superficie especular.

196. Assim como obtivemos a luz branca, reunindo as diversas côres do espectro formado pela dilatação da luz por hum prisma unico, podemos obtela, reunindo todas as côres de hum numero qualquer de espectros diversos.

Para este fim formão-se com duas chapas de vidro, de pouco mais, ou menos dois decímetros de comprimento, e huma largura qualquer, engastadas em qualquer materia opaca, duas faces de hum vaso prismatico sensivelmente equilatero, que se enche de agoa, ou de outro liquido refringente. Cobre-se a face de incidencia com huma chapa opaca, na qual se practicaão aberturas rectangulares, e horisontaes, de pouco mais, ou menos dois milímetros de largura, separadas por intervallos cheios iguaes a ellas; a fig. 48 representa este apparelho, que se situa em huma abertura da camara escura, que deve encher perfeitamente.

Fig. 48.^a

He claro, que a luz exterior penetrando no prisma por todas as aberturas da chapa, que cobre a superficie de incidencia, este projectará outros tantos espectros no interior da camara, e se os recebermos sôbre hum quadro, perto do prisma, estes espectros serão separados huns dos outros; afastando porém gradualmente o quadro os diferentes espectros, que vão crescendo em dimensões, hiraão anticipando huns sôbre os outros, e chegará hum limite, no qual todas as partes se sobreporaão, á excepção sómente do vermelho extremo, e do extremo rôxo dos dois ultimos espectros inferior, e superior, e observaremos, que no espaço, que no quadro alumiaão os espectros sobrepostos, espaço aonde todas as côres simples se confundem, será branco.

197. Newton, tendo reconhecido a propriedade, que tem as nossas sensações, de durarem por hum certo tempo, ainda quando são produzidas por huma acção instantanea, tirou

partido desta propriedade, para excitar no olho a sensação da côr branca, não enviando ao olho simultaneamente todos os raios simples na proporção, em que existem na luz inteira; mas ferindo-o com a presença das diversas côres, succedendo-se com tal rapidez, que a sensação produzida pela primeira, durasse ainda no órgão, quando este fôsse affectado pela presença da ultima; certo de que huma semelhante successão de sensações se confundiria na sensação unica de huma côr branca uniforme. Eis-aqui em que consistio esta enghenosa experiencia de Newton.

Tendo dispersado o raio, que penetra na camara escura, Newton reunio as luzes diversas por meio de huma lente convergente, e hum cartão branco situado no fóco recebia huma imagem redonda, que parecia branca, reflectindo confundidos todos os raios do espectro. Então tomou Newton huma lamina talhada á maneira de pente, com dezeseis dentes, cada hum dos quaes tinha $0^m,04$ de largura, e os intervallos, que os separavao, a largura de $0,054$ proximamente. Situando este pente entre a lente, e o prisma, interceptou huma parte dos raios, e a imagem segundo a posição do pente, tomou differentes côres; mas fazendo correr o pente abaixo; e a cima por diante da lente com grande velocidade, as impressões successivas; mas extremamente rapidas de todas as côres tomadas pela imagem, sôbre o olho do observador, lhe dao huma sensação da côr branca uniforme, como se experimentava quando, não existindo o pente, todas as côres erao simultaneamente enviadas ao olho pelo cartão branco.

Distincção entre as côres simples, e compóstas.

198. He para nós actualmente indubitavel, que a sensação de tal, ou tal côr, tem por causa a entrada de taes, ou taes raios no olho, e sabemos, que se no olho penetrao simultaneamente raios heterogeneos, combinados em proporções differentes, as côres, que se divisaõ, saõ tambem diversas, e as mais das vezes distinctas das côres dos raios simples.

Chamamos côres *simplices*, côres *primitivas*, ou *elementares*, as que provem da impressão dos raios homogeneos; chamamos pelo contrario côres *compóstas*, aquellas que provem da acção de raios heterogeneos, combinados em quaes;

quer proporções. Assim o vermelho do espectro, o verde, o roixo, &c. são côres simples; a côr branca pelo contrario he de todas as côres a mais composta; pois resulta, como mostrámos, da uniaõ de todas as côres simples.

199. Podem formar-se taes combinações de raios heterogeneos, que produzaõ no olho a mesma sensação, que huma certa especie de raios homogeneos; assim, por exemplo, se reunindo por meio da lente convergente os raios heterogeneos, separados por hum prisma, interceptamos antes da lente todos os raios, excepto certas proporções dos azues, e dos amarellos, a imagem no fôco da lente, appresentará a mesma côr, que sendo illuminada pelos raios verdes do espectro; do mesmo modo com os raios amarellos, e os vermelhos, em proporções convenientes, podemos imitar, o alaranjado primitivo, com os raios azues, e os vermelhos, o rôxo, &c.

Daqui se vê, que o receber o olho, que observa huma imagem, a sensação de huma côr primitiva, não he sempre próva de que nelle penetraõ sómente raios homogeneos, isto he, não demonstra, que a côr da imagem seja huma côr simples; será porém sempre facil determinar, se qualquer côr he simples, ou composta.

200. Se huma côr he simples, os raios, que a constituem, são todos igualmente refrangiveis; recebendo pois estes raios sobre hum prisma, e dando a este a posição do maximo, a imagem será desviada; mas não dilatada, nem alterada em côr. Se porém a côr fôr composta, quer dizer, se provier de huma combinação qualquer de raios heterogeneos, estes raios seraõ desigualmente refrangiveis; se pois os recebermos sobre o prisma, e lhe dermos a posição do maximo, a imagem será desviada, como no caso antecedente; porém experimentará huma dilatação sensivel, e os raios de refrangibilidades diversas, sendo desigualmente desviados, pela acção do prisma, formaraõ hum espectro tinto de tantas côres, quantas são as especies de raios heterogeneos, que formavaõ a côr composta.

201. Por falta de reflexaõ sobre este caracter, distinctivo das côres simples, e compostas, alguns Physicos accusaraõ injustamente Newton, de ter elevado erradamente ao de sete o numero das côres primitivas; e notando, que o verde no espectro occupa o meio entre o azul, e o amarello, e

alaranjado, o meio entre o amarello, e o vermelho, nega-rao a existencia das côres verde, e alaranjada, como simpli-ces, pertendendo, que estas côres não erao outra cousa mais, que combinações de raios heterogeneos, que com ellas con-finao no espectro. O conhecimento porém, de que nem a luz verde do espectro, nem a alaranjada podem ser dilata-das, nem decompostas por huma serie qualquer de refrac-ções, refuta completamente esta frivola increpação, e nos mostra, que a divisao de Newton he fundada na mesma ex-actidão, e rigôr de observação, em que aquelle Phylosofo costumava fundamentar as suas conclusões.

202. Este caracter das côres simples, nos prôva, o que já por outro meio concluimos no § 176, quer dizer, que as côres naturaes das diveasas substancias, não são simples; com effeito, não se encontra huma só, cuja imagem não seja dilatada pela refração através de hum prisma, e que observada por este meio apresente huma côr uniforme em to-da a sua extensao. As petalas das flores, são as substancias onde as côres se aproximao mais da simplicidade, assim, v. g., as petalas das chagas, tem quasi a côr alaranjada pri-mitiva; porém participa ainda de alguns raios heterogeneos, especialmente vermelhos.

Método de Newton, para a determinação da côr, re-sultante da combinação de quaesquer proporções das côres primitivas.

203. Multiplicando as experiencias sôbre as diversas com-binações de raios heterogeneos em varias proporções, New-ton determinou a natureza das côres resultantes destas com-binações; e quando hum observador vulgar teria parado no conhecimento de hum certo numero de resultados isolados, aquelle grande homem descobrio o nexu, que os ligava, e deo huma lei, ou antes huma construcção empirica, porém exacta, e rigorosa, que nos dá o meio simples de resolver o seguinte problêma.

Sendo dado o concurso simultaneo de quaesquer côres, em quaes-quer proporções, achar a côr composta, que dellas resulta?

Eis-aqui o método, pelo qual Newton resolve esta questão.

204. Descreva-se do ponto *C*, como centro, e com hum Fig. 49.^a raio, que tomaremos por unidade, huma circumferencia de circulo, e divida-se esta circumferencia em sete arcos *AB*, *BD*, *DE*, *EF*, *FG*, *GH*, e *HA* entre si, como os numeros $\frac{1}{9}$, $\frac{1}{16}$, $\frac{1}{10}$, $\frac{1}{9}$, $\frac{1}{10}$, $\frac{1}{16}$, $\frac{1}{9}$.

Considere-se cada hum destes arcos como representando cada huma das sete côres primitivas na mesma ordem, em que se succedem no espectro a partir do vermelho. Calculando estes arcos em grãos; para o que nos bastará a regra da companhia, ou proporção seguinte: *a somma das fracções propôstas, para 360°; assim como cada huma das fracções, para o numero de grãos do arco, que lhe corresponde; acharemos a seguinte divisaõ para a circumferencia.*

Vermelho	- - - - -	<i>AB</i>	- - -	60. ^o	45. ^l	34. ^{ll}
Alaranjado	- - - - -	<i>ED</i>	- - -	34.	10.	38.
Amarello	- - - - -	<i>DE</i>	- - -	54.	41.	01.
Verde	- - - - -	<i>EF</i>	- - -	60.	45.	34.
Azul	- - - - -	<i>IG</i>	- - -	54.	41.	01.
Indigo	- - - - -	<i>GH</i>	- - -	34.	10.	38.
Rôxo	- - - - -	<i>HA</i>	- - -	60.	45.	34.

Determinem-se os centros de gravidade *a*, *b*, *d*, *e*, *f*, *g*, *h*, destes differentes arcos, e imagine-se em cada hum destes pontos, situado hum pêso proporcional ao arco; o centro de gravidade de todo este systema, será o centro *C* do circulo. Quando porém imaginar-mos em quaesquer dos centros parciais de gravidade *a*, *b*, *d*, &c. fracções quaesquer dos pêsos iniciaes, o centro de gravidade do systema, poderá cahir fóra do centro *C* do circulo, e o fará sempre, que os pêsos não fôrem todos alterados na mesma razão. Este centro cahirá pois em hum ponto qualquer *C'* situado dentro da circumferencia.

Tal he a construcção de Newton. Passemos a fazer uso desta construcção. Pela reuniaõ dos sete pêsos, nas proporções, e situações indicadas, representa Newton a acção simultanea de todas as côres simplicies, na proporção, em que existem na luz inteira, e pela coincidencia do centro de gravidade do systema, assim carregado, com o centro *C* do circulo, a producção de côr branca, que resulta desta acção.

Quando carregando o systema em outras quaesquer porções, o centro de gravidade do systema cahe em C' fóra do centro C , o sector, em que cahe o centro C' , indica a côr resultante, a qual será tanto mais esbranquiçada, quanto C' se achar mais proximo a C ; e pelo contrario terá tanto menos branco, quanto C' mais se aproximar da circumferencia; finalmente esta côr participará tanto mais de cada humas côres adjacentes á do sector, em que se acha o ponto C' , quanto este ponto se achar mais proximo do limite desse sector.

Deve notar-se, que se o centro de gravidade C' cahir proximo ao limite CA do rôxo, e do vermelho, a côr resultante será purpurea tanto mais avermelhada, quanto mais se affastar C' daquelle limite para dentro do sector vermelho, e tanto mais rôxa, quanto mais o dito ponto se affastar do limite para dentro do sector rôxo. A côr purpurea terá mais fogo, e viveza, á medida, que C' se aproximar da circumferencia, sendo pelo contrario mais palida, á proporção, que C' se aproximar do centro C .

205. Para reduzirmos a construcção de Newton, a fórmulas, que nos permittaõ calcular por simples substituições, a natureza da côr resultante em cada caso proposto, discorreremos da maneira seguinte.

Fig. 50.^a Começaremos referindo o centro de gravidade das diversas côres, a coordenadas rectangulares, contadas ao longo do limite CA do rôxo, e do vermelho, e ao longo de CO perpendicular a esta direcção, e chamando x a coordenada contada ao longo de CA , e y a coordenada correspondente, contada ao longo de CO , e relativas ao centro de gravidade θ do arco αC de hum a côr qualquer, determinaremos estas coordenadas em dados do problêma.

Para isto, se chamarmos a ao arco αC , e se tirando pelo meio R deste arco o raio CR , tirarmos tambem a corda αC , e lhe chamarmos c , recordando-nos, que em mechanica se prôva, que o centro de gravidade de qualquer arco, existe no raio, que divide o arco em partes iguaes, e que a distancia do centro de gravidade do arco ao centro de circulo, he igual ao producto do raio do circulo pela corda, dividido pelo arco, (*) teremos no caso, que nos occupa, no qual o raio

(*) *Mechanica de Maria. Traducção Portugueza, § 114. Poisson, Mechanica, § 104.*

do círculo he a unidade, chamando d a distancia θC do centro de gravidade do arco αC , ao centro do círculo - - -

$$d = \frac{c}{a}.$$

Como o arco a nos he dado em grãos para termos o seu comprimento, diremos, designando por π a semicircumferencia do raio 1 - - - - -

$$360^\circ : a :: 2\pi : \frac{2\pi a}{360^\circ},$$

e este quarto termo será o comprimento do arco, que devemos substituir na expressão de d , a qual se tornará em - - -

$$d = \frac{c}{2\pi a} \cdot \frac{2\pi a}{360^\circ}.$$

Porém a corda de qualquer arco he o dôbro do Seno de metade desse arco: logo $c = 2 \text{ Sen } \frac{1}{2} a$, e por tanto - - -

$$d = \frac{360^\circ \text{ Sen } \frac{1}{2} a}{\pi a} \quad \text{--- (A).}$$

Nesta fórmula tudo he dado, menos d : logo ter-se-ha por meio della, o valôr desta distancia.

Abaixemos agora do centro de gravidade θ sôbre as linhas AC , e CO , as perpendiculares θp , e $\theta p'$, teremos $\theta p = x$, e $\theta p' = y$. Chamemos C o arco AR , que he sempre conhecido para qualquer côr, pois se compõe dos arcos $A\alpha$, distancia do limite do vermelho, e do rôxo á origem do arco da côr, que se considêra, e da metade αR do arco da dita côr: entãõ teremos o arco RO , complemento de C .

O triangulo θpC , rectangulo em p , dá - - - - -

$$pC = \theta C. \text{ Cos } RCA, \text{ ou } x = d. \text{ Cos } e \quad \text{--- (B).}$$

O triangulo $\theta p'C$, rectangulo em p' , dá - - - - -

$$p'C = \theta C. \text{ Cos } RCO, \text{ ou } y = d. \text{ Sen } e \quad \text{--- (C).}$$

Substituindo agora os valôres proprios para cada côr nas expressões (A), (B), e (C), teremos os seguintes valôres de x , e de y para cada huma das sete côres.

Vermelho, e rôxo --- $x = + 0,822840$ -- $y = \pm 0,482350$.

Alaranjado, e indigo -- $x = + 0,207398$ -- $y = \pm 0,963163$.

Amarello, e azul ---- $x = - 0,513992$ -- $y = \pm 0,813736$.

Verde ----- $x = - 0,953796$ -- $y = 0,000000$.

Determinadas assim as coordenadas x , e y dos centros de gravidade de cada huma das côres, para passar deste conhecimento ao das coordenadas do centro de gravidade do systema, quando tomarmos as côres em proporções quaesquer, não teremos mais, que multiplicar cada hum dos pêsos, que designa a proporção de cada huma das côres no systema pela sua coordenada correspondente, sommar estes productos, que serão os momentos das côres relativamente ao eixo da coordenada, que se determina, e dividir esta somma, pela somma total dos pêsos (*).

Designando pois as massas de cada côr, a partir do vermelho, pelas letras m, n, o, p, q, r, s , e por T , e Z , as coordenadas do centro de gravidade C' do systema, correspondentes aos x , e y dos centros parciaes, teremos - -

$$(D) \quad T = \frac{(m+s) 0,822840 + (n+r) 0,207398 - (o+q) 0,513992 - p \cdot 0,953796}{m+n+o+p+q+r+s}$$

$$(E) \quad Z = \frac{(m-s) 0,482350 + (n-r) 0,963163 + (e-q) 0,813736}{m+n+o+p+q+r+s}$$

Fig. 51.² Achadas por estas duas fórmulas as coordenadas T , e Z do centro de gravidade C' do systema, nada mais facil, que determinar a distancia D deste centro ao centro C do circulo, e o angulo ACC' , formado pelo raio, que passa pelo centro de gravidade C' , e o eixo CA dos x , angulo, que designaremos por E . Com effeito, abaixando de C' a perpendicular $C'P$ sobre AC , o triangulo $C'PC$ rectangulo em P dará -

$$\text{Tang } E = \frac{Z}{T}, \text{ e } D = \frac{Z}{\text{Sen } E} = \frac{T}{\text{Cos } E} \quad (F).$$

As equações (D), (E), (F), nos põem em circumstancias de resolver o problêma proposto, § 202. Ighora-se co-

(*) *Mechanica de Maria. Traducção Portugueza, §. 105. Poisson, Mechanica. . . . § 39.*

mo Newton chegou a esta descoberta, que elle diz simplesmente, que verificára por experiencias repetidas, sem narrar, e descrever a filiação das idéas, que o conduzirão a hum tão simples, quanto fecundo, e pasmoso resultado.

206. Quando combinamos huma parte sómente das côres para produzir huma certa côr, que já sabemos determinar pela posição do centro commum de gravidade C' , as côres restantes terião outro centro commum de gravidade C'' , situado diversamente; quer dizer, produzirão huma outra côr pela sua uniaõ reciproca. Duas côres assim produzidas chamão-se *complementares* huma da outra, e he evidente, que se reunissemos duas côres complementares, o resultado seria o mesmo, que da reuniaõ de todas as sete côres, isto he, seria o branco; assim podemos diffinir côres complementares, duas quaesquer côres, cuja reuniaõ produz a côr branca.

De alguns phenomenos naturaes dependentes dos principios expostos.

207. O conhecimento das leis, segundo as quaes a luz he refractada, reflectida, e decomposta; da natureza das côres compostas, e primitivas, &c., nos põe em circumstancias de explicar hum grande numero de phenomenos naturaes, dependentes daquellas leis, e cujas causas eraõ completamente ignoradas, ou apenas conjecturadas antes da aquisição daquelles conhecimentos.

Os limites deste tractado não nos permittem estender-nos nesta materia, que só levemente tocaremos, assim como temos feito em outras applicações não menos interessantes dos principios da physica aos phenomenos appresentados pela natureza.

208. Hum dos phenomenos mais apparentes, cuja theoria he sómente conhecida perfeitamente depois das descobertas de Newton sôbre as diversas refrangibilidades dos raios heterogeneos, que compõe a luz; mas que já antes delle Antonio de Dominis, Bispo de Spalatro, e principalmente Descartes, tinhão começado a explicar com successo, he o dos arcos Iris, que as nuvens, proximas a resolver-se em chuva, nos appresentaõ, quando os raios solares as alumiaõ, debaixo de certas incidencias. Newton provou, que este theo-

ro, he unicamente devido ás refrações, e reflexões successivas dos raios solares no interior dos globulos aquosos, que formão a nuvem; e applicando ao phenomeno as leis da reflexão, e da refração, e os principios da decomposição da luz, deduzio, e explicou todas as circumstancias deste tão bello, como curioso metheoro, mostrando a razão da produção dos dois arcos concêntricos, que geralmente o compõe, e da disposição inversa das côres em cada hum delles, relativamente ao outro. Os raciocinios, que a isto o conduzirão, nos mostrão a sua ordinaria sagacidade, e nos convençem, de que este phenomeno reconhece unicamente por causa a reflexão, e refração dos raios solares nas molléculas aquosas.

209. O phenomeno das corôas irisadas, que ás vezes cercão os astros, he hum metheoro analogo ao antecedente, e depende provavelmente de huma similhante causa. Huygens he o physico, que mais trabalhou neste objecto, e por meio de raciocinios, e de experiencias deo deste phenomeno huma explicação satisfatoria.

210. Entre as illusões, que o jogo das refrações, e reflexões da luz pôde produzir, não omittiremos o phenomeno da *miragem*, que se observa no mar, e ainda mais vistosamente em terra, quando a localidade favorece a sua produção.

Monge, que o observou no Egypto, deo em huma memoria especial a descripção, e explicação deste curioso phenomeno.

Para que a miragem se produza as circumstancias as mais opportunas são a presença de huma campina sensivelmente plana, e extensa até perder-se no horisonte, e hum sol ardente, capaz de fazer adquirir ao terreno huma temperatura muito elevada.

Quando o phenomeno se manifesta, a campina, a partir de huma certa distancia diante do observador, parece completamente inundada, os objectos, cujos cumes dominaão a inundação, reflectem-se nella, como na superficie das agoas de hum lago, levemente agitadas por huma viração branda. A' medida, que o observador se aproxima da inundação esta se retira diante d'elle, de maneira a conservar-se sempre na mesma distancia.

Este aparatoso phenomeno reconhece por causa a den-

sidade menor, que o stracto inferior de ar toma, sendo aquecido pelo terreno, relativamente á densidade dos stractos superiores da atmosphera. Então os raios de luz, que chegam a este stracto com huma obliquidade consideravel, não podem penetrar nelle; mas trocando-se para taes raios a refração em reflexão total, vem por este meio penetrar no olho do observador, representando-lhe a superficie do stracto de ar dilatado, como huma superficie especular, tal qual he a de hum lago, e aonde se reflectem os objectos superiores. Quando o observador se aproxima, a obliquidade dos raios incidentes diminue, na parte a mais vizinha do stracto de ar rarefeito, estes raios podem por conseguinte penetrar no stracto, a reflexão total cessa de ter lugar, a inundação dissipa-se naquelle ponto, a illusão desapparece com a proximidade, e o phenomeno recua de continuo diante do observador, que o persegue.

211. O mesmo phenomeno se produz, como dissemos, no mar, a respeito dos navios, que se divisão ás vezes dando duas imagens, huma directa verdadeira, e outra invertida devida á miragem. A miragem he devida no mar, como na terra, á rarefacção do stracto inferior da atmosphera; porém differe em quanto á causa desta rarefacção, que sendo na terra a elevação de temperatura, he no mar a mistura dos vapores aquosos com o ar daquelle stracto, a qual mistura deve, como sabemos, diminuir a densidade delle.

Biot, nas memorias do Instituto de Franca para o anno de 1809, deo a theoria mathematica de phenomenos semelhantes, observados por elle, e Mathieu na borda do mar em Dunkerque.

Dos Aneis córados.

212. Quando a luz incide sôbre a superficie de hum meio diaphano, vimos § 108, que huma parte das molléculas luminosas he reflectida, e que outra parte, penetrando no meio, segue a marcha, que lhe assignão as leis da refração; mas a proporção, em que os diversos raios são reflectidos, e refractados, quando a espessura dos meios he incomparavelmente maior, que a distancia, a que se estendem as acções da superficie reflectidôra, he a mesma, que na luz inteira,

e por isso observamos, que a luz assim reflectida, he a luz branca, como a luz incidente.

Não acontece assim, quando a luz incide na superficie de laminas assás delgadas, para que a distancia, a que se estendem as acções das suas superficies, seja sensivel relativamente á sua espessura. Nestas circumstancias, certas especies de raios são mais abundantemente reflectidas, que outras; e consequentemente estas transmitem-se em maior quantidade, do que aquellas. Similhanes laminas devem pois parecer córadas de huma côr differente do branco, ou as observemos pela reflexão, ou pela refracção.

Newton he ainda o author do exame, e da explicação desta especie de phenomenos; e entre as suas numerosas, e delicadissimas experiencias, entre os seus raciocinios theoreticos sôbre este objecto, escolheremos aquelles, que nos parecem essenciaes, para dar aos nossos leitores huma idéa desta ordem de acções.

Fig. 52.^a

213. Imaginemos hum vidro convexo esférico ABC , pousando sôbre o vidro estérico concavo $A'BC'$, de maior raio: estes dois vidros tocar-se-hão necessariamente em hum ponto unico B , e em tôrno deste ponto haverá huma lamina de ar entreposta, cuja grossura será maior nos pontos mais distantes de B , e isto symetricamente por todos os lados: de tal modo, que se $CBA A'BC'$ fôr a secção desta lamina por hum plano, passando pelo ponto B , e pelos centros das duas superficies esféricas, o que dissermos de dois pontos da lamina, situados nesta secção de huma maneira qualquer a respeito de B , será verdadeiro para os pontos similhantemente situados em outra qualquer secção.

Supponhamos agora o centro do círculo ABC em O , e o centro do círculo maior $A'BC'$ em O' , estes centros estarão necessariamente na mesma recta BO' , perpendicular á tangente TBT' , commum aos dois círculos no ponto B . Tireremos as rectas EP , e $E'P'$, parallelas a TBT' pelos pontos E , e E' , limites da espessura EE' da lamina de ar, em huma distancia qualquer do ponto B , em que as esferas se tocam, e procuremos a expressão de EE' .

Para simplificar as expressões, sejaõ

$$PE = y, P'E' = y', BP = x, e BP' = x';$$

sejaõ tambem $BO = r$, $BO' = r'$, e finalmente $EE' = e$.

Visto serem as rectas EE' , e PP' parallelas, comprehendidas entre as parallelas PE , e $P'E'$, sera

$$EE' = PP' = BP - BP',$$

$$e = x - x' \quad (a)$$

Por serem x , e y as coordenadas rectangulares do circulo ABC , cujo raio he r , e do mesmo modo x' , e y' as do circulo $A'B'C'$, cujo raio he r' , teremos

$$y^2 = 2rx - x^2, \text{ e } y'^2 = 2r'x' - x'^2$$

$$x = r \pm \sqrt{r^2 - y^2}, \text{ e } x' = r' \pm \sqrt{r'^2 - y'^2}$$

$$x = r \pm \left(r^2 \left(1 - \frac{y^2}{r^2} \right) \right)^{\frac{1}{2}}, \text{ e } x' = r' \pm \left(r'^2 \left(1 - \frac{y'^2}{r'^2} \right) \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$x = r \left(1 \pm \left(1 - \frac{y^2}{r^2} \right)^{\frac{1}{2}} \right), \text{ e } x' = r' \left(1 \pm \left(1 - \frac{y'^2}{r'^2} \right)^{\frac{1}{2}} \right)$$

desenvolvendo o radical em serie pela fórmula do binomio

$$x = r \left(1 \pm \left(1 + \frac{y^2}{2r^2} + \frac{y^4}{8r^4}, \&c. \right) \right) = \begin{cases} 2r + \frac{y^2}{2r} + \frac{y^4}{8r^3}, \&c. \\ \text{ou} \\ \frac{y^2}{2r} + \frac{y^4}{8r^3}, \&c. \end{cases}$$

e do mesmo modo

$$x' = r' \left(1 \pm \left(1 + \frac{y'^2}{2r'^2} + \frac{y'^4}{8r'^4}, \&c. \right) \right) = \begin{cases} 2r' + \frac{y'^2}{2r'} + \frac{y'^4}{8r'^3}, \&c. \\ \text{ou} \\ \frac{y'^2}{2r'} + \frac{y'^4}{8r'^3}, \&c. \end{cases}$$

Como pretendemos considerar somente as espessuras proximas ao ponto B , devera ser sempre $x < r$; e por tanto

só nos servirão as segundas raizes das equações de x , e de x' , isto he, tomaremos

$$x = \frac{y^2}{2r} + \frac{y^4}{8r^3}, \text{ \&c.}, \text{ e } x' = \frac{y'^2}{2r'} + \frac{y'^4}{8r'^3}, \text{ \&c.}$$

E se nos limitarmos sômente a considerar as espessuras da lamina em grande proximidade do ponto B , as fracções $\frac{y}{r}$, e $\frac{y'}{r'}$, serão mui pequenas, e poderemos desprezar as suas potencias superiôres á segunda, teremos pois nesta hypothese

$$x = \frac{y^2}{2r}, \text{ e } x' = \frac{y'^2}{2r'};$$

mas no caso, que nos occupa PE he igual a $P'E'$, isto he, $y = y'$: logo teremos

$$x = \frac{y^2}{2r}, \text{ e } x' = \frac{y^2}{2r'},$$

e substituindo estes valôres na expressão (a), teremos

$$e = \frac{y^2}{2r} - \frac{y^2}{2r'} = y^2 \left(\frac{1}{2r} - \frac{1}{2r'} \right) \quad (b);$$

o que nos mostra, que a partir de B , as espessuras das laminas, crescem como os quadrados das distancias ao ponto de contacto.

Se a superficie inferiôr se suppozer plana, para ter a expressão das espessuras, faremos r' infinito na expressão, e virá

$$e = \frac{y^2}{2r} \quad (c).$$

Esta proposição era-nos indispensavel para a intelligencia das experiencias, e raciocinios, que passamos a expôr.

214. Newton, tendo collocado sôbre huma superficie de vidro plana, a objectiva convexo-convexa de hum telescópio, cujo raio de curvatura conhecia, observou, que no ponto de contacto dos dois vidros havia huma mancha central negra, em tórno da qual se originavao diversos aneis circulares concentricos com ella, os quaes, a partir do centro, erao côr- dos da maneira seguinte.

- 1.^o Anel: Azul, branco, amarello, vermelho.
 2.^o - - - Roxo, azul, verde, amarello, vermelho.
 3.^o - - - Purpura, azul, verde, amarello, vermelho.
 4.^o - - - Verde, vermelho.
 5.^o - - - Azul esverdeado, vermelho.
 6.^o - - - Azul esverdeado, vermelho pálido.
 7.^o - - - Azul esverdeado, branco avermelhado.

Além destes aneis, a côr degenerava em hum branco uniforme.

215. Se se levanta pouco, e pouco o vidro superior, as espessuras da lamina de ar, crescem em todos os pontos, e observa-se, que a mancha central negra, he a primeira, que desaparece, e he substituida pela côr interiôr do primeiro anel, formando-se no centro huma mancha azul. Continuando a levantar o vidro, a mancha azul desaparece, e succede-lhe o branco, a este o amarello, e assim por diante, e ao mesmo passo, o anel extremo contrahe-se cada vez mais, vindo assim todas as côres refugiar-se successivamente no centro, aonde formão manchas dilatadas de huma côr uniforme. Por este meio determina-se perfeitamente a successão das côres nos aneis, successão, que indicamos no § antecedente.

216 Estas experiencias mostraõ claramente, que a lamina de ar comprehendida entre os dois vidros, á medida, que varia em espessura, adquire a faculdade de reflectir em proporções diversas, os differentes raios, que compõem a luz incidente; e por isso a partir do centro, onde esta espessura he sensivelmente nulla, e onde a reflexão não tem lugar para especie alguma de raios, divisando por conseguinte o observador naquelle ponto huma mancha escura, vão as espessuras reflectindo os diversos raios em proporções diversas; o que forma para o observador a serie de aneis concentricos, tintos de côres diversas, que o observador vê em tôrno da mancha central.

Quando levantâmos pouco, e pouco o vidro superior, as espessuras augmentaõ gradualmente: e por conseguinte a lamina central vai tendo successivamente as espessuras, que na experiencia primitiva correspondiaõ ás differentes distancias, e torna-se por tanto habil para reflectir a luz da mesma maneira, que a reflectiaõ as partes da lamina correspondente áquellas distancias na posição primitiva, e por isso as diversas côres dos aneis vem humas após outras refugiar-se

no centro, onde se dilatao consideravelmente, por isso que sendo ali tangentes sensivelmente as superficies, a espessura da lamina varia mui lentamente nas visinhanças do ponto central.

217. Mas se as côres, que se manifestaõ nos anneis vistos pela reflexaõ, são devidas a serem, nas diversas espessuras da lamina de ar, certas côres reflectidas mais abundantemente, que outras, deve acontecer, que o observador, que olhar estes aneis pela refracçaõ, deverá tambem observar côres diversas entre si, e das côres vistas pela reflexaõ. No centro, por exemplo, onde pela reflexaõ se divisa a mancha negra, signal de que naquella parte não ha luz reflectida, o observador olhando a mesma parte pela refracçaõ, a deverá observar branca, por ser ali completa a transmissaõ; e em geral cada annel, que visto pela reflexaõ, appresentar huma côr *a*, appresentará, visto pela refracçaõ, a côr complementar de *a*. Repetindo esta experiencia, Newton observou rigorosamente este resultado; notando porém, que os anneis são muito menos brilhantes, e illuminados de huma luz muito mais frõxa, quando os observâmos pela refracçaõ, do que no caso, em que são observados pela reflexaõ.

218. Quando olhando os aneis quasi perpendicularmente á superficie no ponto central, affastâmos gradualmente o olho daquella direcçaõ, para observar os mesmos anneis em obliquidades cada vez maiores, os diametros dos anneis dilataõ-se sensivelmente. O que nos prõva, que as laminas mais espêssas pôdem, sendo vistas sob huma obliquidade maior, reflectir os raios, que perpendicularmente reflectem as laminas menos espêssas.

219. Para que os aneis corados se produzaõ, não he necessario, que exista entre as duas superficies sólidas huma lamina de ar, na densidade ordinaria: e a rerefacçaõ deste, ainda mesmo quando a levâmos taõ longe, quanto o permitem os nossos meios, altera quasi insensivelmente as dimensões de cada hum dos aneis. Assim, se encerrado o aparelho sob o recipiente da pneumática, fazemos o vácuo quanto possível exacto no recipiente, e conseguintemente entre os vidros; ou se aquecendo estes até ao rubro, reduzimos a densidade da lamina de ar a hum valor pequenissimo, apenas notaremos huma variaçaõ quasi insensivel no diametro dos aneis.

220. Qualquer outro meio transparente, encerrado entre os vidros, ou reduzido por outro qualquer meio a huma tenuidade sufficiente, appresenta o mesmo phenomeno, e a ordem das côres he sempre a mesma; sómente quando a lamina cresce mais irregularmente em espessura, do que a que tomamos por exemplo, a disposição das côres não tem tanta regularidade, e o phenomeno he menos proprio para hume observação de estudo, e de medida.

Se sôbre huma superficie de agoa pura se deixa cahir huma gôta de azeite, este fórma sôbre a agoa hum stracto mui tenue, no qual se manifesta com grande viveza os aneis córados: nas bôlhas de sabaõ formadas pelo ar encerrado em huma pelicula de dissolução saponacea, o phenomeno manifesta-se com grande viveza: finalmente as pennas de algumas aves, como v. g., as do pavaõ, e as do pescoço de muitos pombos, appresentão com mais, ou menos viveza, com mais, ou menos regularidade, o phenomeno dos aneis córados.

221. Tanto que reconheceo a existencia dos aneis córados em toda a lamina assás tenue para produzi-los, e que observou, que a natureza particular da materia da lamina não tinha influencia sôbre a ordem, e disposição das côres nos aneis; applicou-se Newton a determinar o diametro dos mesmos aneis, e a espessura da lamina, que sendo vista pela reflexão, produzia cada huma das gradações de côr, que os compunha.

Para este fim pousou Newton a objectiva igualmente convexa de hum telescópio sôbre o vidro plano, como na experiencia de §. 214, e situou o olho o mais proximo possível da perpendicular á lamina no ponto central, e nestas circumstancias medio sôbre a face superior da objectiva: 1.^o o diametro da parte a mais brilhante de cada hum dos aneis, que era: no 1.^o o limite do branco, e amarello: no 2.^o o limite do amarello, e do alaranjado: no 3.^o o amarello: no 4.^o o limite do verde, e amarello; e nos demais entre o azul, e o vermelho: 2.^o os diametros da parte a mais sombria dos mesmos aneis, que era: no 1.^o o rôxo escuro: no 2.^o o azul escuro; nos outros o começo do azul esverdeado.

222. Para que esta medição seja isenta de erros, he ne-

Fig. 53.^a

cessario reflectir: 1.^o que o olho não pôde situar-se rigorosamente na perpendicular ao centro dos aneis; pois que então interceptar-se-hia a luz incidente; mas em hum ponto O proximo a esta perpendicular. He claro, que nesta posição, se C representar o centro apparente dos aneis, PC a perpendicular á lamina neste ponto, e O o olho do observador; se finalmente DD' fôr o diametro situado no plano de incidencia, e de reflexão $PDCD'O$, o semidiametro CD será visto pelo olho situado em O sob huma obliquidade maior, que o semidiametro CD' ; e como os aneis se dilatão com a obliquidade maior, com que são vistos, o semidiametro DC será mais dilatado, que CD' , e o diametro DD' augmentado. Não acontecerá porém assim, se em vez de medirmos o diametro DD' , situado neste plano, medirmos o diametro dd' perpendicular a elle. Com effeito, foi este o diametro, que Newton considerou nas suas experiencias. 2.^o os diametros são medidos na superficie superior da objectiva igualmente convexa, empregada na experiencia; he pois preciso atender á refração dos raios através desta lente, o que se fará pelas fórmulas, que para isso démos, tratando daquella especie de vidros, e Newton empregou semelhantes correções na conclusão dos diametros dos aneis.

222. Então formando os quadrados dos valôres dos diametros dos aneis na parte a mais brilhante dos seus perymetros, achou que estes quadrados estavaõ entre si, como os numeros impares - - - - -

$$1 : 3 : 5 : 7 : 9 : \&c.$$

Formando do mesmo modo os quadrados dos diametros dos aneis na parte a mais sombria dos perymetros, achou que estavaõ entre si, designando por O o ponto central da mancha escura, como os numeros pares - - - - -

$$0 : 2 : 4 : 6 : 8 : 10 : \&c.$$

Mas se a serie dos numeros impares representa a lei, segundo a qual crescem os quadrados dos diametros dos aneis, na parte a mais luminosa dos seus perymetros; e a serie dos numeros pares a lei, segundo a qual crescem os quadrados dos diametros dos aneis escuros; estas series, segundo demonstrámos § 213, representaraõ tambem a lei, se-

gundo a qual variaõ as espessuras correspondentes a estas partes dos aneis successivos. E se conhecermos a grandeza absoluta de hum qualquer dos diametros, e o raio de curvatura da objectiva, calcularemos a espessura correspondente, e depois pela lei acharemos todos os outros diametros, e as espessuras, que lhes correspondem.

224. Em huma das suas experiências Newton se servio de huma objectiva igualmente convexa, cuja distancia focal principal era de 83 $\frac{1}{4}$ pollegadas inglezas, e a razaõ de refracção para o vidro, que a formava $\frac{17}{11}$: logo (§ 101) o raio de curvatura da lente era igual a 91 pollegadas inglezas. Pousando entãõ esta objectiva sôbre o vidro plano, medindo o diametro apparente do 5.^o anel escuro, e passando desta medida á do diametro verdadeiro do dito anel, achou este diametro igual a $\frac{16}{79}$ de pollegada ingleza, logo o raio do anel era de $\frac{8}{79}$ de pollegada.

Para concluirmos a espessura e da lamina de ar correspondente áquelle anel, faremos na formula (c) do § 213, $y = \frac{8}{79}$, e $r = 91$, que nos dará $e = \frac{64}{1135862} = \frac{1}{17747,84}$ de pollegada ingleza.

Pelo valôr medio dos diametros, deduzidos desta, e de outras observações, Newton concluiu os resultados seguintes.

Espessuras da lamina de ar na parte a mais brilhante dos aneis, vistos perpendicularmente.

1. ^o anel na parte a mais brilhante	$\frac{1}{178000}$
2. ^o " " " " " " " " " " " "	$\frac{3}{178000}$
3. ^o " " " " " " " " " " " "	$\frac{5}{178000}$
4. ^o " " " " " " " " " " " "	$\frac{7}{178000}$
8cc. " " " " " " " " " " " "	8cc.

Espessuras da lamina de ar na parte a mais escura dos aneis, vistos perpendicularmente. - - - - -

1.º anel na parte a mais escura - - - - -	2
	178000
2.º - - - - -	4
	178000
3.º - - - - -	6
	178000
4.º - - - - -	8
	178000
&c. - - - - -	&c.

225. A' medida, que os aneis se olhão mais obliquamente, as suas dimensões varião, como fica dito § 218, e os seus diametros crescem. Depois de ter, como acabamos de vêr, determinado os diametros dos aneis, e as espessuras da lamina de ar correspondentes, no caso da incidencia perpendicular, passou Newton a effectuar iguaes determinações sob incidencias cada vez mais obliquas, e obteve os seguintes resultados.

1.º A successão das côres dos aneis não varia com a obliquidade da incidencia.

2.º A relação entre os diametros dos aneis successivos, e consequentemente entre as espessuras da lamina de ar nos pontos, que lhes correspondem, he igualmente á mesma para todas as incidencias.

3.º A grandeza absoluta dos diametros, e consequentemente a das espessuras varião com a obliquidade de incidencia da maneira, que se vê na taboa seguinte, na qual 10 na 2.ª columna representa o diametro de hum anel qualquer, observado perpendicularmente, e 10 na 3.ª columna a espessura da lamina de ar correspondente ao anel, que se considera, visto tambem perpendicularmente.

Obliquidade do raio emergente	Diametro do anel	Espessura da lamina de ar
0° - - -	10 - - -	10
10 - - -	10 $\frac{1}{13}$ - - -	10 $\frac{2}{13}$
20 - - -	10 $\frac{1}{3}$ - - -	10 $\frac{2}{3}$
30 - - -	10 $\frac{3}{4}$ - - -	11 $\frac{1}{2}$
40 - - -	12 $\frac{1}{5}$ - - -	13
50 - - -	12 $\frac{1}{2}$ - - -	15 $\frac{1}{2}$
60 - - -	14 - - -	20
70 - - -	16 $\frac{4}{5}$ - - -	28 $\frac{1}{4}$
80 - - -	22 $\frac{6}{7}$ - - -	52 $\frac{1}{4}$
90 - - -	35 - - -	122 $\frac{1}{2}$

226. Procuremos ligar, como fez Newton, os resultados do ultimo quadro por huma fórmula, que pôssa reproduzi-los, se não exactamente, ao menos com hum certo gráo de aproximação, sufficiente em taes experiencias.

Para este fim observaremos, que a espessura da lamina de ar, que he 10, quando a emergencia he 0°, se torna 20 quando a emergencia he 60°, quer dizer, dóbra de valôr. Mas a secante de hum arco, ou de hum angulo de 0° he igual ao raio, e a secante de hum angulo de 60° he igual ao diametro: logo a espessura da lamina, na passagem da incidencia 0° á incidencia 60°, varia, como a secante da incidencia, e para satisfazer a estas duas observações bastaria fazer, sendo e a espessura para a incidencia 0°, e e' a espessura para a incidencia r

$$e' = e \operatorname{Sec} r,$$

ou, por ser em geral, $\operatorname{Sec} A = \frac{1}{\operatorname{Cos} A}$;

$$e' = \frac{e}{\operatorname{Cos} r} \quad (1.ª).$$

Se porém calcularmos por esta fórmula a espessura e', para a emergencia de 90°, acharemos $\operatorname{Cos} r = 0$, e por tanto $e' = \infty$, resultado totalmente diverso da observação.

He pois indispensavel, para representar as observações, modificar ainda a fórmula (1.^a).

Em vez della tomemos a seguinte

$$e' = \frac{e}{\cos u} \quad (2.^a).$$

Para que esta fórmula (2.^a) pôssa satisfazer ás observações, he indispensavel, que o angulo u seja tal, que dê na hypothese de $r = 0$ $e' = e$, para o que he preciso, que sendo $r = 0$, seja tambem $u = 0$.

Esta condição ficará satisfeita se fizermos

$$\text{Sen } u = k \text{ Sen } r \quad (3.^a)$$

sendo k huma constante qualquer.

Mas quando $r = 90^\circ$ a observação dá $e' = 122,5 = 12,25 e$: logo substituindo na equação (2.^a) teremos

$$12,25. e = \frac{e}{\cos u},$$

da qual se tira

$$\cos u = \frac{1}{12,25} \quad u = 85^\circ 19' 3''$$

Por outra parte, quando $r = 90^\circ$ o seu Seno he igual á unidade: logo a fórmula (3) muda-se em

$$\text{Sen } u = k, \text{ que dá } k = 0,99662.$$

Determinado assim o valôr de k , se o substituirmos com o de hum r qualquer, na expressão (3.^a), e o valôr de u della resultante na expressão (2.^a), acharemos sempre e' assás proximo á observação, para adoptarmos a lei exposta, como sendo a lei da variação das espessuras das laminas de ar para hum anel da mesma ordem, observado sob incidencias diversas.

227. Depois de haver levado a este ponto os seus trabalhos sobre os aneis córados, formados em huma lamina de ar, comprehendida entre duas superficies de vidro; Newton estudou o mesmo phenomeno sobre huma lamina de agoa nas mesmas circunstancias, lamina que conseguiu, molhando as bôrdas dos vidros sobrepostos, os quaes em virtude da acção, que se chama capilar, e de cujos effeitos adiante tratare-

mos, obrigáráo a agoa a substituir o ar entre os dois vidros. Repetindo então sôbre a lamina aquosa as mesmas observações, que havia feito sôbre a lamina aeria, achou os seguintes resultados.

1.º A ordem das côres he a mesma na lamina de agoa; que na lamina de ar.

2.º Os diametros dos aneis na parte a mais brilhante delles, he tal ainda, que os seus quadrados, e consequentemente as espessuras correspondentes da lamina aquosa, se-guiaõ a razão dos numeros impares - - - - -

1 . 3 . 5 . 7 . 9 . &c.

Similhantermente, os quadrados dos diametros, e por tantos as espessuras da lamina aquosa, na parte a mais sombria dos aneis, se-guem a razão dos numeros pares - - - - -

0 . 2 . 4 . 6 . 8 . &c.

3.º A unica differença entre os aneis nas duas laminas consiste em serem menores na lamina de agoa, que na de ar, as grandezas absolutas dos diametros dos aneis da mesma ordem, e isto na razão de 7 : 8, e por conseguinte as espessuras correspondentes da lamina eraõ menores na agoa, que no ar, na razão de 49 : 64, proxivamente na razão de 3 : 4, que he a razão entre o Seno de incidencia, e o de refração, quando a luz penetra do ar na agoa. Resultado este, que Newton conjectura ser applicavel a quaesquer substancias de que a lamina fôsse composta.

228. Finalmente tendo Newton reflectido, que em todas as experiencias antecedentes, a lamina delgada era formada por hum meio menos refringente, que os meios, que a limitavaõ; quiz observar os aneis em circumstancias oppostas; isto he, quando a lamina delgada he limitada por meios de hum poder refringente inferior ao seu. Eis-aqui em resumo a maneira, pela qual este grande genio tentou a experiencia, e quaes fôraõ os seus resultados.

Tendo tomado agoa da chuva, ou distilada, dissolveo nella huma porção de sabaõ, até lhe dar huma certa viscosidade. Então soprando por hum canudo delgado, formou huma bôlha de ar, coberta por huma lamina da dissolução, e destacando-a do tubo, deixou-a flutuar livremente sôbre a mesma dissolução, tendo o cuidado de encher desta perfeita-

mente o vaso, a fim de que a bôlha não fôsse quebrar-se nas parêdes delle, para as quaes he pouco, e pouco attrahida (*); e para preservar a bôlha da acção do ar, cobrio-a com huma campanulla de vidro, situando o todo defronte de huma janella aberta, e interceptando com hum panno prêto a luz, transmittida pelos objectos situados além da bôlha para a parte fronteira ao olho.

229. Nesta disposição, a lamina, que reveste a bôlha de ar, affecta a fórma hemisferica, e he claro, que a partir do seu cume para a base, a lamina he cada vez mais espessa; por quanto o liquido, que a fórma, côrre constantemente para a parte inferior. Como esta corrente he continua em quanto a bôlha permanece, as espessuras em cada zona horizontal da lamina diminuem progressivamente, até ao momento, em que sendo a espessura da lamina insufficiente para subsistirem unidas ás molléculas, que a compõe, a bôlha estala, e desaparecê.

Esta lamina aquosa delgada, que envolve o ar interior da bôlha, acha-se entreposta entre aquelle ar, e o ar exterior, e verifica por conseguinte a condição de huma lamina refringente, entre meios menos refringentes, que ella.

230. Disposta assim a experiencia, tão fragil na apparencia, quanto delicada, e fecunda para o observador da natureza; Newton fixou sobre ella a sua perspicaz vista, e lêo naquella superficie, até então dedicada ao brinco pueril da primeira infancia, huma parte das leis as mais singulares, a que obedece o agente subtil, que põe o homem em mais prompta, e completa communicação com os maiores prodigios do universo.

Observando pois a serie de côres, que ou simultanea, ou successivamente se mostram na superficie da bôlha, olhando estas côres sob obliquidades diversas, e seguindo assim os phenomenos, até ao momento, em que a mancha nêgra, que começa a formar-se no cume da bôlha, e pouco a pouco se estende ao longo della, tendo chegado a occupar hum certo espaço, a bôlha rompe, e o phenomeno desaparece, Newton concluiu: que a ordem de formação dos aneis cô-

(*) Efeito este da acção capilar; como se verá na ultima Secção da 1.^a Parte deste Tractado.

rados, as leis, que ligão a grandeza dos diametros successivos, e consequentemente as espessuras da lamina para a reflexão das diferentes côres, he ainda a mesma nesta lamina, que na de ar encerrada entre os dois vidros. Porém a variaçãõ das espessuras, que dão a mesma côr, segundo as diversas obliquidades de incidencia, he neste caso muito menor, que no da lamina de ar; mas a mesma lei enunciada no § 226, representa as variações em hum, e outro caso; com a differença do valôr da constante k , diversa em huma, e outra circumstancia.

Aneis produzidos pelas côres simples.

231. O phenomeno dos aneis córados, qual até agora o temos estudado, he evidentemente hum phenomeno composto; por quanto da coloraçãõ diversa das diversas partes da lamina de ar neste phenomeno se vê, que nas suas differentes espessuras, certas côres são reflectidas em maior abundancia, e consequentemente transmittidas em menor proporçãõ, que outras. Se todas as series de aneis fôssem illuminadas de côres simples, poderiamos do phenomeno, assim observado, concluir as espessuras das laminas proprias para reflectirem cada huma das côres; como porém os aneis apresentam côres compostas, he necessaria consequencia, que huma mesma espessura reflecte proporções diversas das differentes côres; sendo por conseguinte necessario para estudar o phenomeno em toda a sua simplicidade, determinar qual he a lei de formaçãõ dos aneis simples; quer dizer, dos aneis formados, pelos raios homogeneos de huma côr primitiva.

232. Taõ obvia reflexãõ, não podia escapar a Newton, assim tambem, depois de ter reconhecido, e estudado o phenomeno composto, de que acabamos de tratar, passou elle a fazer a analyse deste phenomeno, e a estudar os aneis produzidos pelas côres solitarias.

233. Para este fim, tendo decomposto por meio do prisma a luz introduzida na camara escura, recebeo successivamente cada huma das côres simples sôbre hum papel branco, absorvendo todas as outras côres do espectro com hum panno preto. O papel reflectia em todos os sentidos a luz homogenea, que o allumiava, e o apparelho da objectiva, e vi-

dro plano apresentava ao observador os aneis formados pela luz, que o papel lhe enviava. Fazendo succederem-se, por este meio, as diversas côres, Newton via os aneis no seu apparelho variarem successivamente de côr, e de dimensões, e repetindo sôbre cada serie de aneis simplicies as observações, e medições, que havia effectuado sôbre os aneis compostos, foi conduzido aos seguintes resultados.

1.^o Cada huma das côres simplicies, apresenta no apparelho, visto pela reflexão, huma serie de aneis alternativamente escuros, e illuminados da côr correspondente.

2.^o Cada hum dos aneis luminosos, tem huma certa largura, e nesta, a côr he de huma intensidade decrescente, do meio onde he mais viva, até ás extremidades.

3.^o Os aneis escuros tem igualmente huma certa largura, e a escuridade nelles he tanto maior, quanto mais proximos os consideramos do meio desta largura.

4.^o Se se observa o apparelho por transmissão, acha-se que os espaços occupados pelos aneis reflexos luminosos, são occupados pelos aneis escuros transmittidos, e reciprocamente os espaços occupados pelos aneis escuros reflexos, são occupados pelos aneis luminosos transmittidos; finalmente ao maximo brilho dos aneis luminosos reflexos, corresponde a maxima escuridade nos aneis escuros transmittidos, e reciprocamente á maxima escuridade nos aneis reflexos, corresponde a maxima claridade nos transmittidos.

5.^o Qualquer que seja a luz homogenea, que alumia o apparelho, os quadrados dos diametros dos aneis reflexos na maxima claridade, seguem a razão dos numeros impares

1 . 3 . 5 . 7 . 9 . &c. ,

e os quadrados dos diametros dos aneis reflexos na maxima escuridade a razão dos numeros pares - - - - -

2 . 4 . 6 . 8 . 10 . &c.

Reciprocamente nos aneis transmittidos, os quadrados dos diametros na parte a mais brilhante, seguem a progressão dos numeros pares - - - - -

2 . 4 . 6 . 8 . 10 . &c. ,

e os quadrados dos diametros na parte a mais escura dos mesmos aneis, a progressão dos numeros impares - - - - -

1 . 3 . 5 . 7 . 9 . &c.

Donde resulta, que taes serão as relações das espessuras da lamina de ar nos pontos correspondentes, a estes diferentes aneis.

6.^o As dimensões absolutas dos diametros dos aneis das diferentes côres, são diversas; e os aneis, formados pela luz menos refrangivel, são os de maiores dimensões; e pelo contrario, os de menores dimensões, os formados pela luz a mais refrangivel; diminuindo os diametros dos aneis das côres intermedias com o incremento da refrangibilidade dos raios, que os produzem.

7.^o A largura do perymetro luminoso dos aneis, era tambem maior nos raios menos refrangiveis, e menor nos de maior refrangibilidade.

8.^o Os diametros dos aneis formados pela luz simples, que fórma o limite do amarello, e alaranjado, serão sensivelmente os mesmos, que os diametros dos aneis compósitos, no seu maximo de claridade.

9.^o Finalmente cada ordem de aneis simples, observada em obliquidades diversas, apresenta nas grandezas dos diametros, a variação, cuja lei achámos no § 226, para a variação nos diametros dos aneis compósitos.

234. Isto entendido, para recompôr com os phenomenos observados nos aneis solitarios, o phenomeno inicial dos aneis compósitos, produzidos pela luz inteira, cujas côres são evidentemente o resultado da formação simultanea de todos os aneis simples, sobrepósitos nas diversas partes em proporções diversas; passou Newton a medir os diametros interior, e exterior dos aneis simples, formados pelas côres simples nos limites, que as separão, e achou, que a partir dos aneis formados pelo rôxo extremo, os diametros, tanto exteriores, como interiores dos aneis da mesma ordem, formados pelas diferentes côres, estão entre si como as raizes cubicas dos numeros

$$\frac{1}{2} \cdot \frac{9}{16} \cdot \frac{3}{5} \cdot \frac{2}{3} \cdot \frac{3}{4} \cdot \frac{5}{6} \cdot \frac{8}{9} \cdot 1.$$

Assim, se representarmos por D o diametro exterior de hum anel formado pelo vermelho extremo, e por d o diametro interior do mesmo anel, teremos os valores consignados no mappa seguinte.

Mappa dos diâmetros exterior, e interior dos aneis da mesma ordem, formados pelas diferentes côres.

<i>Côres que fôrmaõ os aneis</i>	<i>Diâmetro exterior</i>	<i>Diâmetro interior</i>
Vermelho extremo	$D.$	$d.$
Limite do vermelho, e alaranjado	$D. \sqrt[3]{\frac{8}{9}} = D. 0,96150$	$d. \sqrt[3]{\frac{8}{9}} = d. 0,96150$
Limite do amarello, e alaranjado	$D. \sqrt[3]{\frac{5}{6}} = D. 0,94104$	$d. \sqrt[3]{\frac{5}{6}} = d. 0,94104$
Limite do verde, e amarello	$D. \sqrt[3]{\frac{3}{4}} = D. 0,90856$	$d. \sqrt[3]{\frac{3}{4}} = d. 0,90856$
Limite do azul, e do verde	$D. \sqrt[3]{\frac{2}{3}} = D. 0,87358$	$d. \sqrt[3]{\frac{2}{3}} = d. 0,87358$
Limite do indigo, e do azul	$D. \sqrt[3]{\frac{1}{3}} = D. 0,84343$	$d. \sqrt[3]{\frac{1}{3}} = d. 0,84343$
Limite do rôxo, e indigo	$D. \sqrt[3]{\frac{9}{16}} = D. 0,82548$	$d. \sqrt[3]{\frac{9}{16}} = d. 0,82548$
Rôxo extremo	$D. \sqrt[3]{\frac{1}{2}} = D. 0,79370$	$d. \sqrt[3]{\frac{1}{2}} = d. 0,79370$

235. Deste conhecimento podemos passar facilmente ao das espessuras das laminas de ar, em que cada huma das côres fôrma os aneis da mesma ordem; por quanto sabemos, que as espessuras crescem como os quadrados dos diâmetros dos aneis; e por outra parte conhecemos qual he a espessura da lamina de ar correspondente á parte a mais brilhante dos aneis compósitos, parte que equivale ao maximo da luz, formado pelos raios, limites do amarello, e alaranjado. Com estes dados, e os mais, que ficão expostos, se podem por tanto calcular aquellas espessuras.

Newton effectuou este trabalho, como se vê do mappa (C), no qual e_1 , e E_1 , e_2 , e E_2 , &c. designão as espessuras da lamina, no começo, e fim de cada anel luminoso, formado pelas diferentes côres.

236. Vê-se deste mappa, e pôde vêr-se de huma construc-

ção grafica, por meio da qual Newton representou os resultados nelle inseridos, que os aneis simplicies no phenomeno composto, anticipaõ huns sôbre os outros, e se sôbrepõe em parte, e de quanto he esta superposiçaõ.

237. Se podessemos conhecer a lei, segundo a qual decresce a intensidade de luz no perymetro de cada anel simples, poderiamos calcular as proporções de cada côr simples, que entraõ na composiçaõ de cada huma das gradações de côr, que appresentaõ os aneis compóstos; e com estes dados, e a construcção de Newton, acima exposta, poderiamos determinar a côr reflectida por huma lamina de huma dada espessura, quando sôbre ella incide a luz inteira, debaixo de huma incidencia determinada.

238. Newton effectuou este calculo, sem que de seus escriptos conste, a lei de que este célebre physico se servio para calcular o enfraquecimento da intensidade da luz no perymetro dos differentes aneis. O mappa (D) contém os resultados deste calculo.

239. Esta taboa pôde ter diversas applicações vantajosas, das quaes indicaremos sómente, a sollução do seguinte problêma.

Problêma.

Conhecida a razão do Seno de incidencia para o seno de refração, quando a luz passa do ar para huma substancia qualquer S , achar a espessura de huma dada lamina da substancia S .

Solluçaõ.

Observe-se a côr reflectida pela lamina na incidencia perpendicular, procure se na taboa a espessura de ar, que daria huma semelhante côr, e multiplique-se pela razão do Seno de incidencia, para o Seno de refração, quando a luz penetra do ar na substancia S , este producto será a espessura da lamina dada.

Esta soluçaõ funda-se, no que fica indicado § 227, e que a experiencia próva ser verdade em quaesquer outros casos.

Exemplo.

Seja a lamina de agoa, e a côr reflectida o verde da 3.^a ordem.

A espessura da lamina de ar, que reflecte este verde he $25\frac{1}{2}$, a razão entre os Senos de incidencia, e de refração, quando a luz passa do ar para a agoa he, § 227, igual a $\frac{3}{4}$; logo a espessura da lamina de agoa será $25\frac{1}{2} \times \frac{3}{4} = 25,2 \times 0,75 = 18,9$. (*)

Theoria physica dos phenomenos antecedentes: accessos de facili reflexão, e de facili transmissão.

240. Logo que, por meio de experiencias, dispostas com intelligencia, e arte, se consegue patentear a existencia de hum phenomeno, e desembaraça-lo de todos os phenomenos concomitantes, que o complicaõ: logo que, por meio de medidas precisas, e rigorosas, se consegue descubrir a lei, ou as leis, de que as differentes modificações delle dependem; resta, como dissemos no discurso preliminar da presente obra, achar huma hypothese physica, que desenvolvida por hum raciocinio exacto, ou pela analyse, que não he mais, que este mesmo raciocinio auxiliado pelo uso de signaes adequados á sua marcha, e progresso, pôssa reproduzir, e assignalar a existencia do phenomeno com todas as suas circumstancias caracteristicas. Conseguido este fim, o Physico tem direito a dizer-se possuidor da theoria do phenomeno, theoria talvez incompleta; mas verdadeira, em relação ás observações, de que foi deduzida.

241. Newton, depois de haver conseguido, como acabamos de vêr, a manifestação, e a investigação das leis do phenomeno dos aneis côrados, ultimou este trabalho, formando para explica-lo, a hypothese, que passaremos a expôr; com a maior clareza, concisaõ, e simplicidade, que nos

(*) Calculamos expressamente este resultado, a fim de o compararmos ao inserido na columna agoa, da taboa, e mostrá-lo a identidade.

fôr possível; remettendo os leitores, que a quizerem seguir em seus diversos desenvolvimentos, à obra do mesmo Newton *Optice Lucis*, liber II, e aos tractados geraes de physica, ou especiaes de optica; escriptos posteriormente áquellas obras.

242. Quando huma mollécula qualquer de luz parte de hum ponto luminoso, achámos desde o começo desta Secção, que se movia em huma recta com huma velocidade uniforme, e cujo valor, posto que mui grande, pudemos avaliar pela observação dos eclipses dos satellites de Jupiter, e pelo phenomeno da aberração das estrellas fixas (§§ 11, e 14).

Além deste impulso, ou força de projecção, que toda a mollécula de luz possui ao partir do ponto luminoso; possui a mollécula huma modificação transitoria, que a torna alternativamente própria para experimentar a reflexão sôbre huma superficie refringente, e para transmittir-se através della.

Em todo o decurso da sua marcha a mollécula oscilla, por assim dizermos, continuamente entre hum, e outro estado, passando alternativamente de hum ao outro. As distancias, que separão dois estados semelhantes, são iguaes em todo o decurso do seu movimento através do vácuo, ou de hum meio uniforme.

Esta disposição periodica; e alternativa das molléculas de luz á reflexão, e á transmissão, foi denominada por Newton hum *accessio*. Chamando aquelle Phylosopho *accessio de facil reflexão*, áquella parte da marcha da mollécula, na qual ella he mais apta para ser reflectida, que transmittida; e pelo contrario *accessio de facil transmissão*, áquella parte da marcha da mollécula, na qual esta se acha mais apta para ser transmittida, que reflectida.

243. Destes princípios, ou antes deffinições, resulta: que se a linha recta *SA* representar o caminho, descripto por huma mollécula de luz, que partindo do ponto *S* se acha no começo de hum *accessio de facil transmissão*, por exemplo; se tomarmos ao longo de *SA* as partes *S1*, 1.2, 2.3, &c., iguaes entre si, e cada huma ao comprimento de hum *accessio*, a mollécula nos intervalos *S1*, 2.3, &c. marcados com linhas cheias ao longo de *SA*, achar-se-ha em *accessos de facil transmissão*; pelo contrario achar-se-ha em *accessos de facil reflexão* nos intervalos 1.2, 3.4, &c. marcados com linhas pontuadas na figura.

Fig. 54.^a

244. Não devemos considerar as disposições transmissivel, e reflectivel, que caracterisaão os accessos, ou estados alternativos da mollécula luminosa, como absolutas; quer dizer, que seja qualquer que fôr o acesso, com o qual huma mollécula de luz chegue a huma superficie refringente, não deveremos concluir, que será forçosamente transmittida, ou reflectida; mas unicamente, que será mais, ou menos facil a sua transmissaão, ou reflexaão: e por isso Newton caracterisou os accessos pelas denominações de facil reflexaão, e de facil transmissaão, e não simplesmente pelas de reflexaão, e de transmissaão, a fim de excluir, pela propria denominaçaão, toda a idéa de huma disposiçaão absoluta nas molléculas.

245. Continuando a completar a idéa desta modificaçaão particular das molléculas luminosas, devemos conceber: que a mollécula de luz não passa subitamente de hum a outro acesso; mas oscillando, por assim dizermos, entre as disposições, que os caracterisaão, imita todas as outras oscillações; isto he, a datar da origem de qualquer acesso, aonde a disposiçaão, que o caracteriza, he sensivelmente nulla, esta disposiçaão vai crescendo em intensidade até ao meio do acesso aonde tem o seu maximo, e dali começa a decrescer da mesma maneira até ao fim d'elle, onde de novo se anniquila. Além deste ponto, a mollécula entra no acesso seguinte opposto ao primeiro, e a propriedade caracteristica deste novo acesso cresce em intensidade, como a do primeiro, até ao meio d'elle, e decresce similhantemente depois até ao fim do dito acesso, onde se anniquila, e assim por diante, em todo o decurso da marcha da mollécula ao longo do mesmo uniforme.

Fig. 55.^a

Se pois ao longo da recta AB tomarmos as partes Aa , ab , bc , cd , &c. iguaes entre si, e cada huma ao comprimento dos accessos, e traçarmos a curva $Aa'ab'bc'cd'd$, &c.; esta curva representará a marcha das disposições successivas da mollécula, curva, cuja lei será qualquer, com tanto, que: 1.^o as ordenadas sejaão zero, quando as abcizas, contadas de A ao longo de A &c., forem iguaes a m accessos, sendo m hum numero inteiro: 2.^o, que ás abcizas desde zero até hum acesso correspondaão ordenadas positivas, e bem assim ás abcizas desde dois a tres, desde 4 a 5, &c. accessos, &c.; pelo contrario a abcizas desde 1 a 2 accessos, de 3 a 4, de 5 a 6, &c. correspondaão ordenadas nega-

tivas: 3.^o, que as ordenadas, ou positivas, ou negativas cresçam desde o ponto, em que são nullas, até ao meio do comprimento do accesso, e decresçam segundo a mesma lei até ao fim delle.

246. Se perpendicularmente á linha *Aabcd*, &c. imaginarmos agora huma superficie refringente, esta superficie terá mais facilidade em reflectir a mollécula, quando esta se lhe appresentar em hum dos accessos *ab*, *cd*, &c. do que quando se lhe appresentar nos accessos oppostos *Aa*, *bc* &c.; mas qualquer que seja a natureza do accesso, com que a mollécula chega á superficie, não podemos julgar se será transmittida, ou reflectida, sem conhecermos o poder reflectidor da superficie; por quanto já fica estabelecido, que as disposições, que caracterisaõ os accessos, não são absolutas. Se porém supozermos a superficie dotada de hum poder reflectidor sufficiente para destruir a velocidade da mollécula incidente, no sentido normal á mesma superficie, quando a mollécula se achar em hum periodo qualquer de hum accesso de facil reflexão, então a mollécula será reflectida sempre, que a superficie cortar a sua marcha em hum qualquer dos intervalos *ab*, *cd*, &c. de facil reflexão.

247. Todo o raio de luz he composto de huma infinidade de molléculas, que ao partir do ponto luminoso devem conceber-se em todos os periodos possiveis, de toda a especie de accessos. Em qualquer distancia pois de hum ponto luminoso, em que huma superficie refringente córte o raio de luz, esta superficie encontrará hum certo numero de molléculas em accessos de facil reflexão, e outro numero dellas em accessos de facil transmissão, e por tanto a superficie, qualquer que seja a sua distancia ao ponto luminoso, transmittirá huma parte, e reflectirá outra parte da luz incidente. A nossa hypothese dos accessos não contradiz por tanto; antes confirma, e explica a reflexão parcial, que tem lugar nas superficies refringentes.

248. Se se conceber maior successivamente o poder reflectidor da superficie; ou o que he o mesmo em quanto ao resultado, se a incidencia do raio de luz se tornar cada vez mais obliqua á superficie refringente, as molléculas, que estiverem nas extremidades dos accessos de facil transmissão começaraõ a ser reflectidas, por ser naquelles periodos menos energica a disposiçaõ para a transmissão. Augmentando

mais, e mais a obliquidade de incidencia, chegará hum momento, no qual sómente escaparaõ á reflexaõ aquellas molléculas, que se acharem no maximo de hum accesso de facil transmissaõ, e passando ainda além deste termo a reflexaõ poder-se-ha tornar total. Todos estes resultados da theoria são conformes, ao que observamos desde o principio do estudo da optica.

249. Quando huma mollécula de luz, escapando á reflexaõ na primeira superficie de hum meio refringente, penetra no meio, esta mollécula he no acto da transmissaõ trazida, pela açãõ da superficie, a hum accesso de facil transmissaõ. Como porém são diversas, como vimos, as disposições, com que as differentes molléculas, que constituem hum raio de luz, chegaõ á primeira superficie do meio refringente; será tambem diversa a maneira, pela qual tomaõ a nova disposiçaõ, que a açãõ da superficie lhes communica; e em quanto humas se constituem em toda a energia transmissivel, quer dizer, ficaõ no meio de hum accesso de facil transmissaõ, outras tomaraõ mais imperfeitamente aquella disposiçaõ, e ficaraõ por conseguinte nos diversos periodos daquelle accesso.

Daqui resulta, que todas as vezes, que hum raio de luz penetra huma superficie refringente, ha na origem do raio transmittido huma infinidade de molléculas em todos os periodos do accesso de facil transmissaõ. Passemos a examinar as consequencias desta hypothese, e a compara-las com a experiencia.

Fig. 56.^a

250. Seja AB a primeira superficie de hum meio refringente, em que incide hum raio de luz homogénea, ou simples, sejaõ m , m' , m'' tres molléculas tomadas no raio transmittido nos estados extremos, e medio; quer dizer, achem-se estas molléculas pela açãõ da superficie, a primeira m no começo de hum accesso de facil transmissaõ, a segunda m' , no meio de hum similhante accesso, e a terceira m'' no ultimo periodo d'elle. Tomemos normalmente á superficie AB as direcções mp , $m'p'$, $m''p''$ do movimento das tres molléculas, e tracemos sôbre estas direcções a curva dos accesos, que a cada mollécula correspondem segundo o seu estado inicial, chamemos finalmente α o comprimento de cada accesso.

Se em huma distancia AA' , menor que α , situarmos pa-

rallelamente a AB huma segunda superficie refringente $A'B'$, esta superficie cortará a marcha das tres molléculas em estes diversos; com effeito m será cortada n'hum accesso de facil transmissaõ, m' , n'hum estado de facil transmissaõ, ou de facil reflexaõ, conforme fôr $AA' < \frac{1}{2}\alpha$, ou $AA' > \frac{1}{2}\alpha$, e m'' , n'hum accesso de facil reflexaõ: haverá pois nesta posicão da segunda superficie huma parte de luz reflectida, e outra parte de luz transmittida, todas as vezes, que a aççãõ desta superficie fôr, como a da primeira, huma aççãõ reflectidora de huma intensidade mediocre.

Recuemos agora a superficie $A'B'$ até huma distancia AA'' igual a α : entãõ $A''B''$ cortará a marcha da mollécula m no começo de hum accesso de facil reflexaõ, cortará a marcha de m' no meio de hum similhante accesso, e cortará m'' no fim delle; por consequente nesta posicão da superficie a reflexaõ seria total todas as vezes, que o poder da superficie fosse tal, que podesse reflectir todas as molléculas, que se achão em accessos de facil reflexaõ; mas qualquer, que seja o poder reflectidor da superficie, esta posicão, a não ser huma posicão de reflexaõ total, será ao menos huma posicão de maxima reflexaõ.

Se agora recuarmos a superficie a huma distancia $AA''' > \alpha$, e $< 2\alpha$, as molléculas encontrarãõ a superficie com accessos diversos, e por tanto, haverá huma parte consideravel de luz transmittida, e outra parte consideravel de luz reflectida.

Recuemos ainda a superficie a huma distancia $AA'''' = 2\alpha$, entãõ a superficie $A''''B''''$ cortará a marcha de m no começo de hum accesso de facil transmissaõ, m' no meio, e m'' no fim de hum similhante accesso. Esta posicão pois da superficie, na qual a distancia he igual a 2α , se não he para todas as superficies huma posicão de transmissaõ absoluta, deve pelo menos, ser huma posicão de maxima transmissaõ.

Continuando a discorrer da mesma maneira, mostrar-se-ha evidentemente; que se sôbre a superficie de hum meio incide hum raio, ou muitos raios parallelos de huma luz homogenea, dos quaes huma parte penétra a primeira superficie, se os recebermos sôbre huma segunda superficie refringente parallela á primeira, teremos, designado por α o comprimento dos accessos das molléculas

de luz daquelle raio, e por Δ a distancia, que separa as duas superficies.

$$\text{Maxima reflexão, quando } \text{fôr} \dots \Delta = \begin{cases} \alpha \\ 3 \alpha \\ 5 \alpha \\ (2n+1) \alpha \end{cases}$$

$$\text{Maxima transmissão, quando } \text{fôr} \dots \Delta = \begin{cases} 0 \\ 2 \alpha \\ 4 \alpha \\ 2n \alpha \end{cases}$$

240. Se agora nos recordarmos, que as experiencias todas, que Newton fez sobre os aneis produzidos pelas côres solitarias, lhe dêraõ as espessuras das laminas na parte a mais brilhante do perymetro dos aneis reflexos, entre si, como os numeros impares

$$1 . 3 . 5 2n+1,$$

e as espessuras das laminas na parte a mais escura dos aneis sombrios, observados pelo mesmo modo, o que he o mesmo na parte a mais clara dos aneis transmittidos, entre si como os numeros pares

$$0 . 2 . 4 . 6 2n$$

veremos evidentemente, que as hypotheses até agora formadas, são exactas traducções da observação, e representações rigorosas dos phenomenos.

He facil concluir da experiencia, que todas molléculas, que compõem a luz inteira, são animadas de velocidades iguaes. Com effeito se o não fôssem, e se *v. g.* as molléculas, que constituem os raios vermelhos, se movessem com huma velocidade maior, que as molléculas, que compõe os raios alaranjados, estas com huma velocidade maior, que as que compõem as demais côres; quando observamos a emersão de hum satellite de Jupiter, os raios de luz vermelha chegariaõ ao olho, primeiro, que os de luz alaranjada, e estes primeiro, que os raios das outras côres; e por tanto o sate-

lite parecer-nos-hia vermelho, depois tinto da côr resultante do vermelho, e alaranjado, e a final branco; ora esta differença de côres não tem lugar: logo todos os raios chegam simultaneamente ao olho, e todas as molléculas de luz tem por conseguinte iguaes velocidades.

252. Não acontece porem assim, pelo que diz respeito ao comprimento dos accessos das molléculas de luz heterogêneas, e a explicação dos phenomenos exige, que o comprimento dos accessos seja diverso para as molléculas, que constituem os raios das diferentes côres; visto que observamos, que a maxima reflexão, e a maxima transmissão destas côres tinhaõ lugar, em espessuras entre si diversas.

253. Para calcularmos quaes são no ar os intervalos dos accessos das diferentes côres, não temos mais, que lembrarnos, que o primeiro anel reflexo, formado por cada côr, deve ter lugar em huma lamina de ar, cuja espessura seja igual a α , sendo α o comprimento do accesso, para a côr de que se trata; e por tanto, o dobro daquella espessura será o intervalo entre dois accessos consecutivos da mesma natureza.

Tomando pois no mappa (C) o valôr de e , para cada huma das côres, e dobrando este valôr, teremos o intervalo dos accessos para cada huma das côres em millionessimas de pollegada ingleza, valôres consignados na 2.^a columna do mappa (E) inserto no fim da presente secção.

254. Quando as molléculas de luz passão de hum para outro meio, os comprimentos dos seus accessos nos dois meios seguem a ração do Seno de incidencia para o Seno de refração na mesma passagem. Para ter pois o comprimento dos accessos para as diversas côres, em meios diferentes do ar, não teremos mais que multiplicar os comprimentos dos accessos para aquelle meio, pela ração do Seno de incidencia, para o Seno de reflexão, quando a luz passa do ar para o meio, que se considera. Este calculo acha-se feito no mappa (E) relativamente á agoa, e ao vidro.

255. Por meio destas hypotheses, que não são mais, que traducções rigorosas dos phenomenos, Newton fundamentou a sua theoria, e foi conduzido, a suspeitar, e confirmar experimentalmente outros resultados tão interessantes, como delicados, dos quaes apenas nos permitirá mencionar alguns de

maior importância, o caracter essencialmente elementar desta obra.

Das côres dos corpos opâcos.

256. Quando a luz inteira incide na superfície de hum corpo opâco, huma parte he reflectida specularmente sem decomposição; outra parte he reflectida irregularmente; mas decomposta, e alteradas as proporções dos raios, que a compõe, produz no orgão a sensação de huma côr, geralmente diversa do branco.

Vê-se do § 247 a razão, pela qual he branca a luz reflectida specularmente pela primeira superfície dos meios refringentes; resta-nos agora expôr a theoria da reflexão irregular, que produz a côr propria do corpo.

257. Para explicar este phenomeno, Newton considera os corpos formados de grupos, mais, ou menos espessos de molléculas integrantes, separados por intervalos cheios de fluidos subteis, cujo poder refringente he incomparavelmente menor, que o dos grupos de molléculas, os quaes se devem conceber de huma grande densidade, e de hum poder refringente considerabilissimo.

258. Admittido este modo de representar a constituição íntima dos corpos, modo de vêr inteiramente conforme aos principios até agora expostos, e a todas as observações sôbre a constituição dos aggregados de materia: se imaginarmos a luz inteira incidindo sôbre hum corpo, acontecerá que huma parte da luz, penetrará no corpo através dos diferentes grupos, e atravessará o corpo sem alteração, em maior, ou menor quantidade, conforme os grupos fôrem menores, ou maiores relativamente aos espaços, que os separa, e conforme fôr menor, ou maior a espessura do corpo, que se considera. Outra parte porém da luz incidirá na superfície dos grupos superficiaes do corpo; e como o poder refringente destes se suppõe mui enérgico, pouquissima luz será reflectida na primeira superfície dos grupos; mas penetrará quasi toda no interior delles, e pela mesma razão os seus accessos se tornaraõ extremamente curtos. Esta luz chegando á segunda superfície dos grupos, mui proxima á primeira, experimentarâ o mesmo effeito, que a luz que penétra até á se-

segunda superficie das laminas delgadas; e decompondo-se nesta superficie, huma certa côr será reflectida, e a côr complementar transmittida. Esta segunda porção de luz penetrará em hum segundo grupo, semelhante ao primeiro, o qual a privará completamente dos raios da côr propria a ser reflectida, de maneira que só poderá ser em diffinitivo transmittida a côr complementar. A luz assim reflectida pelas segundas superficies dos grupos, constitue a côr propria do corpo visto pela reflexão, e a luz transmittida á côr propria do corpo visto por transmissão.

A côr propria do corpo será a mesma debaixo de todas as incidencias dos raios de luz; por quanto sendo por hypothese considerabilissimo o poder refringente dos grupos, estes estão no caso das laminas delgadas, cuja acção refringente he mui forte, e nas quaes a côr reflectida não varia sensivelmente com a variação da obliquidade de incidencia.

259. Desta explicação da côr propria das substancias, resulta, que se por hum meio qualquer, se variar a espessura, dos grupos, a côr do corpo deverá variar, e com effeito veremos no estudo da chymica, que certas substancias expostas á acção gradual do calor, ou dissolvidas em porções cada vez maiores de hum menstuo sem côr, meios proprios para dilatar successivamente os grupos de molléculas, passão gradualmente por toda a serie de côres, que constituem os aneis côrados.

Nas substancias, cujas côres não são alteradas pelo calor, devemos suppôr, que este não oppéra sobre as molléculas, que constituem cada grupo, daquelles donde depende a coloração; mas que a densidade de taes corpos varia com o augmento de temperatura, afastando-se estes grupos mais consideravelmente huns dos outros.

260. Tal he em summa a hypothese de Newton sobre a origem, ou causa das côres dos corpos opacos. Esta hypothese tem sido combatida, e alguns Physicos tem pertendido attribuir as côres, a huma acção puramente chymica da materia dos corpos sobre as molléculas heterogeneas, que compõem a luz. As objecções, que os partidistas desta doutrina oppõe á explicação de Newton, estão mui longe de destruir a sua explicação; por quanto com ella se pôde dar razão de todas as observações, e experiencias neste genero.

Aquelles leitores, que desejarem sobre a theoria dos ac-

céssos, e suas diversas applicações, noções mais extensas, que aquellas que temos exposto; poderaõ sôbre este objecto consultar os tratados geraes de physica, ou especiaes de optica, como v. g., o Tractado de physica experimental, e mathematica de Biot, e sôbre tudo a Optica do mesmo Newton; e á cerca das côres dos corpos, pôde vêr-se o Tractado de tinturaria de Bertholet.

Noções fundamentaes sôbre a refracção dupla, ou extraordinaria.

261. Quando a luz atravessa os meios não cristalisados; os raios, além da dilatação devida ás diversas refrangibilidades da luz de diferentes côres, experimentaõ hum desvio, que aprendemos a calcular, para o raio de refrangibilidade média, que entaõ unicamente consideramos, e ao qual, do mesmo modo, nos referiremos, no que agora temos a dizer.

Esta acção, que os meios não cristalisados exercem sôbre os raios de luz, he porém de tal natureza, que a cada raio incidente corresponde hum unico raio refracto, dirigido sempre de tal modo, que representando y o angulo de incidencia, n a razao constante de refração, para o meio, que se considera, e y' o angulo de refração, temos sempre - -

$$\text{Sen } y' = n. \text{ Sen } y.$$

262. Quando porém os raios de luz atravessã meios cristalisados, cujas formas primitivas não são o cubo, o octaedro, ou o dodecaedro regular, a cada raio incidente correspondem em geral dois raios refractos, dos quaes hum segue sempre a lei de Descartes acima enunciada; o outro poiem segue huma lei diversa. Nesta subdivisã da luz em dois raios diversos, quando penétra nos meios cristalisados, consiste o phenomeno da *refracção dupla*, ou *extraordinaria*, do qual passaremos a dar aos nossos leitôres, a idéa resumida, que nos permitem a extensã, e o plano destes elementos.

263. Primeiro que tudo, assignaremos huma denominação a cada hum dos raios refractos, que em virtude da refração dupla, provém de hum mesmo raio incidente. Chamaremos *raio refracto ordinario*, aquelle que obedece á lei geral da refração ordinaria, ou lei de Descartes, e *raio refracto ex-*

traordinario ao outro raio, nascido da refracção dupla, ou extraordinaria.

264. Bertholini, o primeiro que observou a refracção dupla, se apercebeo, que pousando hum prisma romboidal de spatho de Islandia (subcarbonato de cal romboidal) sôbre huma linha traçada em hum papel, a linha se achava duplicada, quando se observava através do cristal. O spatho de Islandia he de todos os cristaes, o que produz hum desvio mais consideravel entre os raios ordinario, e extraordinario, e por isso começaremos neste cristal o nosso estudo sôbre os phenomenos da refracção dupla.

265. Os cristaes de spatho de Islandia são prismas romboidaes, que possuem seis angulos solidos agudos, e dois obtusos, os angulos diédricos agudos, são, segundo Malus, e Wolaston, de $74.^{\circ} 55'$, os angulos obtusos de $105.^{\circ} 5'$. Quando o cristal, com que se oppéra, tem a fôrma primitiva rigorosa, as bases $abcd$, e $a'b'c'd'$, do prisma, são rombos Fig. 57.^a perfeitos, e se tirarmos as menores diagonaes bd , e $b'd'$ destes rombos, e por ellas concebermos hum plano, a secção do cristal por este plano, he o que chamamos *secção principal do cristal*.

266. A secção principal $bd b' d'$ será terminada pelas duas diagonaes menores bd , e $b' d'$ das bases, e pelas arestas bb' , e dd' do cristal. Esta secção será hum parallelogramo, cujos angulos oppóstos d' , e b serão obtusos, e os dois b' , e d agudos. Se tirarmos a menor diagonal deste parallelogramo, esta linha $d'b$ será, o que chamamos *eixo do cristal*; sendo evidente, que este eixo será a recta, que une os vertices dos dois angulos sólidos obtusos do cristal; e ensinando-nos a Geometria, que esta linha será igualmente inclinada sôbre todas as faces, com cada huma das quaes fará hum angulo de $45.^{\circ} 23' 25''$

267. Se sôbre hum papel branco marcarmos hum ponto negro, e pozermos sôbre elle o prisma romboidal por qualquer das faces, veremos duas imagens deste ponto. Voltando o prisma em todos os sentidos sôbre o seu plano, a posição reciproca das imagens variará, e situando mais, ou menos obliquamente o olho, obter-se-hão tambem variações na posição das imagens; porém quaesquer que sejaõ estas variações, o ponto enviára sempre ao olho duas imagens: donde

resulta, que cada ponto, situado por baixo do cristal, envia ao olho dois raios diversos.

Reciprocamente, se do olho partisse para a face superior do prisma hum raio de luz, este raio ao penetrar no cristal dividir-se-hia em dois raios, dirigidos ás duas imagens ordinaria, e extraordinaria.

268. Esta subdivisãõ do raio incidente pôde, independentemente desta consideraçãõ, manifestar-se directamente, fazendo incidir sôbre huma das faces do cristal hum raio de luz, introduzido na camara escura: este raio refrangir-se-ha ao atravessar o cristal, e o quadro, situado a distancia por traz delle, interceptará dois, em vez de hum só raio, e nelle se pintaráõ dois espectros.

269. Malus, a quem se devem importantissimos trabalhos sôbre a refracçãõ dupla, demonstra este principio, sem carecer da camara escura, de hum modo, tanto mais digno de mencionar-se, quanto, além da sua simplicidade, nos offerecerá hum meio de medir a distancia, que medeia entre os raios ordinario, e extraordinario na sua intersecçãõ com a base inferior do prisma; distancia esta, a que se dá o nome de *distancia radial*.

Fig. 59.^a

Consiste o processo de Malus em traçar sôbre hum papel branco hum triangulo rectangulo abc , e situar sôbre elle o cristal. Se entãõ observamos o triangulo através deste, ve-lo-hemos dobrado, e teremos as duas imagens, ordinaria abc , e extraordinaria $a'b'c'$, e o lado $a'b'$ da imagem extraordinaria cortará a hypotenusa bc da imagem ordinaria em o ponto d . Entãõ tome-se sôbre ab hum intervalo bd' igual a $b'd$: he evidente, que o raio ordinario partido do ponto d da hypotenusa bc , e o raio extraordinario partido do ponto d' do lado ab , se reúnem, ao sahir da superficie superior do cristal, em hum raio unico, que se dirige ao olho: por tanto, o raio, que partisse do olho na mesma direcçãõ, subdividir-se-hia em dois, hum ordinario dirigido a d , outro extraordinario dirigido a d' .

Fig. 60.^a

Isto posto, a fim de continuarmos as nossas observações sôbre a refracçãõ dupla, tracemos sôbre hum papel branco as linhas perpendiculares entre si ab , e bc , e coloquemos sôbre ellas o prisma de spatho de Islandia, e situemos o olho perpendicularmente á sua face superior. Fazendo girar o cristal sôbre o seu plano, chegara huma posiçãõ,

na qual as duas linhas apresentarão a fig. 61, na qual a linha ab será simples; mas augmentada do comprimento bb' , e a linha bc apresentará duas linhas cb , e $c'b'$ paralelas, separadas pela distancia bb' . Continuando a girar com o cristal, ambas as linhas parecerão dobradas (fig. 62). Continuando sempre o mesmo movimento chegará outra posição, na qual ab parecerá dobrada, e bc simples, e produzida (fig. 63). Virá depois a apparencia (fig. 64), depois de novo a apparencia (fig. 61), depois (fig. 62), depois (fig. 63), depois (fig. 64), e finalmente recahiremos na posição, e na apparencia primitiva (fig. 61).

Fig. 61.^aFig. 62.^aFig. 63.^aFig. 64.^a

Observar-se-ha, considerando attentamente a experiencia, que acabamos de descrever, que todas as vezes, que hum das linhas ab , ou bc se apresenta simples, a referida linha e o olho do observador se achão no plano da secção principal do cristal, ou em hum plano a elle paralelo. E visto, que neste caso a imagem ordinaria, existe no mesmo plano da imagem extraordinaria; pois que as rectas em parte sobrepostas ab , e $a'b'$ existem forçosamente ambas no mesmo plano: segue-se, que no plano da secção principal, ou em qualquer plano paralelo a elle, as refrações ordinaria, e extraordinaria, se fazem no plano de incidencia; mas que este effeito sómente tem lugar naquelles planos.

271. Observando agora a maneira, pela qual tem lugar a refração extraordinaria na secção principal, ou em qualquer plano paralelo a ella, acharemos o seguinte.

Represente $ABCD$ esta secção, e seja AD o eixo do cristal, SI hum raio incidente, NIN' a normal á superficie AB no ponto I , IO será o raio refracto ordinario, e IE o raio refracto extraordinario: o que nos mostra, que quando hum raio de luz penetra na face superior do cristal de spatho de Islandia no plano da secção principal, ou em qualquer plano paralelo a este, divide-se em dois raios, situados ambos no mesmo plano; porém em quanto o ordinario segue a marcha, que lhe assigna a lei da refração simples; o extraordinario he desviado daquella direcção para o lado do pequeno angulo sólido c da base opposta. Este effeito he geral para todas as incidencias neste plano. Com effeito se a incidencia fôr, v. g., $S'I$ o raio refracto ordinario será IO' , e o extraordinario será IE' , mais proximo á normal, do que o primeiro.

Fig. 65.^a

272. Se hum dos angulos sólidos obtusos de hum prisma romboidal de spatho de Islandia, se cõrta por hum plano perpendicular ao eixo do cristal, e sôbre esta face artificial se faz incidir hum raio de luz, o raio incidente não se divide atravessando o cristal. Neste caso he evidente, que o raio atravessa o cristal parallelamente ao eixo; se porém o raio incidir obliquamente sôbre a face artificial, cessará de ser parallello ao eixo, e o raio subdividir-se-ha atravessando o cristal.

273. Duas experiencias podem, entre outras, servir-nos para verificar este principio.

1.^a *Experiencia.* Talhem-se em hum cristal de spatho de Islandia, duas faces entre si parallelas, e perpendiculares ao eixo do cristal. Situe-se o cristal, assim talhado, por huma das faces artificiaes, sôbre hum ponto marcado em hum papel: olhando perpendicularmente o ponto através do cristal, ver-se-ha huma unica imagem; olhando porém obliquamente, veremos duas imagens do ponto.

2.^a *Experiencia.* Talhe-se hum cristal de spatho de Islandia em prisma triangular, de tal maneira, que huma das faces do prisma seja perpendicular ao eixo do cristal. Receba-se o raio de luz, que penêtra na camara escura, sôbre este prisma perpendicularmente á face mencionada, o quadro situado por traz do prisma, receberá hum espectro unico. Faça-se girar o prisma para tornar a incidencia obliqua ao eixo do cristal, observar-se-haõ immediatamente dois espectros sôbre o quadro.

274. Em todos os cristaes, susceptiveis de produzir a refração dupla, ha huma determinada direcção, na qual a dupla refração cessa de ter lugar, esta direcção chama-se em geral o *eixo do cristal*. Do mesmo modo todos os cristaes susceptiveis de produzir a refração dupla, tem huma secção, na qual os raios refractos, tanto ordinario, como extraordinario, existem no plano de incidencia, e que se chama em geral a *secção principal do cristal*.

275. Em hum certo numero de cristaes os phenomenos de refração dupla podem, como para o diante veremos, ser attribuidos a huma acção repulsiva, dimanando do eixo do cristal; em outros esta mesma força he attractiva pela indicação dos phenomenos. Esta differença de acções faz dividir os cristaes em duas classes, cristaes de *refração dupla repul-*

siva, cristaes de *refracção dupla attractiva*. O spatho de Islandia pertence aos cristaes da primeira classe.

Método de Malus, para medir a distancia radial.
Idéa da lei da refracção dupla, ou extraordinaria.

276. Malus imaginou, para medir a distancia radial, hum processo de tal simplicidade, que permite effectuar com summa facilidade esta determinação.

Consiste o processo de Malus, em traçar sôbre hum papel branco hum triangulo rectangulo ABC , cujo lado AC seja pouco mais, ou menos dez vezes maior, que BC , e dividir cada hum dos lados AB , e AC em partes iguaes entre si, v. g., cada hum em 1000 partes. Sôbre este triangulo situa-se o cristal, e a inspecção das divisões, que devem ter numeros, v. g., de 10 em 10, indica os pontos f de AB , e f' de AC , cujas imagens extraordinarias coincidem, e a distancia entre estes pontos será a distancia radial. Se se conhecer a posição do triangulo, relativamente á base do cristal, o que he sempre facil; restará unicamente conhecer o ponto de emergencia do raio na face superior, e a inclinação deste raio, ou o angulo de emergencia. Para este fim toma-se hum circulo graduado, cujo limbo se dirige no plano vertical da emergencia, e dirigindo a lente móvel sôbre o ponto I , mede-se o angulo ISO , formado pelo raio SI , e a vertical SO , igual ao angulo de emergencia NIS , formado pela normal, e o raio emergente. Com estes dados podemos sempre exprimir em numeros, ou construir graficamente a observação. Fig. 66.*

277. Variando as posições do raio incidente, relativamente á secção principal do cristal, e as incidencias do mesmo raio sôbre diferentes faces, tanto naturaes, como artificiaes do mesmo cristal, e comparando entre si os resultados destas observações, Huygens conseguiu representar por huma lei geral os phenomenos da refracção dupla nos cristaes de spatho de Islandia: lei esta, que com a mudança sómente de valôr absoluto de huma constante, se acha ser applicavel a todos os outros cristaes, tanto attractivos, como repulsivos.

Huygens envolveo esta lei em huma construção geome-

trica, da qual Malus deduzio a fórmula analytica, que nos permite em todos os casos construir o raio refracto, sendo dada a natureza do cristal, e a posição do raio incidente, relativamente a este.

278. Para concebermos a construcção de Huygens, he necessario saber, que aquelle observador tinha achado, que todas as vezes que se talha huma lamina de spatho de Islandia parallelamente ao eixo do cristal, e que o plano de incidencia he perpendicular á direcção do eixo, as refrações tanto extraordinaria, como ordinaria, se fazem segundo a lei de Descartes; as constantes só seraõ differentes nas duas refrações. Assim teremos sempre nestas circumstancias - - -

$$\text{Sen } x' = n. \text{ Sen } x, \text{ e } \text{Sen } x'' = n' \text{ Sen } x;$$

sendo x , x' , x'' os angulos de incidencia, de refração ordinaria, e de refração extraordinaria, e n , e n' , as constantes em cada huma das refrações.

Fig. 68.^a

279. Isto posto, seja $FFFF$ huma face qualquer natural, ou artificial, do cristal, e SI hum raio de luz incidente: para traçarmos as direcções dos raios refractos ordinario, e extraordinario, em que se subdivide o raio incidente SI ao penetrar no cristal, praticaremos da maneira seguinte.

Seja OO' a commum secção do plano de incidencia, e da face $FFFF$ do cristal, e tire-se pelo ponto I , a recta AA' parallelamente ao eixo do cristal, e dividida no ponto I em duas partes IA , e IA' iguaes entre si, e cada huma dellas igual a n ; isto he, á constante da refração ordinaria no cristal, que se considéra. Sôbre esta linha AA' como eixo, descreva-se hum elypsoyde de revolução, cujos pólos sejaõ os pontos A , e A' , e cujo equador tenha hum raio igual a n' , isto he, á constante da refração extraordinaria para o cristal em questaõ, no caso do § 278.

Isto feito, tome-se sôbre IO hum ponto P , tal, que seja $IP = \frac{x}{\text{Sen } x}$, sendo x o angulo de incidencia, e por este ponto P tire-se huma recta indefinida RPR perpendicular ao plano de incidencia.

Se pela recta RPR se conduzir hum plano tangente á superficie do elypsoyde, o ponto E do contacto do plano, e do elypsoyde, será hum ponto pertencente ao raio refracto extraordinario; e por tanto IE será a direcção deste raio.

Se agora sôbre AA' como diametro, descrevermos em vez do ellypsoyde, atraz indicado, huma esfêra, e conduzirmos por KPR hum plano tangente a esta esfêra, o ponto de contacto E' do plano, e da esfêra, serâ hum ponto do raio refracto ordinario, e por conseguinte IE' serâ a direcção deste raio.

280. Malus, e Wolaston, tendo desembaraçado esta lei de toda a hypothese, e tendo-a reduzido a huma expressão analytical, verificarão a sua exactidão por hum numero considerabilissimo de acuradas experiencias, e a acharação confirmada geralmente pelos resultados, dentro dos limites de exactidão, que comporta esta especie de observações.

Não desenvolveremos neste tratado a expressão algebrica desta construcção, por não estender demasiadamente a parte optica, já assas volumosa. Os leitôres, que desejarem estudar estas expressões, poderão consultar, entre outras obras, o Tractado de Physica Experimental, e Mathematica de Biot. Livro 5.º Dioptrica. Cap. 4.º

Sôbre a theoria da refração dupla.

281. A lei descuberta para a refração dupla, he puramente huma lei empyrica, da qual o physico deve procurar elevar-se ao conhecimento de huma hypothese physica, da qual a referida lei sendo huma consequencia rigorosa, o phenomeno fique por esta hypothese explicado.

Huygens dando a construcção, acima indicada, explica va a refração dupla no systema das ondulações. Newton regeitou a explicação de Huygens, como devia acontecer, tendo este phylosopho substituido a hypothese da emissão, á das ondulações; mas he pasmoso, que o grande Newton, confundindo a lei de Huygens com a sua hypothese, regeitasse ambas, e por meio de observações, necessariamente inexactas, ou insufficientes, fôsse conduzido a substituir aquella lei, huma outra, que julgou verdadeira; mas que as experiencias posteriores próvaõ ser falsa. Outros Physicos pertendêrão explicar a refração dupla por meio de outras hypotheses, e sempre substituindo ontras leis, á construcção de Huygens. Porém depois que Malus, despojando esta construcção de todo o principio hypothetico, a reduzio, como já dissemos, a huma lei simples, e que as suas experiencias, e as de Wo-

laston, patentearão a sua exactidão: o célebre Laplace conseguiu fazer depender o phenomeno de hum principio de mechanica; como Newton tinha reduzido a hum principio de mechanica os differentes phenomenos da refracção simples, e ordinaria, e os da reflexão.

282. A analyse, por meio da qual este illustre geometra, subio áquelle principio, he nimamente elevada, para poder incluir-se neste tractado, e por isso remetteremos os nossos leitôres á Memoria do mesmo Laplace, inserta nas Memorias da Sociedade de Arcueil (T. II. pag. 111, e seguintes). Laplace demonstra na referida memoria, que este phenomeno depende de huma acção, repulsiva em huns, e attractiva em outros cristaes, dimanando do eixo dos cristaes, e enfraquecendo-se mui rapidamente com a distancia. Esta força he por tanto só nulla, quando a luz atravessa o cristal parallelamente ao eixo, como o mostraõ as observações, que deixamos descriptas, e se collige da lei geral de Huygens, particularisada, por substituições convenientes, para cada huma das posições do cristal, e do raio.

Apparencias, causadas pela visãõ através dos cristaes, dotados da refracção dupla, e especialmente do spatho de Islandia.

283. Agora que conhecemos porque maneira cada raio, partido de hum ponto luminoso, penetra nos cristaes dotados da refracção dupla, e especialmente no spatho de Islandia; passaremos a examinar, porque maneira se effectua a visãõ de hum ponto, através de hum similhante cristal, o que nos explicará certas singularidades, produzidas nesta especie de visãõ; ensinando-nos ao mesmo tempo, a servir-nos das observações assim feitas, para a explicação das leis expostas, relativamente á subdivisãõ dos raios incidentes ao penetrar nos cristaes.

Fig. 69.^a

284. Seja S hum ponto luminoso, e O o olho do observador, que suppôremos, por maior simplicidade, situados no plano da secção principal $ABCD$ do cristal de spatho de Islandia, interposto entre o olho O , e o ponto luminoso S .

Entre os raios, que partindo de S , incidem sôbre a superficie DC , haverá necessariamente hum $SIT O$, que re-

frangindo se ordinariamente, penetrará depois da sua emergência no olho O do observador, e por conseguinte lhe fará vêr a imagem ordinaria de S no ponto S' , no prolongamento da direcção OI' paralela a SI . Este raio incidente SI produzirá hum raio refracto extraordinario IE , que pela lei da refracção extraordinaria, se desviará mais consideravelmente, que o raio ordinario, para o pequeno angulo sólido B , e que por conseguinte, quando sahindo para o ar em E tomar huma direcção EE paralela a SI , não poderá passar pelo olho em O . Este raio incidente SI não pôde por conseguinte dar ao olho O a imagem extraordinaria do ponto S , e *a fortiori* lha não poderao dar todos os raios, que de S incidirem sôbre CD entre os pontos I , e C . Porém dos raios, que de S incidirem sobre DC entre os pontos I , e D haverá hum SI'' , cujo raio refracto extraordinario $I''E''$, depois de tomar, passando para o ar no ponto E'' , a direcção $E''O$ paralela a SI'' , penetrará no olho em O . Este raio será quem dê ao olho O a imagem extraordinaria de S : a qual será por tanto vista em S'' , no prolongamento de OE'' ; e por conseguinte parecerá esta imagem mais desviada, que a ordinaria, do angulo sólido D ; e mais proxima pelo contrario do angulo obtuso C .

Daqui se vê, que os raios, que na visao através dos cristaes dotados da refracção dupla, dao ao olho a sensaçao das duas imagens, se cruzao em hum certo ponto L no interior do cristal; e he evidente, que este ponto cahira tanto mais proximo da superficie CD , quanto o ponto S mais se aproximar da mesma superficie, e reciprocamente.

285. Monge patenteou este cruzamento dos raios por huma experiencia mui simples, que confirma plenamente este resultado da theoria.

Depois de situarmos hum cristal de spatho de Islandia entre o olho, e hum ponto luminoso, como indica a experiencia antecedente, façamos avançar hum corpo opaco ao longo da superficie inferior do cristal. Se o corpo opaco avançar no sentido de C para D , a imagem S' será a primeira, que desaparecerá; se porém o corpo avançar de D para C a imagem S'' desaparecerá em primeiro lugar. Esta desaparição previa da imagem mais distante do obstaculo, que surprehenderia hum observador não instruido da marcha dos raios de luz através do cristal, he para nós huma con-

sequencia necessaria, e huma verificação completa do que fica enunciado no § antecedente.

286. Se se observa qualquer objecto, v.g., hum ponto negro marcado sobre hum papel branco, através de hum cristal de spatho de Islandia, notar-se-ha sempre, que a imagem ordinaria parece mais proxima do olho, que a imagem extraordinaria. Esta apparencia he huma consequencia rigorosa da theoria.

Fig. 70.^a A imagem ordinaria de hum ponto S visto através do cristal, não he dada unicamente por hum raio $SiI'O$; por quanto a pupila tem huma abertura sensivel; mas sim por huma piramide cônica de raios incidentes $Si'i''$, a qual gera no cristal a piramide cônica bitruncada $i'i''i'''i''''$, e finalmente no ar a piramide cônica tambem bitruncada $i''i'''o'o'$, na qual os apothemas seraõ tanto mais divergentes, quanto maior for o poder refringente do cristal, e sempre mais divergentes, que na pyramide $Si'i''$, e por tanto estes apothemas convergiraõ sempre em hum ponto S' mais proximo ao olho, que o ponto S . Como he no vertice da pyramide, que tem por base a abertura da pupila, que parecerem situadas as imagens dos objectos, a imagem ordinaria sera pela refração através do cristal aproximada do olho do observador.

Pela mesma razão sera aproximada ao olho a imagem extraordinaria S'' ; mas como pela theoria da força repulsiva emanada do eixo do cristal, esta força no raio refracto extraordinario combate em parte a acção refringente da materia do mesmo cristal, a refração sera mais fraca para a pyramide de raios extraordinarios, que para a pyramide de raios ordinarios: e por consequente os apothemas da pyramide final destes raios, que tem por base a abertura da pupila seraõ menos divergentes, que naquella, e convergiraõ mais longe. A imagem extraordinaria sera pois menos aproximada ao olho, do que a imagem ordinaria, e parecerá por consequente situada em maior distancia do olho.

O contrario devera acontecer, e se observa com effeito, nos cristaes de refração dupla attractiva, nos quaes a acção refringente do cristal, he ainda augmentada no raio refracto extraordinario, pela acção emanada do eixo.

Phenomenos fundamentaes da polarisação da luz.

287. Se sobre hum papel branco marcarmos hum ponto preto, e sobre elle situarmos hum cristal de spatho de Islandia; o olho, que observar o ponto preto através do cristal, verá duas imagens delle, huma ordinaria, e a outra extraordinaria; que a maior, ou menor proximidade ao olho, e a posição, lhe ensinaraõ a distinguir (§§ 286, e 284).

Collocando sobre este hum segundo cristal da mesma materia, e olhando perpendicularmente o ponto negro através dos dois cristaes sôbrepóstos, notaremos os phenomenos seguintes.

1.º Se as secções principaes dos dois cristaes fôrem parallelas, ver-se-haõ unicamente duas imagens do ponto negro, huma sendo a imagem ordinaria, e a outra a imagem extraordinaria; como no caso da visãõ através de hum só cristal; variando unicamente a distancia entre as duas imagens.

2.º Se partindo da posição indicada, fizermos girar hum dos dois cristaes, até que os planos das suas secções principaes fação entre si hum angulo de 90° , ver-se-haõ ainda duas imagens sômente do ponto luminoso.

3.º Se porém a posição reciproca dos cristaes fór tal, que os planos das secções principaes formem entre si hum angulo qualquer $\varphi > 0$, e $< 90^\circ$, haverá quatro imagens do ponto luminoso, duas das quaes seraõ ordinarias, e duas extraordinarias.

4.º Quando, partindo da posição de parallelismo dos planos das secções principaes, o angulo φ vai crescendo gradualmente, as duas imagens, que começão a formar-se, vão crescendo em intensidade desde $\varphi = 0$, em que saõ nullas, até $\varphi = 90^\circ$, em que tem o maximo de viveza; ao mesmo tempo as duas imagens primitivas vão diminuindo em viveza desde $\varphi = 0$, em que tem o seu maximo, até $\varphi = 90^\circ$, em que se aniquillaõ inteiramente.

5.º Continuando a girar sempre com o cristal no mesmo sentido, as duas imagens primitivas appareceraõ de novo, e chegarãõ ao seu maximo no fim de hum giro de 180° , na qual época, as segundas imagens appareceraõ de novo, e assim seguidamente em todos os quadrantes.

288. Taes saõ as apparencias, que se manifestaõ imme-

diatamente, e que ferem, por assim nos explicarmos, a vista do observador o menos attento. Considerando porém o phenomeno com maior attenção, vc-se, que quando as secções principaes dos dois cristaes são parallelas, o raio, que se refracta ordinariamente no primeiro cristal, he tambem refractado ordinariamente no segundo, e o raio, que no primeiro cristal obedece á refração extraordinaria, he no segundo submettido á mesma especie de refração.

Quando porém as secções principaes dos dois cristaes fôrmao entre si hum angulo de 90° , o raio, que no primeiro cristal sóffre a refração extraordinaria, obedece no segundo á refração ordinaria, e o raio, que se refracta ordinariamente no primeiro cristal, refracta-se extraordinariamente no segundo. Em qualquer destas duas posições, os dois raios, que sahem do primeiro cristal, tem perdido a propriedade de se subdividirem ao atravessar o segundo; mas em quaesquer posições intermedias, estes raios conservaõ aquella propriedade, e cada hum delles se subdivide em dois, ao atravessar o segundo cristal.

289. A descoberta destes phenomenos he devida a Huygens, (*Tractatus de Lumine, Hugenii opera reliqua*), e são os primeiros phenomenos conhecidos, cuja explicação depende da propriedade da luz, a que, depois das descobertas de Malus, chamamos *polarisação*. Antes porém de passarmos a dar huma idéa destas descobertas, e a esboçar o quadro desta taõ delcada, como fecunda parte da optica, exporemos a idéa de Newton, sôbre a causa physica da refração dupla, e applica-la-hemos ao phenomeno de polarisação, que acabamos de expôr.

Idéa de Newton sôbre os pólos das molléculas luminosas.

290. Huygens tinha explicado no systema das ondulações os phenomenos da refração dupla; mas elle mesmo confessa, que não achára naquelle systema a razão sufficiente dos phenomenos observados na passagem da luz através de dois cristaes sôbrepóstos, dizendo: *Quo autem pacto id fiat, nihil reperire potui, quod mihi satisfaceret.* (*Huygenii opera reliqua*).

291. Newton a fim de interpretar os phénomenos da refracção dupla, na hypothese da emissão, que creára, suppõe que as molléculas de luz possuem duas especies de faces, ou pólos diversos, sôbre os quaes a materia do subcarbonato de cal romboidal, obra de maneiras differentes.

Sôbre huns destes pólos, a materia do spatho de Islandia, exerce huma acção, equivalente a huma attracção, cujo centro existe na região do pequeno angulo solido *b* (fig. 71), estes pólos podem chamar-se pólos de *refracção extraordinaria*.

Fig. 71.^a

Sôbre os pólos oppostos a estes, a materia dos cristaes tem sómente a acção, analogá á que exercem sôbre as molléculas de luz os meios não cristalizados, e esta especie de pólos podem chamar-se *pólos de refração ordinaria*.

292. Cada raio de luz deve, segundo o mesmo Geometra, ser assimilado a hum prisma quadrangular infinitamente delgado, em duas faces oppostas do qual existem os pólos de refração extraordinaria, e nas outras duas os pólos de refração ordinaria das molléculas luminosas. Aquellas faces do raio, em que existem os pólos de refração extraordinaria das molléculas de luz, podem chamar-se *faces de refração extraordinaria*, e similhantemente as outras duas faces, *faces de refração ordinaria*.

293. O raio composto, ou antes feixe de raios *st*, que nas nossas experiencias fazemos incidir sôbre a face *a d e b* de hum cristal de spatho de Islandia, he sempre composto de huma infinidade de raios de luz; e entre elles haverá huns, que, penetrando no cristal, appresentarão ao angulo *b* as faces de refração extraordinaria, outros appresentarão áquelle angulo as faces de refração ordinaria. Os primeiros experimentarão a acção attractiva do angulo *b*, e reunindo-se constituirão o feixe *tf* refractado extraordinariamente. Os segundos porém escaparão áquelle acção, e obedecendo sómente, á que lhes he analogá, constituirão o feixe de luz *tl* refractado ordinariamente.

Fig. 71.^a

294. Se acaso á acção attractiva da parte da região do angulo *b* substituirmos huma acção attractiva, ou repulsiva, emanada do eixo do cristal, sôbre os pólos de refração extraordinaria das molléculas; he evidente, que em nada mudará a hypothese, relativa á existencia dos pólos nas molléculas, e das faces analogas nos raios simplicés de luz; e esta hypothese nos dá razão da subdivisão da luz em dois

feixes através dos cristaes, dotados da refração dupla, tanto attractiva, como repulsiva.

Passaremos agora a applicar esta hypothese á explicação dos phenomenos, a que Malus, que os descobriu, e que nella os explicou, deo o nome de *phenomenos de polarisação*.

Explicação dos phenomenos de polarisação, provindos da refração da luz através dos cristaes, dotados da refração dupla, e especialmente do spatho de Islandia.

Fig. 71.^a 295. Quando hum raio de luz, ou antes hum feixe de raios de luz *St* penetra em hum primeiro cristal de spatho de Islandia, subdivide-se, como acabamos de vêr, nos dois raios *tl*, e *tf*, o primeiro refractado ordinariamente, o segundo refractado extraordinariamente.

O feixe de raios extraordinario *tf* he formado da reunião de todos os raios simples, que tem as faces de refração extraordinaria voltadas para o angulo *b*.

Pelo contrario o raio refracto ordinario he composto dos raios simples, cujas faces de refração ordinaria estão voltadas para aquelle angulo.

296. Concebamos agora hum segundo cristal, situado sobre o primeiro, de maneira, que as suas secções principaes sejam parallelas: então o raio ordinario, sahindo do primeiro cristal, e entrando no segundo, appresentará ao angulo *b* deste segundo cristal a face de refração ordinaria, e por conseguinte escapará completamente á força, que occasiona a refração extraordinaria, e refractar-se-ha todo ordinariamente no segundo cristal: dando por conseguinte humá imagem unica do ponto *S*, donde partira.

O raio refractado extraordinariamente, appresentará porém ao angulo *b* do segundo cristal a face de refração extraordinaria, e refractar-se-ha por conseguinte extraordinariamente todo neste segundo cristal.

297. Quando as secções principaes dos dois cristaes fizerem hum angulo de 90° ; então he claro, que o raio refractado ordinariamente no primeiro cristal, penetrará no segundo offerecendo ao angulo *b* a face de refração extraordinaria, e pelo contrario o raio refractado extraordinariamente no pri-

meiro cristal apresentará ao angulo b do segundo a face de refrecção ordinaria: consequentemente o raio, refractado ordinariamente no primeiro cristal, o será extraordinariamente no segundo, e reciprocamente o raio, que no primeiro cristal obedeceo á refrecção extraordinaria, obedecerá á refrecção ordinaria no segundo.

298. A' medida, que as secções principaes se affastão do parallelismo, caminhando para o limite do angulo de 90° , as posições das faces dos raios ordinario, e extraordinario varião relativamente á posição do centro b das forças, que produzem a refrecção extraordinaria; e por consequente, á medida, que o angulo das duas secções cresce, hum numero cada vez maior de raios simples, obedecendo á acção emanada de b , se separa do feixe de refrecção ordinaria, e se refracta extraordinariamente, até ao limite de 90° , em que todo o feixe obedece a esta especie de refrecção. Pelo contrario hum numero cada vez maior de raios simples do feixe extraordinario, escapando á acção do angulo b , obedece á refrecção ordinaria, até que no limite de 90° todo o feixe escapa áquella acção, e se refracta ordinariamente em totalidade. Daqui nasce a duplicação das imagens nas posições intermedias das secções principaes, quando de formarem hum angulo $\phi = 0$ passão a formar hum angulo $\phi = 90^\circ$, e bem assim a variação da intensidade de luz nas imagens; e isto não só no primeiro; mas em todos os outros quadrantes.

Definições de certas expressões, que empregaremos tratando da polarisação da luz.

299. Antes de progredirmos no estudo dos phenomenos de polarisação, convem fixar rigorosamente o valôr de certas expressões, que empregaremos, tratando daquelles phenomenos.

Na hypothese, que adoptámos, acabamos de vêr, que em cada mollécula concebemos duas regiões, ou pólos, situados áquem, e além do centro de gravidade da mollécula luminosa, e a que chamámos pólos de refrecção extraordinaria: concebemos do mesmo modo outros dois pólos de natureza opposta á dos precedentes, e a que demos o nome de pó-

los de refracção ordinaria. Se de hum pólo de refracção extraordinaria ao outro, e bem assim de hum a outro pólo de refracção ordinaria, concebermos, tiradas na mollécula de luz, duas rectas, estas rectas serão perpendiculares entre si. A primeira, he o que chamaremos *eixo de refracção extraordinaria*; a segunda, o que chamaremos *eixo de refracção ordinaria*; e poderemos por consequente dizer, que em qualquer mollécula de luz o eixo de refracção ordinaria, e o eixo de refracção extraordinaria são perpendiculares entre si.

Fig. 71.^a

300. No raio refracto ordinario *tl* todas as molléculas de luz tem os seus pólos de refracção ordinaria, voltados da mesma maneira, e o eixo de refracção ordinaria das molléculas deste raio existe no plano da secção principal *abne* do cristal, este raio diz-se polarizado naquelle plano, ou mais rigorosamente polarizado ordinariamente no dito plano.

No raio extraordinario *tf* todas as molléculas tem o eixo de refracção extraordinaria, situado no plano *abne*, e por consequente o eixo de polarisação ordinaria he perpendicular áquelle plano, este raio diz-se polarizado extraordinariamente, relativamente ao plano *abne*, ou o que he o mesmo, polarizado no plano perpendicular áquelle. Assim diremos em geral, que

1.^o *Hum raio de luz acha-se polarizado em hum plano, quando os eixos de polarisação ordinaria das molléculas, que o compõe, existem naquelle plano.*

2.^o *O plano de polarisação de hum raio de luz, he aquelle, em que existem os eixos de polarisação das molléculas de luz, que compõe o raio.*

3.^o *Hum raio de luz diz-se polarizado extraordinariamente, relativamente a qualquer plano, quando nesse plano existem os eixos de polarisação extraordinaria das molléculas, que o compõe.*

301. Destas definições, e do que antecedentemente fica exposto á cerca da marcha dos raios de luz através de dois cristaes de spatho de Islandia sôbrepóstos, se concluem evidentemente as seguintes proposições.

1.^a Quando hum raio de luz atravessa hum cristal de spatho de Islandia, e em geral qualquer cristal dotado da refracção dupla, em huma direcção não parallela ao eixo do cristal, divide-se em dois raios, polarizados em dois planos entre si perpendiculares. O raio ordinario acha-se polarizado

no plano de incidencia, e o raio extraordinario em hum plano perpendicular áquelle.

2.^a Quando hum raio de luz atravessar hum cristal dotado da refração dupla, em huma direcção não parallela ao eixo, sem experimentar divisaõ, e o plano de incidencia fôr o plano da secção principal do cristal, o raio incidente achar-se-ha polarisado, no mesmo plano da secção, se se refractar todo ordinariamente, e no plano perpendicular, se se refractar todo extraordinariamente.

3.^a Se pelo contrario o plano de incidencia fôr perpendicular á secção principal do cristal, e o raio o atravessar sem subdividir-se, se todo o raio fôr refractado extraordinariamente, seguir-se-ha, que o raio incidente se achava polarisado no plano de incidencia; se porém se refractar todo ordinariamente, seguir-se-ha, que o raio incidente se achava polarisado em hum plano perpendicular áquelle; ou o que he o mesmo, no plano da secção principal.

302. Por este modo a refração da luz através de hum cristal dotado da refração dupla, nos offerece hum meio de obter hum raio de luz polarisado segundo hum certo plano; e do mesmo modo a observação da refração através de hum semelhante cristal, nos dá a conhecer, se o raio incidente se acha polarisado, e qual he a direcção do plano de polarisação.

Polarisação da luz pela reflexão na superficie dos meios transparentes.

303. Se hum raio de luz incidir sobre a superficie polida de huma lamina de vidro AB , formando com a lamina hum angulo SIA de $35^{\circ} 25'$, o raio reflexo IS' se achará polarisado no plano de reflexão $S'IB$; quer dizer, no plano conduzido pelo raio IS' perpendicularmente á superficie AB . Fig. 72.^a

304. Com effeito, se fizermos atravessar ao referido raio hum cristal de spatho de Islandia, cuja secção principal seja parallela áquelle plano, o raio, sem subdividir-se, refractar-se-ha todo ordinariamente. Se porém a secção principal do cristal se tornar perpendicular ao plano de reflexão, o raio sem subdividir-se refractar-se-ha todo extraordinariamente.

Nas posições intermedias do cristal, o raio subdividir-se-ha em dois, dos quaes hum soffrerá a refração ordinaria, e

outro a extraordinaria; e a luz, refractada por cada hum destes modos, será tanto mais abundante, quanto a posição, se aproxima daquella, em que aquelle modo de refração tem lugar exclusivamente.

305. A descoberta deste interessante facto, he devida a Malus, e foi este phenomeno, quem lhe abriu a vereda, que trilhou com tanta gloria, e que tem seguido, e seguem ainda com tanto interesse todos aquelles, que se tem especialmente dado ao estudo da luz.

306. Para tornar esta verdade patente pela experiencia, usaremos do apparatus seguinte (*).

Fig. 73.^a

AB he huma base plana rectangular de madeira, ou metal, sôbre a qual se eleva perpendicularmente a columna de metal CD , que sustenta o semicirculo graduado, que gira no plano vertical em tôrno do eixo e . Ao diametro ac está unido hum canudo de metal OO' , cuja superficie interior deve ser negra. Hum nonio, fixo em n na columna, permite dar ao eixo $O'O$ do canudo huma inclinação qualquer sôbre o plano da base.

O cylindro, ou canudo OO' , tem na parte inferior O hum diafragma preto, com hum pequeno orificio circular no seu centro. Na extremidade superior O' , entra hum tambor girante H , no interior do qual se pôde encerrar qualquer cristal; este tambor gira circularmente no cylindro, e hum ponteiro p marca o seu movimento sôbre o mostrador graduado M , fixado exteriormente no cylindro, e perpendicular ao seu eixo. Finalmente $rr'r''r'''$ he huma lamina de vidro, cuja face posterior he denegrida, e situada no plano AB da base.

307. Para effectuarmos a experiencia, que nos occupa, tome-se este instrumento, e colloque-se o cylindro de maneira, que o seu eixo fôrme com a lamina de vidro $rr'r''r'''$ hum angulo de 35° , e $25'$, para o que deverá o angulo aen ser de $54^\circ 35'$. Introduza-se no tambor H hum cristal de spatho de Islandia, em tal posição, que a sua secção principal

(*) Podem para este fim conceber-se huma infinidade de apparatus diversos, muitos delles se achão descriptos nas obras de Physica; veja-se com particularidade a Physica de Haüy, 3.^a Edição, Paris 1821, Tom. 2.^o, de pag. 391 até 397.

se ache no plano vertical, que passa pelo eixo do cylindro, e receba-se sôbre a lamina $rr'r''r'''$ a luz do Ceo. O olho situado em \odot verá huma imagem unica do orificio do diaphragma, achar-se-ha que esta imagem he dada por hum raio refractado ordinariamente no cristal.

Fazendo girar o tambor, o angulo formado pelo plano da secção principal do cristal, com o plano de reflexão, hi-rá augmentando successivamente, e originar-se-ha huma imagem extraordinaria do orificio, a qual crescerá em intensidade até tocar o seu maximo, quando houvermos completado o giro de 90° ; e nesta posição a imagem ordinaria terá desaparecido. Continuando o mesmo movimento, tornará a apparecer a imagem ordinaria, que crescerá em intensidade até 180° , no qual ponto terá a maxima viveza, e a extraordinaria será invisivel. A partir de 180° até 270° , crescerá em brilho a imagem extraordinaria, e a ordinaria será nulla naquelle limite: finalmente de 270° até á posição primitiva, avivar-se-ha a imagem ordinaria, e pelo contrario a extraordinaria desvanecer-se-ha gradualmente até ser nulla naquella posição.

308. Isto nos mostra, que a luz reflectida especularmente pela superficie de huma lamina de vidro sob a incidencia de $35^\circ 25'$, se comporta da mesma maneira, que a luz que experimentou a refração ordinaria através de hum cristal, isto he, acha-se polarisada no plano de reflexão.

309. Sob a incidencia de $35^\circ 25'$, a polarisação do raio reflexo pela lamina de vidro he completa; porém não he só debaixo desta incidencia, que ha luz polarisada. Qualquer que seja o angulo de incidencia, o raio reflexo achar-se-ha polarisado em parte no plano de reflexão, e a porção de luz polarisada he tanto mais consideravel, quanto mais nos aproximarmos da incidencia de $35^\circ 25'$, em que o vidro produz a polarisação completa.

Com effeito, se repetirmos as experiencias antecedentes, inclinando o eixo do cylindro OO' sôbre a lamina $rr'r''r'''$ de hum angulo pouco differente de $35^\circ 25'$, haverá duas imagens, huma ordinaria, outra extraordinaria, em todas as posições do cristal; mas huma das imagens terá huma intensidade incomparavelmente maior, que a da outra, nos limites, em que, no caso da polarisação completa, se vê huma só imagem; isto he, quando a secção principal do cristal, e o plano de reflexão, são parallellos, ou perpendiculares.

310. A faculdade de polarisar a luz pela reflexão, não pertence exclusivamente ao vidro; porém a todas as superficies especulares de quaesquer substancias. As laminas das diferentes materias diafnas, como *v. g.*, do alambre, do diamante, &c. gozaõ desta mesma propriedade. Estas superficies polarisaõ a luz pela reflexão, do mesmo modo, que o vidro, e a unica differença de substancia a substancia, consiste no valór do angulo de incidencia, em que tem lugar para cada huma dellas a polarisação completa, ou mais rigorosamente o maximo de polarisação (*).

311. Poucas observações bastaõ para indicar, que este angulo, que produz o maximo de polarisação, he differente nas diferentes substancias, e menor naquellas, que possuem huma acção refringente mais consideravel; mas para descobrir se existe huma lei rigorosa, ou aproximada, que ligue o valór destes angulos com a acção refringente, he indispensavel determinar o angulo de polarisação total para as diversas substancias, cuja razaõ de refração já sabemos determinar.

312. Para determinar o angulo de polarisação total nas substancias sólidas, Arago servio-se do processo seguinte.

Pouco mais ou menos no meio de huma sala assás vasta, situa-se hum circulo repetidor horisontal, e dirigindo o oculo do instrumento nos differentes azimuthes, marcaõ-se nas paredes linhas verticaes, que, vistas do centro adoptado, limitaõ intervalos de hum grão, ou de menos.

Isto feito retira-se o circulo, e situa-se no seu lugar hum pé susceptivel de girar horisontalmente, e fixa-se neste pé com huma pouca de cera branda a lamina, cujo angulo de polarisação total se pertende determinar. Colloca-se então huma véla acesa em huma das divisões verticaes da sala, e varia-se a posição da substancia, até que a imagem reflexa da véla se ache no mesmo plano horisontal da imagem directa, próva evidente, de que a superficie da substancia, em que a reflexão tem lugar, se acha em hum plano vertical. Conseguida esta posição observa-se o raio reflexo através de

(*) Existem substancias, como *v. g.*, o diamante, para as quaes se não acha angulo de polarisação completa, e nestas, limitamo-nos a determinar o angulo de maxima polarisação.

hum prisma de spatho de Islandia, e faz-se girar horizontalmente a superficie reflectidora, até que o raio reflexo se mostre polarisado completamente, e tirando então o prisma observar-se-ha, a que divisaõ vertical do muro se dirige o raio reflexo. Contando as divisões desde aquella, em que a véla se acha situada até áquella, a que o raio reflexo se dirige, teremos o valôr do angulo formado pelo raio directo, e o raio reflexo, e a metade do supplemento deste angulo será o angulo formado pelo raio incidente com a superficie, de que se trata, no caso do maximo de polarisação.

313. He claro, que este methodo não pôde ser applicado aos liquidos, porém a determinação do angulo, que em semelhantes substancias produz a polarisação completa, faz-se commodamente por meio do aparelho seguinte devido, ao Professor Biot.

Compõe-se este aparelho de huma regoa de ferro AB fixada horizontalmente entre dois apoios sólidos, e dividida em partes de grandeza conhecida: nesta regoa, e dirigida verticalmente sôbre ella, gira outra regoa de ferro CD dividida como a primeira, e que pôde fixar-se em qualquer divisaõ C da primeira regoa por meio do cursor C , armado de hum nonio, e do parafuso de pressaõ p . Nesta segunda regoa gira hum cursor, sustentando hum disco circular V , com hum pequeno orificio no seu centro, e por traz do qual se põe huma véla acesa para produzir hum raio de luz, passando pelo orificio em V . Outro cursor G , móvel ao longo da regoa AB , sustenta a taça F , em que se lança o liquido, cujo angulo de polarisação completa se pertende determinar, e que deve ser assás largo, para que a superficie do liquido, na região central do vaso, seja sensivelmente plana. Então hum raio partido de V , como VF , reflectindo-se em F na superficie do liquido reflectir-se-ha para o olho O , e se este raio se fizer atravessar hum prisma P , dotado da refração dupla, e disposto convenientemente, poderá, fazendo avançar mais, ou menos o vaso F ao longo da regoa AB , obter-se hum raio reflexo completamente polarisado, e obtido este ponto, fixar-se-ha alí o cursor G , que sustenta o vaso. Ler-se-ha então sôbre a escala horizontal o valôr da distancia GC , ou FC' , e na regoa vertical ler-se-ha a altura CV , da qual tirando a altura FG , o resto será a distancia $C'V$.

Feitas por tanto estas determinações, teremos no triangu-

Fig. 74.³

lo $V'CF$ rectangulo em C' os lados FC' , e $C'V'$ adjacentes ao angulo recto conhecidos, e calcularemos por tanto o angulo de polarisação completa F , pela fórmula

$$\text{Tang. } F = \frac{C'V'}{FC'}$$

Estes, ou outros quaesquer methodos, que para o mesmo fim se podem imaginar, servem para determinar o angulo de incidencia, em que as diversas substancias determinão o maximo de polarisação.

314. Comparando entre si os resultados da experiencia, Brewster, physico inglez, foi o primeiro, que achou huma lei aproximada, que representa os phenomenos, senão com hum rigor absoluto, ao menos com huma grande aproximação.

Se representarmos por n' a razão de refracção para a substancia, cujo angulo de polarisação completa se procura, por n a razão de refracção para o meio, que a circunda, e por ϕ o angulo procurado, teremos em geral

$$\text{tang. } \phi = \frac{n'}{n}, \text{ ou o que he o mesmo,}$$

$$\frac{\text{Sen } \phi}{\text{Cos } \phi} = \frac{n'}{n},$$

donde se tira

$$\text{Cos } \phi = \frac{n}{n'} \text{ Sen } \phi.$$

Porém quando a luz penetra do meio, cuja razão de refracção he n , na substancia, cuja razão de refracção he n' temos pela lei da refracção, representando o angulo de refracção por ϕ' , e o de incidencia sendo ainda ϕ

$$\text{Sen } \phi' = \frac{n}{n'} \text{ Sen } \phi,$$

logo

$$\text{Cos } \phi = \text{Sen } \phi';$$

e por tanto ϕ complemento de ϕ' , quer dizer

$$\phi + \phi' = 90^\circ \text{ (a).}$$

Fig. 75.^a Seja pois AB a superficie reflectidora, SI o raio inci-

dente; IS' o raio reflexo, e IR o raio refracto; finalmente seja NN' a normal á superficie no ponto de incidencia; teremos $NIS' = \varphi$, e $N'IR = \varphi'$, e por tanto será

$$NIS' + N'IR = 90^\circ, \text{ logo } S'IR = 90^\circ.$$

He pois $S'I$ perpendicular a IR . Debaixo desta fórma Geometrica, fórma tão simples, quanto elegante, he que o physico inglez Brewster appresentou a sua lei, enunciando-a da maneira seguinte.

Em qualquer superficie reflectidora a maxima polarisação do raio reflexo tem lugar, quando este raio, e o raio refracto são entre si perpendiculares.

O mappa seguinte nos mostra, até que ponto os resultados calculados, segunda esta lei, concordão com a observação.

Nomes das Substancias	Angulos de maxima polarisação		
	Observados	Calculados	Differenças
Agoa - - - - -	36.º 58'	36.º 49'	+ 00.º 09'
Azeite de peixe - - -	34. 30	34. 29	+ 00. 01
Alambre - - - - -	33. 25	32. 44	+ 00. 41
Sulfato de Barita - - -	32. 06	31. 19	+ 00. 47
Topazio - - - - -	31. 00	31. 11	- 00. 11
Enxofre nativo - - -	29. 46	26. 15	+ 03. 31
Diamante - - - - -	22. 54	22. 18	+ 00. 36

Ação das superficies reflectidoras sobre os raios de luz polarizada.

315. Além do conhecimento da propriedade das superficies especulares, em virtude da qual estas superficies polarisação completamente a luz, que reflectem sob certas, e determinadas incidencias; devemos a Malus o conhecimento da acção, que exercem aquellas superficies sobre os raios polarizados, segundo as faces, que estes raios lhes appresentão, quando sobre ellas incidem.

316. Se hum raio de luz SI incide sobre a superficie AB de huma lamina de vidro, formando o angulo $SIA = 35^\circ$ Fig. 76.^a

$25'$, o raio reflexo II' fará o angulo $I'IB$, tambem igual a $35^\circ 25'$, e o referido raio se achará completamente polarizado no plano de reflexão $I'IB$; he pois claro, segundo o que fica exposto, que todas as moléculas luminosas, que compõem o raio II' , tem os seus eixos de polarisação ordinaria, no plano de reflexão; e pelo contrario os eixos de polarisação extraordinaria, perpendiculares áquelle plano: e segundo o nosso modo de considerar o raio, como hum prisma quadrangular mui delgado, o raio II' terá nas suas faces inferior, e superior os pólos de refração ordinaria das moléculas, que o compõe; e nas faces direita, e esquerda, os pólos de refração extraordinaria das referidas moléculas.

317. Se agora appresentamos ao raio II' huma segunda lamina de vidro $A'B'$ em tal posição, que tenhamos $I'I'A' = 35^\circ 25'$, notaremos os seguintes phenomenos.

1.^o Se a posição da segunda lamina de vidro fôr tal, relativamente á da primeira, que ambas sejaõ perpendiculares ao plano dos raios incidente, e reflexo, o raio II' reflectirse-ha em grande quantidade, formando o angulo $I'I'B' = 35^\circ 25'$: logo haverá duas posições de maxima reflexão, distantes 180° huma da outra.

2.^o Se o plano normal á segunda superficie, e contendo sempre o raio incidente II' fôr perpendicular ao plano de reflexão na primeira superficie, não haverá luz alguma reflectida pela segunda superficie; mas o raio II' será transmittido em totalidade. Logo haverá duas posições de reflexão nullo, distantes tambem 180° huma da outra.

3.^o Quando partindo da posição 1.^a fazemos girar a superficie da segunda lamina para ganhar a posição 2.^a, a imagem reflexa diminue gradualmente de intensidade, á medida que o angulo de rotação augmenta, até se desvanecer completamente na rotação igual a 90° . Continuando o movimento, a imagem renasce, e cresce em intensidade até 180° , onde tem o segundo maximo, decresce depois desde 180° até 270° , onde pela segunda vez se anniquila, e cresce no ultimo quadrante até á posição do maximo primitiva.

318. Para repetirmos commodamente esta observação de Malus, não temos mais, que tirar do instrumento descripto no (§ 306. Fig. 73) o tambor H , que contém o prisma de refração dupla, e em lugar d'elle, substituir o tambor H'

Fig. 77.^a (fig. 77). De dois pontos oppostos da circumferencia deste

tambor, partem as duas hastas de metal x , e x' , que sustentão a lamina de vidro L ; cuja face exterior he denegrida, e que gira no eixo yy' , podendo fixar-se, com hum parafuso de pressão, n'humã qualquer inclinação, a respeito do eixo do oculo, inclinação medida no mostrador graduado zz , situado de hum dos lados perpendicularmente ao eixo yy' .

Colloca-se o aparelho de maneira, que a luz do Ceo, ou melhor, a luz branca das nuvens, incida sôbre a primeira lamina de vidro horizontal $rr'r''r'''$; dá-se ao cylindro a inclinação de $35^{\circ} 25'$ sôbre a referida lamina, e inclina-se a segunda hum numero igual de grãos, e minutos sôbre o eixo do cylindro, e fazendo girar o tambor H , as rotações vão sendo indicadas sôbre o mostrador M , e o phenomeno da desappariação, reappariação, enfraquecimento, e augmento de brilho da imagem reflectida sôbre a lamina L , se observa exactamente, qual o havemos descripto.

319. Se em vez das incidencias de $35^{\circ} 25'$, em que observámos o phenomeno completo, dermos a qualquer dos espelhos, ou a ambos elles, outras inclinações relativamente ao raio de luz; jámais obteremos a desappariação completa da reflexão no segundo espelho; porém em vez della, apresentar-se-ha sómente hum minimo de claridade na imagem.

Se finalmente ás laminas de vidro se substituirem laminas de outras substancias, os phenomenos passar-se-hão da mesma maneira, com a unica differença do valor particular do angulo, em que cada huma dellas produz, segundo a sua natureza, a polarisação total, e o phenomeno completo, que a caracteriza.

320. Quando em vez de polarisarmos o raio de luz pela reflexão sôbre huma primeira superficie especular, o polarisamos, fazendo-o atravessar hum prisma dotado da retracção dupla no plano da sua secção principal, obteremos rigorosamente os mesmos phenomenos, relativamente á segunda lamina especular.

321. Com effeito se, como fez Malus, situarmos verticalmente o plano da secção principal de hum cristal de spatho de Islandia, e fizermos sôbre elle incidir hum raio de luz, situado no mesmo plano, o qual ao atravessar o cristal se dividirá em hum raio ordinario polarisado, como sabemos, no plano da secção principal, e outro extraordinario, polarisado no plano perpendicular áquelle, e apresentarmos

nos raios emergentes hum lamina de vidro, formando com cada hum delles hum angulo de 35° (25°), e em tal posiçãõ, que o plano de incidencia seja paralelo ao plano da secçãõ principal do cristal; o raio ordinario darã hum maximo de reflexãõ, e o raio extraordinario penetrarã em totalidade na lamina. Se fazendo girar a lamina em tórno dos raios, trouxermos o plano de incidencia a ser perpendicular ao plano da secçãõ principal, o raio extraordinario darã hum maximo de reflexãõ, e o ordinario penetrarã na lamina completamente.

322. Esta experiencia nos mostra evidentemente, que a acçãõ da segunda lamina, sôbre o raio polarisado, he perfeitamente independente do meio, pelo qual se produz a polarisaçãõ; ou, o que he o mesmo, que hum raio, completamente polarisado pela reflexãõ, está rigorosamente nas mesmas circunstancias de hum raio ordinario, polarisado pela passagem atrãves de hum cristal dotado da refracçãõ dupla, e no plano da sua secçãõ principal.

323. Além da refracçãõ dupla, e da reflexãõ, as quaes, segundo fica provado, sãõ meios de polarisar a luz, a refracçãõ atrãves dos cõrpos nãõ cristalisados, tem tambem aquella propriedade; e em quanto o raio, reflectido sob a incidencia conveniente, se acha polarisado no plano perpendicular àquelle. Esta descoberta foi feita simultaneamente por Malus, e Biot; porẽm ao primeiro destes physicos, sãõmos devedores da investigaçãõ das leis, a que o phenomeno obedece.

324. Para produzir a polarisaçãõ completa da luz refractada, nãõ basta huma lamina unica; mas sãõ precisas mais, ou menos laminas, conforme a natureza destas, e a intensidade do raio incidente.

Para fim de verificarmos este phenomeno, nãõ teremos mais, que formar huma pilha de laminas de vidro perfeitamente paralellas, e separadas por intervalos de ar, receber obliquamente sôbre a primeira lamina hum raio de luz, e analisar com hum cristal de spatho de Islandia, a luz emergente. Quando o plano da secçãõ principal do cristal fôr paralelo ao plano de emergencia, o raio nãõ se subdivirá no cristal; mas refractar-se-ha todo extraordinariamente. Na posiçãõ perpendicular a esta, isto he, quando os planos da secçãõ

principal, e da emergência fizerem entre si hum angulo de 90° , não haverá tao pouco subdivisão do raio no cristal; mas a refração será toda ordinaria: finalmente em as posições intermedias, o raio subdividir-se-ha em dois, hum ordinario, outro extraordinario, de intensidades diversas. Todos estes caracteres pertencem evidentemente a hum raio de luz polarizado no plano perpendicular ao da emergência.

325. Estes phenomenos não tem lugar sómente em huma determinada incidencia; mas começaõ, logo que esta se afasta da perpendicular, crescendo sempre até a hum limite, em que são completos, e passado o qual o effeito permanece, á medida, que o raio incidente, se aproxima do parallelismo á superficie das laminas.

326. Dissemos, que o numero de laminas, que produzem a polarisação completa do raio refracto, depende da intensidade da luz incidente, e da natureza das laminas. Em apoio desta asserção, citaremos huma observação do professor Biot, em que este physico nos diz, que dez laminas de vidro polarisação completamente a luz do sol proximo a pôr-se; e que duas laminas de ouro batido, bastaõ para produzir o mesmo effeito sobre a luz do sol em todas as alturas.

Leis principaes da polarisação completa.

327. Reflectindo sobre os phenomenos descriptos nos §§ 287, e 288, vê-se, que o raio de luz incidente se divide na passagem pelo primeiro cristal em dois raios, hum ordinario, que designaremos por R_0 , e outro extraordinario, que designaremos por R_e .

Quando as secções principaes dos dois cristas sobrepostos formão entre si hum angulo qualquer ϕ , os raios R_0 , e R_e dividem-se cada hum em dois no segundo cristal, dos quaes dois, hum he refractado ordinariamente, e outro extraordinariamente. Teremos pois em geral quatro raios emergentes, a saber: hum raio ordinario, outro extraordinario, provindos de R_0 , e hum raio ordinario, outro extraordinario, provindos de R_e . Designemos estes raios da maneira seguinte.

Incide no 1.^o Sabem do 1.^o Cristal ; Sabem do 2.^o Cristal.
 e penetraõ no 2.^o

Hum raio in- cidente R	{	Raio ordinario . . . R_o	{	Raio ordinario . . . R_{oo}
		Raio extraordinario R_e		{ Raio extraordinario R_{oe}
				{ Raio ordinario . . . R_{eo}
				{ Raio extraordinario R_{ee}

Este quadro nos indica a marcha da luz para hum angulo qualquer ϕ entre as secções principaes dos dois cristaes.

28. Porém os phenomenos descriptos nos referidos §§ 287, e 288. mostraõ, que a intensidade dos quatro raios definitivos, depende do valôr do angulo ϕ , que as secções principaes fôrmaõ entre si, procuremos por tanto a lei desta dependencia.

1.^o Quando $\phi = 0$, e quando $\phi = 180^\circ$, os raios R_{oe} , e R_{eo} desaparecem, e toda a luz passa para os raios R_{oo} , e R_{ee} : com effeito, os raios emergentes do primeiro cristal não se dividem no segundo, e o raio, que no primeiro se refracta ordinariamente, refracta-se ordinariamente no segundo, e bem assim, o raio, que se refracta extraordinariamente no primeiro cristal, obedece no segundo á refracção extraordinaria.

2.^o Quando $\phi = 90^\circ$, e quando $\phi = 270^\circ$, desaparecem, pelo contrario os raios R_{oo} , e R_{ee} , e toda a luz passa para os raios R_{oe} , e R_{eo} ; por quanto nestas duas posições os raios emergentes do primeiro cristal não se dividem no segundo; mas o raio ordinario do primeiro cristal, refracta-se no segundo extraordinariamente, e o raio, que no primeiro cristal obedece á refracção extraordinaria, refracta-se ordinariamente no segundo.

3.^o Quando ϕ passa gradualmente 0° a 90° os raios R_{oe} , e R_{eo} reforçam-se gradualmente, á custa dos raios R_{oo} , e R_{ee} ; o mesmo acontece na passagem de $\phi = 180^\circ$, para $\phi = 270^\circ$; nas passagens porém de $\phi = 90^\circ$, para $\phi = 180^\circ$, e de $\phi = 270^\circ$, para $\phi = 0$, são os raios R_{oo} , e R_{ee} , que se reforçam á custa dos raios R_{oe} , e R_{eo} .

29. Desta analyse se vê, que os raios R_{oo} , e R_{ee} dependem da mesma maneira do angulo ϕ ; quer dizer, que a huma mesma variação de ϕ , correspondem variações iguaes naquelles dois raios. O mesmo acontece aos dois raios R_{oe}

e R_{eo} , cujas variações são também as mesmas para huma mesma variação de φ .

Isto posto, satisfaremos a todas as apparencias observadas, fazendo - - - - -

$$(a) \quad \left\{ \begin{array}{l} R_{oo} = R_o \cdot \text{Cos}^2 \varphi \\ R_{oe} = R_o \cdot \text{Sen}^2 \varphi \\ R_{ee} = R_e \cdot \text{Cos}^2 \varphi \\ R_{eo} = R_e \cdot \text{Sen}^2 \varphi \end{array} \right.$$

E com effeito se nestas expressões fizermos successivamente $\varphi = 0$, $\varphi = 90^\circ$, $\varphi = 180^\circ$, $\varphi = 270^\circ$ teremos exactamente a expressão dos phenomenos observados.

330. Quando a luz incide perpendicularmente sobre hum cristal dotado da refração dupla; he facil notar, que a luz se divide sensivelmente em quantidades iguaes entre os dois raios ordinario, e extraordinario.

Se pois, nesta incidencia, representarmos por $2L$ a totalidade da luz, que incide no primeiro cristal, teremos -

$$R_o = L, \text{ e } R_e = L,$$

e as expressões (a) tomaraõ a forma seguinte:

$$(b) \quad \left\{ \begin{array}{l} R_{oo} = L \cdot \text{Cos}^2 \varphi \\ R_{oe} = L \cdot \text{Sen}^2 \varphi \\ R_{ee} = L \cdot \text{Cos}^2 \varphi \\ R_{eo} = L \cdot \text{Sen}^2 \varphi \end{array} \right.$$

331. He evidente, que estas expressões não são as unicæ, que satisfazem aos phenomenos; mas unicamente as mais simples, que para este fim pôdem adoptar-se. Por outra parte he claro, que esta lei he unicamente deduzida dos phenomenos, que tem lugar, quando $\varphi = 0^\circ$, $\varphi = 90^\circ$, $\varphi = 180^\circ$, e $\varphi = 270^\circ$, e que para deduzir a lei rigorosa do phenomeno em todos os seus periodos, seria necessario determinar nos diversos valõres de φ intermedios aos precedentes a intencidade relativa dos dois raios. Esta medida offerece porém taes difficuldades, que até agora não tem sido practicaada, e em tal caso adoptaremos a lei acima exposta, por ser a mais simples, e representar perfeitamente o phenomeno no grão, a que o seu exame tem sido levado.

332. Devemos notar, além disto, que na deducção das expressões acima suppozemos, que se não separava luz algu-

ma pela reflexão nas superfícies dos cristaes; para attender porém a esta reflexão basta evidentemente, que o coeficiente constante L se diminua de toda a quantidade de luz, que se reflecte, nas superfícies dos cristaes.

Suppondo pois, que $2L$ represente a luz incidente, $2L' < 2L$ a totalidade da luz, que escapando ás duas reflexões sahe do primeiro cristal, e incide no segundo, e $2L'' < 2L'$ a totalidade da luz, que escapando a todas as reflexões constitue os ultimos raios emergentes, a marcha da luz nos dois cristaes sobrepostos, na incidencia perpendicular será representada da maneira seguinte.

<i>Luz incidente</i>	<i>Luz emergente do 1.^o Cristal, e incidente no 2.^o</i>	<i>Luz emergente do 2.^o Cristal.</i>
$(c) \dots R = 2L$	$\left\{ \begin{array}{l} \dots R_o = L' \dots \\ \dots R_e = L' \dots \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} R_{oo} = L'' \cdot \text{Cos}^2 \phi \\ R_{oe} = L'' \cdot \text{Sen}^2 \phi \\ R_{ee} = L'' \cdot \text{Cos}^2 \phi \\ R_{eo} = L'' \cdot \text{Sen}^2 \phi \end{array} \right.$

Malus deduzio similhantemente as leis da marcha da luz em outras incidencias; estas leis são porém nimamente complicadas para as inserirmos nestes elementos, e podem vêr-se nas obras do mesmo Malus.

333. Se, como fica dito §§ 320, e 321, em vez do segundo cristal recebermos a luz sobre humã lamina transparente, na inclinação conveniente, a lei exposta representará ainda os phenomenos observados. Deveremos porém entender por ϕ o angulo, formado pela secção principal do primeiro cristal, com o plano de incidencia do raio sobre a lamina; por R_{oo} a parte do raio ordinario reflectida pela lamina, e por R_{oe} a parte transmittida. Do mesmo modo R_{ee} representará a parte do raio extraordinario transmittida, e R_{eo} a parte do dito raio reflectida pela lamina. Com effeito, fazendo $\phi = 0$, e $\phi = 180^\circ$, teremos - - - - -

$$R_{oo} = L'' \text{ ,, } R_{oe} = 0 \text{ ,, } R_{ee} = L'' \text{ ,, } R_{eo} = 0.$$

Quer dizer, que o raio ordinario terá nesta hypothese hum maximo de reflexão, e o extraordinario hum minimo.

Fazendo $\phi = 90^\circ$, e $\phi = 270^\circ$, teremos - - - - -

$$R_{oo} = 0, R_{oe} = L'', R_{ee} = 0, R_{eo} = L'',$$

isto he, maxima transmissão para o raio ordinario, e maxima reflexão para o raio extraordinario.

334. Finalmente os phenomenos descriptos, § 317, são tambem hum caso particular da mesma lei; por quanto, equivalendo o raio polarisado pela reflexão ao raio refracto ordinariamente por hum cristal, os phenomenos se achão comprehendidos nos dois valôres - - - - -

$$\begin{cases} R_{oo} = L. \text{Cos}^2 \phi \\ R_{oe} = L. \text{Sen}^2 \phi \end{cases}$$

tendo R_{oo} , e R_{oe} as ultimas significações, e designando ϕ o angulo formado pelos planos de incidencia da luz nas duas laminas. Com effeito, $\phi = 0$, e $\phi = 180^\circ$ reduzem estas expressões a - - - - -

$$R_{oo} = L, \text{ e } R_{oe} = 0;$$

isto he, maxima reflexão, quando os planos são parallellos. Do mesmo modo $\phi = 90^\circ$, e $\phi = 270^\circ$, daõ - - - - -

$$R_{oo} = 0, \text{ e } R_{oe} = L;$$

isto he, maxima transmissão, quando os planos são perpendiculares.

Phenomenos de polarisação, em que a luz se divide em raios etherogeneos.

335. Em todas as experiencias antecedentes os raios de luz na sua subdivisão conservaõ sempre a composição primitiva da luz incidente, e as imagens, differentes em viveza, segunda as posições reciprocas dos planos de refração, e de reflexão, conservaõ sempre por conseguinte a côr branca da luz inteira. Devemos a Arago a primeira observação dos phenomenos de polarisação, nos quaes as imagens se apresentão ornadas de côres diversas.

336. Tome-se o apparelho descripto (306), e incline-se Fig. 18.^a o eixo do cylindro OO' 35° $25'$ sobre a superficie especular $r'r''r'''$. Fazendo girar o tambôr H situemos a secção prin-

cipal do cristal de spatho de Islandia, contido no dito tambôr, no plano de reflexão da luz na superfície $rr'r''r'''$; nesta posição observaremos huma unica imagem branca do orificio do canudo. Retire-se agora o tambôr, e entre o prisma de spatho de Islandia, e o diafragma interior do cylindro interponha-se, perpendicularmente ao eixo do cylindro OO' , huma lamina de sulfato de cal cristalisado, ou de mica, sufficientemente delgada, e collocando novamente o tambôr H na posição antecedente, observaremos, em vez de huma unica imagem branca, duas imagens, tintas de côres complementares huma da outra; assim por exemplo, se huma das imagens appresenta a côr purpurea, a outra appresentará huma côr verde, complementar daquella; se huma das imagens se mostrar ornada de huma côr azul escura, a outra appresentará hum amarello alaranjado, &c.

337. He pois evidente, que a lamina delgada de sulfato de cal, ou de mica, obra diversamente sôbre os raios heterogeneos, que constituem a luz inteira, e em quanto deixa a huma parte delles a polarisação primitiva, polarisa diversamente os mais, os quaes desviados daquelles, vão formar a côr, que orna a segunda imagem.

338. Fazendo girar o tambôr H , e com elle o plano da secção principal do cristal, as duas imagens passam por huma serie de côres diferentes cada vez mais fracas; mas sempre complementares huma da outra, e isto até huma rotação de 45° , no qual caso as imagens são ambas brancas. Continuando a rotação de 45° até 90° , as imagens reganhaõ successivamente as côres, porque passaraõ desde 0° até 45° , até que, na posição 90° distante da primeira, apparecem outra vez nas imagens as côres primitivas.

Representando por ϕ o angulo formado pelo plano da secção principal do cristal contido em H , com o plano de reflexão da luz em $rr'r''r'''$, as apparencias no decurso da rotação, seraõ as seguintes.

$\phi = 0$ - - - Maximo de coloração das imagens, tintas complementares.

$\phi = 45^\circ$ - - - Minimo de coloração, imagens brancas.

$\phi = 90^\circ$ - - - Maximo de coloração, tintas complementares.

$\phi = 135^\circ$ - - - Minimo de coloração, imagens brancas.

- $\phi = 180^\circ$ - - Maximo de coloração, tintas complementares;
 $\phi = 225^\circ$ - - Minimo de coloração, imagens brancas.
 $\phi = 270^\circ$ - - Maximo de coloração, tintas complementares.
 $\phi = 315^\circ$ - - Minimo de coloração, imagens brancas.

339. O phenomeno, que acabamos de descrever, he completo; quer dizer, as côres das imagens nos pontos do maximo tocao a maior viveza, a que podem attingir, quando o raio, que atravessa a lamina, tem sobre a superficie specular $r r' r'' r'''$, a inclinação correspondente á polarisação completa $35^\circ 25'$; porém com qualquer outra inclinação, o phenomeno começará a manifestar-se; a viveza das côres será porém tanto maior, quanto mais nos aproximarmos daquella incidencia.

340. Para que as laminas entrepóstas comecem a produzir os phenomenos indicados, he necessario, que tenhaõ hum certo gráo de tenuidade, dependente da sua natureza. Quando as laminas excedem hum certo limite de espessura, o phenomeno de coloração não tem ainda lugar; e cessa do mesmo modo de produzir-se, quando as laminas excedem hum certo gráo de tenuidade. Entre estes limites, as diferentes espessuras das laminas fazem passar as imagens por todas as tintas dos anéis córados.

Biot achou, que as laminas de sulfato de cal cristallizado, comecão a produzir a coloração, quando a sua espessura não excede $0^m,00045$; e Arago obteve a coloração, empregando huma lamina de cristal de rocha, cuja espessura excedia $0^m,006$, espessura incomparavelmente maior, que a precedente.

341. Como he extremamente difficil obter huma lamina rigorosamente da mesma espessura em toda a sua extensão, as imagens apparecem as mais das vezes tintas de côres diversas nas suas diversas partes; mas cada huma das côres, que se observa em huma das imagens, tem a sua complementar na parte correspondente da outra. Neste caso devemos nas experiencias considerar sómente huma tinta, determinada com a sua complementar; e será nas partes das imagens illuminadas com estas tintas, que os phenomenos se manifestarão da maneira predicta. Póde simplificar-se a observação co-

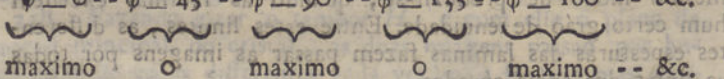
brindo a lamina com hum diafragma, aberto sómente diante de huma tinta uniforme.

342. Se na extremidade inferior do tubo OO' do aparelho, que temos empregado, situarmos hum tambor, semelhante a H ; mas contendo huma lamina assás tenue de sulfato de cal, de mica, &c. e na extremidade superior situarmos a segunda lamina especular, mencionada § 317, inclinada $35^{\circ} 25'$ sôbre o eixo do cylindro: se situarmos esta lamina especular móvel de maneira, que o seu plano de reflexão seja perpendicular ao plano de reflexão sôbre a primeira superficie $rr' r'' r'''$, e se então, fazendo girar a lamina, a trouxermos a huma posição, na qual a côr da imagem appresenta a maxima intensidade, e continuarmos a fazer girar a lamina no mesmo, ou em sentido contrario, observaremos os phenomenos seguintes.

1.º A côr da imagem não mudará em todo o decurso da opperação; mas a intensidade variará continuamente.

2.º Representando por ϕ os angulos de rotação, contados do maximo, as intensidades variaão segundo a lei seguinte.

$\phi = 0^{\circ} \text{ -- } \phi = 45^{\circ} \text{ -- } \phi = 90^{\circ} \text{ -- } \phi = 135^{\circ} \text{ -- } \phi = 180^{\circ} \text{ -- } \&c.$



maximo o maximo o maximo -- &c.

343. Se tendo fixado a lamina delgada no primeiro maximo, fizermos girar a segunda superficie especular em tórno do raio, veremos a imagem daquella côr enfraquecer-se até hum giro de 45° , em que se anniquila. Continuando o giro, nasce a imagem de côr complementar daquella, e attinge o seu maximo a 45° da sua origem, e assim por diante. Se por ϕ designarmos os angulos de rotação do espelho, contados do ponto de partida, por C a côr da imagem, que naquelle ponto tem o seu maximo de viveza, e por C' a côr complementar daquella; as apparencias observadas, seraão as seguintes.

$\phi = 0^{\circ} \text{ -- } \text{Maximo de } C.$

$\phi = 45^{\circ} \text{ -- } \text{Zero de } C, \text{ origem de } C'$

$\phi = 90^{\circ} \text{ -- } \text{Maximo de } C'.$

$\varphi = 135$ - - - Zero de C' , origem de C .

$\varphi = 180$ - - - Maximo de C .

$\varphi = 225$ - - - Zero de C , origem de C' .

$\varphi = 270$ - - - Maximo de C' .

$\varphi = 315$ - - - Zero de C' , origem de C .

344. Se em vez de tomarmos por ponto de partida o maximo de viveza de huma côr, tomassemos huma posição da lamina, em que ella dêsse huma côr mais fraca, o phenomeno passar-se-hia da mesma maneira; com a unica differença, de ser menor a intensidade de côr nos maximos.

345. Variando as substancias empregadas nas experiencias desta especie, as disposições dos apparatus, e mais circumstancias da observação, os Physicos, dados particularmentê ao estudo da optica, tem recolhido hum numero de factos tão variados, quanto singulares, e interessantes. O Professor Biot, entre outros, fez sôbre este objecto hum grande numero de observações, que o conduzirão a crear huma theoria de taes phenomenos, que denominou theoria da *polarisação movel*.

Segundo aquelle Professor, as molléculas de luz não tomão, immediatamente penetrao nos cristaes, o estado definitivo, ou por melhor dizer, as posições definitivas dos seus eixos, que constituem os phenomenos de polarisação fixa, em que a luz se subdivide sem decompôr-se; mas este estado definitivo só he tomado pelas molléculas, quando tem penetrado até huma certa profundidade nos cristaes: profundidade tanto maior, quanto he menor a força attractiva, ou repulsiva, que as sollicita. Até áquella profundidade, a direcção da polarisação não he fixa, e os eixos das molléculas de luz, á medida, que estas avançaõ no interior do cristal, oscilaõ para hum lado e outro da posição definitiva. A amplitude das oscilações das molléculas luminosas he a mesma para todas ellas; porém a velocidade de oscilação he diversa, sendo maior nas molléculas rôxas, que nas azues, e assim por diante até á ultima gradação vermelha do espectro. Em outros casos, o Professor Biot substitue este movimento vibratorio por huma rotação das molléculas, em tórno dos seus centros de gravidade.

346. Huma parte das leis, que o Professor Biot concluiu

das suas experiencias, e a theoria da *polarisação movel*, emitida por este Professor, foraõ combatidas por Fresnel, Physico e Geometra de abalisado merecimento. Guiado pelo systema das ondulações, que adoptou nos seus trabalhos, Fresnel deo desta especie de phenomenos explicações mui diversas das de Biot, e notou algumas inexactidões nos resultados experimentaes, obtidos por aquelle Professor. Nestas oppiniões foi Fresnel appoiado pelos dois bem conhecidos membros do Instituto de França Ampere, e Arago, e especialmente pelo segundo, como se pôde vêr nos Annaes de Chymica e de Physica, Tom. 17. pag. 225 até 258, e desta pag. até pag. 273.

A natureza elementar deste tractado, os limites de analyse, em que nos propuzermos encerrar-nos, e mais que tudo a insufficiencia dos nossos conhecimentos, comparados com os de taõ habéis Geometras, e taõ exactos observadores, não nos permittem emittir huma oppiniaõ decidida nesta materia. Aquelles leitores, que sôbre ella desejarem mais ampla instrucção, deveraõ consultar os differentes trabalhos daquelles authores, e dos mais que modernamente tenhaõ tratado este ramo particular da sciencia da luz.

Difracção da luz.

347. Se deixando penetrar a luz na camara escura por hum pequeno orificio, se situa no feixe de luz hum côrpo opáco de pequena largura, como por exemplo hum fio de metal, observa-se, que a sombra do fio he mais larga, do que deveria ser, se os raios não fossem desviados da direcção rectilinea ao passarem junto das extremidades do côrpo opáco. Por outra parte, a sombra he terminada exteriormente por hum certo numero de zonas, ou franjas de differentes côres, e na parte interior da sombra existem igualmente franjas alternativamente escuras, e luminosas, diversamente coradas, á maneira das franjas exteriores. Este phenomeno, a que Newton chamou inflexão da luz, he o que hoje designamos pelo termo *difracção da luz*.

348. Para distinguir perfeitamente as franjas produzidas pela difracção, o melhor methodo consiste em receber a sombra do côrpo sôbre hum vidro despolido, por traz do qual se situa o olho, e observar entaõ com a vista simples, ou

ainda melhor, com o auxilio de huma lente convergente, as franjas desenhadas pela luz na superficie do vidro.

347. Este phenomeno não se produz exclusivamente nas circumstancias, que acabamos de ponderar; porém em muitas outras. Se por exemplo deixamos penetrar a luz na camara por hum orificio circular de mais de hum millimetro de diametro, e recebemos a distancia a imagem do orificio sôbre hum quadro branco, a imagem será sensivelmente branca sem franjas apparentes. Se porém a dois, ou tres metros de distancia do orificio da camara escura situamos perpendicularmente ao feixe de raios huma lamina de metal, com hum orificio mui pequeno, e recebemos a luz, que atravessa este orificio sôbre o vidro despolido, como na experiencia antecedente, observaremos os seguintes phenomenos.

1.º A imagem circular do pequeno orificio será circundada por hum certo numero de aneis côrados, concentricos com a imagem central de luz branca.

2.º Aproximando successivamente a lamina de vidro do pequeno orificio, por onde a luz penetra, vem-se os aneis contrair-se mais e mais, como as bases de pyramides cônicas, que tivessem os vertices no orificio.

3.º Em cada hum dos aneis côrados, que constituem a aréola, ou franja da imagem, a ordem das côres he a mesma, que nos aneis côrados reflectidos entre dois vidros esféricos; quer dizer, o rôxo, e azul na parte central, e o alaranjado, e vermelho na parte externa.

350. Se em vez de illuminarmos o orificio com a luz inteira, decompozermos esta por meio de hum prisma, e o illuminarmos com huma luz homogenea, as franjas, ou aneis de diferentes côres desaparesem, e a imagem central he cercada por aneis alternativamente escuros, e alumiados da côr simples, que penetra pelo orificio.

351. Newton, que observou as franjas exteriores, que circundão os côrpos opacos delgados; mas a cuja observação escaparaõ as franjas interiores, attribuiu o phenomeno da diffração, a huma acção da materia própria do côrpo sôbre as molléculas luminosas, acção que na passagem proximo ás arestas dos côrpos desvia as molléculas de luz de marcha rectilinea, e isto com maior, ou menor energia, segundo a natureza das mesmas molléculas. He verdade porém; como mui judiciosamente o notou o Abbade Hany no seu Tractado

elementar de Physica, que aquelle grande Phylosofo parece não considerar como evidentes as conclusões, a que o conduzirão os resultados das suas observações, consignando-as nas suas *Questões sobre a Opica*.

352. Ainda que antes de Newton já Grimaldi houvesse suspeitado, que os phenomenos desta especie podião depender da acção reciproca dos raios de luz na hypothese das ondulações: ainda que Hooke tivesse, pouco mais, ou menos pelo anno de 1665, dado huma explicação completa do phenomeno dos aneis còrados, fundada naquelles principios; a idéa de Newton foi por muito tempo geralmente seguida na explicação dos phenomenos da difracção.

O Doutor Thomás Young, tendo mostrado, que franjas da mesma natureza, das que pela difracção se formão no interiôr das sombras, se produzem quando fazemos penetrar na camara escura dois raios de luz, por orificios pouco distantes, chamou novamente a attenção dos physicos sobre este objecto, e explicou no systema das ondulações esta especie de phenomenos com huma decidida superioridade.

Fresnel, Engenheirò das pontes, e calçadas, observador tão engenhoso, quanto Geometra habil, e profundo, o mesmo, que já citamos tractando da polarisação, apresentou ao Instituto de França, as mais exactas observações, e medidas desta especie de phenomenos: e na mesma memoria produziu as mais sólidas objecções contra a theoria de Newton sobre a difracção, dando ao mesmo tempo huma explicação tão clara, como satisfatoria daquelle phenomeno, na hypothese das ondulações.

Se com effeito a difracção depende de huma acção particular da materia dos corpos sobre os raios de luz, a natureza chymica destes corpos, a energia maior, ou menor do seu poder refringente, deve fazer variar o phenomeno: Fresnel mostra na citada memoria, que tal variação não tem lugar, e isto com as medidas as mais exactas, e rigorosas.

Por outra parte, mostrou o mesmo Fresnel, que a difracção, produzida no gume de huma navalha de barba, he rigorosamente a mesma, que a difracção, produzida nas côstas da navalha; phenomeno este, contrario á doutrina Newtoniana.

Em apoio da influencia reciproca, mostrou v. g. aquelle physico: que interceptando a luz, que rasa hum dos extre-

mos do côrpo; sem com tudo alterar em nada; a que rasa o lado opposto, as franjas interiores desaparecem immediatamente; factó este, que primeiro observára o Doutor Young. Produzio igualmente as franjas, fazendo concorrer dois feixes de raios, provindos de hum me-mo ponto luminoso, e reflectidos por dois espêlhos pouco inclinados hum ao outro.

353. A vista das observações de Young, das de Fresnel, e dos trabalhos de outros muitos Physicos sôbre esta materia, he inegavel: que no estado actual da sciencia; a hypothese da emissão não sustenta o paralelo com a das ondulações, na explicação dos phenomenos da diffracção; porém ao mesmo tempo aquella theoria dá a explicação de muitos phenomenos com huma clareza, e huma simplicidade em muito superior a estoutra; e alguns delles, como v. g. a refração dupla, e hum grande numero dos que pertencem á polarisação, não tem sido até hoje explicados na hypothese das ondulações.

De tudo isto resulta, como dissemos no começo da presente Secção, que no estado, a que optica tem sido levada até hoje, não he ainda possivel decidir definitivamente entre o merecimento destas duas hypotheses. A decisão deve ainda depender dos esforços dos observadores, e da marcha progressiva dos descobrimentos. No entanto, as leis dos phenomenos apresentão-se independentemente de qualquer hypothese; por quanto em huma, como em outra, he sempre a linha recta o elemento das construcções, que nos servem para representar, e calcular a marcha da luz: ou esta recta se considerê como a fiera das molléculas luminosas emittidas, no systema de Newton, ou como occupada pelas rarefacções e condensações alternativas do *Ether*, no systema das ondulações.

Dos olhos, e da visão.

354. Depois de havermos dado huma idéa geral das differentes modificações, que o principio luminoso experimenta pela acção dos meios, em que incide, ou que atravessa: para completarmos os elementos de optica, resta-nos tratar da visão, e começaremos pela descripção do orgão visual.

355. Os olhos humanos são situados em duas cavidades, cercadas de parêdes osseas, que abrigão este orgão do choque

dos corpos exteriores. As parêdes interiores destas cavidades, são guarnecidas de substancias gôdas, e flexiveis, que permitem ao olho girar dentro dellas, sem que os tegumentos, por extremo delicados, que os limitaõ, possaõ ser lezados pelas fricções. São além disto os olhos munidos dos musculos necessarios para os dirigir em todos os sentidos, cõfôrme as urgencias da visãõ. As palpebras, dotadas de huma extrema mobilidade, defendem o olho do contacto dos corpos exteriores, e igualmente da acção da luz; quando re-partiindo a laxidaõ, que o somno derrama no resto dos membros, descem como dois véos para cobrir o olho dorminte. As pestanas, que guarnecem as mesmas palpebras, vedãõ a entrada do olho à poeira, e corpusculos suspensos na atmosphera, os quaes tocando hum orgão taõ sensivel, o irritariaõ cruelmente. As glandulas lacrimaes, por meio da humidade, que continuamente derramaõ sôbre o olho, impedem a sua excicação pelo contacto do ar, e apressaõ-se em lava-lo com lagrimas abundantes, quando hum corpo estranho, introduzido através das palpebras, ameaça a segurança daquelle orgão. Finalmente, por cima da orbita do olho, as sobranceiras formadas de hum pello duro, e cuberto sempre de huma materia gôrda, desviaõ o suor da frente, e o impedem de penetrar no olho, que irritaria.

356. O olho extrahido da cavidade, que o encerra, apresenta huma fôrma sensivelmente esferica, á qual estão unidos os vasos, que o alimentaõ, e os musculos destinados a move-lo. Prescindindo destas partes, os olhos em si mesmos podem considerar-se como formados pela desenvoluçãõ dos nervos opticõs, que partindo do cerebro, depois de se reunirem em hum ponto, se separaõ novamente, e vem penetrar cada hum no fundo da cavidade do olho correspondente, desenvolvendo-se alí ambos os nervos da mesma maneira; e dando lugar á formaçãõ dos dois olhos, em tudo iguaes, e semelhantes na configuraçãõ regular.

357. Distinguem-se ordinariamente no nervo optico duas tunicas, huma exterior, denominada *dura mater*, outra interior, que tem o nome de *pia mater*, e finalmente a parte medular.

Ao penetrar do nervo na cavidade, ou orbita do olho, a *dura mater* pela desenvoluçãõ fôrma o envollucro externo daquelle orgão. Duro, e opaco na parte posterior, este en-

vollucro têm o nome de *cornea opáca*; mas chegado á parte anterior do olho, adelgaça-se, torna-se transparente, e constitue, o que chamâmos a *cornea transparente*.

A pia mater desenvolve-se pela parte interior da dura mater, e applica-se exactamente sôbre a cornea opáca, até se confundir sensivelmente com ella nos limites da cornea transparente. Esta membrana he cuberta por huma especie de tecido de nervos, e vasos embebidos de huma especie de liquido negro, destinado a tornar completamente escuro o interior do olho; sem o que, as reflexões multiplicadas da luz dentro no orgão confundiriaõ a visão. Este tecido chama-se a *choroide*.

No lugar, em que a membrana posterior da pia mater, se confunde com a cornea transparente, a choroide separa-se, e divide-se em duas laminas; das quaes a anterior tem o nome *iris*, e he aberta no seu meio, formando o orificio denominado a *pupilla*, por onde a luz penetra no interior do olho. Esta membrana diversamente córada na superficie exterior, e completamente negra na face interna, he hum verdadeiro diafragma, cuja abertura he variavel; por quanto a lamina, que o constitue, he huma reunião de fibras orbiculares; destinadas a contrahir a abertura da pupilla; e de fibras radiaes, destinadas a dilata-la, conforme convém para a visão receber menos, ou mais luz no interior do olho.

A segunda lamina, a que se dá o nome de *coroa ciliar*, he destinada a sustentar por traz da abertura da pupilla hum côrpo lenticular transparente, e assás solido, denominado *cristalino*.

A parte medular do nervo optico, desenvolvendo-se dentro das precedentes, fórma huma membrana de côr branca cinzenta mui fina, applicada sôbre a choroide, e a que se dá o nome de *retina*: a opiniaõ geral he, que a sensaçãõ se oppéra sôbre esta membrana.

O espaço comprehendido entre a cornea transparente, e o cristalino, he cheio de hum humor limpido, e cujo poder refringente, pouco differe do da agoa, e que se chama *humor aquoso*. O espaço entre o cristalino, e a retina, ou fundo do olho, he cheio de huma gelea transparente, e semelhante ao vidro fundido, e a que se dá o nome de *humor vitreo*.

O humor aquoso, he dos meios contidos no olho, o menos refringente; o cristalino he mais refringente, que o humor aquoso, e mais refringente tambem, que o humor vitreo, cuja refrangibilidade he superior á do primeiro.

Finalmente, a alva do olho he formada por huma membrana mui fina, extremamente adherente á cornea, e a que se chama *membrana albuginea*: esta membrana he cuberta por outra, que se chama *conjunctiva*, a qual, dobrando nas bordas da orbita, reveste o interior das palpebras, e não he mais, que a pelle exterior convenientemente adelgada.

358. Esta descripção do orgão da visão, imperfeitissima para hum anatomico, e para hum physiologico, ser-nos-ha sufficiente para concebermos a marcha da luz no interior do olho, e quanto possivel, o mechanismo da visão.

Fig. 78.^a

Seja AAA o fundo do olho, c o cristalino, pp a abertura da pupilla, e RRR' hum objecto qualquer, que por maior simplicidade supporemos ser huma recta vertical. Cada ponto desta recta enviará em todos os sentidos raios divergentes de luz, e por consequente, cada ponto será o vertice de huma pyramide cónica, tendo por base a cornea transparente. Estes raios, que constituem a pyramide, refractanda-se no humor aquoso, diminuirão em divergencia, e sendo a maior parte delles interceptados pelo iris, penetrará pela abertura da pupilla hum feixe de raios, quasi parallelos ao eixo do mesmo feixe, ou pincel de raios.

Consideremos em primeiro lugar o ponto M do objecto, situado no prolongamento da normal á cornea no centro do olho. Este ponto introduzirá no interior do olho hum pincel de raios de luz, cuja base será a abertura pp da pupilla, e o eixo deste pincel de raios, penetrando perpendicularmente os diversos meios refringentes, de que o olho he formado, não será alterado na sua direcção pela acção destes meios. Huma similhante direcção he o que chamamos o eixo optico do olho. Os raios hum pouco divergentes, que compõe o pincel, refractar-se-hão, na primeira superficie do cristalino, o que diminuirá ainda a sua divergencia, e como estes raios ao emergir do cristalino, para penetrarem no humor vitreo, passão de hum meio mais refringente para hum meio menos refringente, convergirão ainda mais, e formaráo huma pyramide cónica, que terá o seu vertice em m no fundo do

olho, e a base na superficie posterior do cristalino. Estes raios pintaraõ pois em m sôbre a retina, a imagem do ponto M do objecto.

O pincel, que parte do ponto R' , tendo o seu eixo obliquo á superficie exterior dos humores do olho, refractar-se-ha ao penetra-los, os demais raios do pincel, que com elle penetraõ pela abertura pp da pupila refractar-se-haõ tambem ao penetrar no cristalino, e ao sahir deste para o humor vitreo, e convergindo em r' no fundo do olho, pintaraõ alí a imagem do ponto R' do objecto, e assim acontecerá evidentemente para todos os pontos da linha $RM R$, e em geral, de qualquer objecto situado diante do olho.

He pois evidente, que os raios de luz, partidos dos diversos pontos dos objectos, situados diante do olho, e no campo daquelle orgaõ, penétraõ pela pupilla, refrangem-se convenientemente nos humores do olho, e no cristalino, e vaõ formar sôbre a retina huma imagem invertida dos objectos; pois he claro, que os raios, que partem das extremidades oppóstas de cada objecto, se cruzaõ ao entrar pelo orificio da pupilla.

359. Estes resultados da theoría verificaõ-se perfeitamente pela experiencia, tomando hum olho de boi, ou hum olho humano ainda fresco, despojando-o, pela parte posterior, da cornea opáca, e olhando através delle hum objecto; ou melhor, collocando-o no orificio da camara escura, com a cornea transparente para fóra, ver-se-haõ as imagens dos objectos exteriores, desenhadas, ou mais propriamente pintadas no fundo do olho, em huma posição inversa da que realmente tem os mesmos objectos.

360. A imagem dos objectos, representada pelas extremidades dos raios de luz no fundo do olho, naõ he outra coisa mais, que huma figura plana, tinta de diversas côres, e diversamente sombreada, projecção do objecto sôbre a têa, que reveste o fundo daquelle orgaõ. Qualquer que seja a maneira, pela qual se oppera a sensação por meio de huma semelhante imagem, naõ pôde vêr-se nella a razão sufficiente da percepção, que a vista nos dá do relevo dos objectos, e das distancias, a que nos achamos das suas differentes partes. Com effeito a sensação da vista jámais daria á alma o conhecimento de taes propriedades, e a idéa de taes condições

se a natureza, dotando o homem deste meio de conhecer a existencia dos corpos, lhe não houvesse concedido no sentido do tacto hum meio de perceber aquellas propriedades, e de avaliar aquelles accidentes.

O tacto porém desenvolvendo-se no homem simultaneamente com a vista, começão simultaneamente o estudo da natureza, e vemos o homem desde os primeiros dias do seu nascimento interrogar, por assim dizer, com estes dois sentidos ao mesmo tempo os objectos, que o cercaõ: e apenas tem fixado o orgão visual ainda noviço, e incerto sôbre qualquer objecto, estender ao mesmo tempo a mão, onde na maior perfeição reside o tacto, para apreciar por aquelles dois meios aquelle mesmo objecto, que se lhe representa: e se consideramos com attenção aquelles primeiros movimentos he facil vêr, que assim como a mão se estende, e palpa vagamente, e de huma maneira casual, e incerta, o olho vaga tambem ao acaso, fixando-se apenas sôbre algum objecto de hum brilho extraordinario.

A' medida, que o olho recebe certas impressões da parte dos objectos vistos, o tacto recebe outras correspondentes impressões do objecto palpado. A alma affectada ao mesmo tempo por estas impressões concomitantes adquire hum habito tal de uni-las, que se tornaõ no fim de algum tempo para ella inseparaveis: quando palpa hum objecto imagina o modo, porque devia vê-lo, e quando o vê julga das impressões, que receberia ao palpa-lo.

He por este modo, e unicamente por este modo, que podemos chegar pela simples vista a julgar exactamente da figura, e da distancia, a que os objectos se achaõ situados. A certos accidentes de luz nos objectos, a certas disposições de claro, e escuro sôbre as imagens, correspondêraõ sempre para nós, desde as nossas primeiras experiencias, certas impressões de tacto. Saõ aquelles os caracteres, que para nós representaraõ sempre aquellas propriedades, desde entãõ quando vêmos o objecto já não carecemos consultar o tacto, e pela inspecção só de taes accidentes, julgamos da existencia de taes propriedades; da mesma maneira, que o homem habituado a lêr já não considera n'hum escrito, nem as letras, nem as syllabas; mas sem apoiar já naquelles meios miudos, passa immediatamente a fixar a sua attenção sôbre as idéas

contidas no escripto, e pôde dizer-se, que o Author lhe falla.

Estes juizos são tão promptos, tornaõ-se tão habituaes, que nos conduzem em certos casos a erros, que toda a reflexão he incapaz de destruir. Por mais, que estejamos capacitados, v. g., que mirando hum objecto sôbre huma superficie especular, não miramos mais do que huma imagem plana sombreada, e córada, traçada naquella mesma superficie, não podemos deixar de suppôr a imagem situada por traz do espelho, e dotada de todos os relevos do objecto, que representa; e com effeito, como os accidentes de luz são os mesmos na imagem, que seriaõ no objecto situado da mesma maneira, que esta se nos figura, a sensação não pôde ser diversa, da que seria naquelle caso, e o juizo, que segue a sensação, não tem razão sufficiente para ser outro.

361. Se porém tal he a maneira, pela qual a visão se adextra, ese aperfeiçoa; sem as instrucções recebidas do tacto, a vista a mais perfeita não poderá suscitar na alma taes impressões, nem dar lugar ás conclusões indicadas. A experiencia tem-se pronunciado conformemente á theoria nesta parte, e os adultos, que tem adquirido a faculdade de vêr pelas opperações chyrurgicas, tem apresentado aquelle sentido no seu estado inicial, e só tem pôdido com o uso aprender a servir-se de hum orgão, cujas indicações o uso nos faz considerar como as unicas seguras, e independentes de quaesquer outras averiguações.

A facilidade, e promptidão, com que o orgão visual nos adverte da presença dos objectos, da sua figura, e situação; a facilidade, com que dirigimos este orgão sôbre os objectos, e o seu longo alcance, nos habituaõ de tal maneira a servir-nos d'elle, que pouco, e pouco deixamos, por assim dizer, esquecido o tacto, seu primeiro mestre; este sentido pelo desuso, embota-se, por assim dizermos, até certo ponto, e a alma só com trabalho traduz as suas indicações. Esta he a razão, pela qual o homem dotado de boa vista, julga em geral mui imperfeitamente pelo tacto; em quanto o cõgo, que não tem outro guia mais commodo a quem recorra, parece possuir este sentido n'hum grão de perfeição para nós outros admiravel.

362. Parece á primeira consideração, que sendo dois os

olhos, e duas por conseguinte as imagens desenhadas no fundo delles, os objectos deverião parecer-nos dobrados; porém como o tacto nos tem ensinado a achar hum unico objecto em todos os casos, em que a luz penetra da mesma maneira em ambos os olhos, temos ligado a estas duas sensações iguaes, e semelhantes, a idéa de unidade; se porém destruímos esta similhaça das imagens, dirigindo diversamente os eixos opticos, como quando deprimimos lateralmente hum dos olhos, o objecto parece duplicado.

363. Não nos estenderemos mais sôbre taes considerações, assim como omitiremos descrever as illusões, a que a visão dá lugar, em diversos casos, por não estendermos demasiadamente estes elementos, com a exposição de apparencias, que cada hum, huma vez penetrado dos principios, que temos] exposto, saberá sempre explicar com summa facilidade.

Dos Myopes, e dos Presbytas.

364. Mostrámos, que nos olhos bem configurados, cada ponto luminoso envia ao olho hum pincel de raios, que depois de refractados nos diversos humores daquelle orgão, e no cristalino, fórmaõ huma pyramide cônica de luz, cuja base existindo na face posterior do cristalino, o vertice existe na retina, e pinta ali clara, e distinctamente a imagem do ponto luminoso.

He claro, que confôrme as distancias do objecto ao olho fôrem mais, ou menos consideraveis, os raios incidirão com menor, ou maior divergencia sôbre o mesmo olho, e consequentemente o seu concurso deverá ter lugar em menor, ou maior distancia do cristalino para o interior do olho. Ignorase até hoje porque meio os olhos bem configurados remedeiaõ este inconveniente, e se dispõem sempre de maneira, que o effeito he tal, qual o indicámos; quando não sabemos de certos limites de distancia, que constituem o campo da visão distincta para hum olho ordinario.

365. Nos olhos porém de alguns individuos, a que chamamos *myopes*, e que vulgarmente dizemos terem *a vista curta*, a cornea, e o cristalino são demasiado convexos. Estes dois defeitos de construcção, tendendo ambos a augmentar

a refracção dos raios de luz no interior do olho; fazem com que a pyramide cônica interior, em vez de ter o vertice na retina, o tenha áquem daquella membrana, sôbre a qual, por conseguinte, em vez de hum ponto, se desenha hum pequeno circulo luminoso, formado pela intersecção da pyramide verticalmente oppôsta áquella, e que os raios começãõ a formar depois do seu prematuro cruzamento. Cada ponto luminoso de hum objecto foimará pois no fundo do olho do myope hum pequeno circulo, e os circulos formados pelos diversos pontos, sobrepondo-se necessariamente, e confundindo-se, tornaraõ a visãõ indistincta, e confusa.

366. Da causa deste defeito se vê quaes devem ser os seus remedios.

He claro, que se a nimia convergencia dos raios no interior do olho he a causa da confusãõ da visãõ, tanto mais divergentes incidirem no olho os raios, tanto menos sensivel sera aquelle defeito. Por huma parte he evidente, que á medida, que o objecto se aproximar do olho, a divergencia dos raios incidentes tornar-se-ha mais consideravel; assim tambem o myope, que não pôde vêr distinctamente os objectos situados a huma certa distancia, os distingue perfeitamente, logo que os aproxima convenientemente do olho. Por outra parte, as lentes divergentes concavo-concavas, ou plano-concavas, tem a propriedade de augmentar a divergencia dos raios, que as atravessaõ, e por conseguinte similhantes lentes, pôstas diante do olho do myope, devem tornar-lhe, e com effeito lhe tornaõ, distincta a visãõ dos objectos, ainda mesmo situados em consideravel distancia.

367. Os olhos dos presbytas tem o defeito oppôsto ao dos myopes. Ordinariamente pela idade, ou por hum uso immoderado do orgãõ, os humores do olho diminuem de volume, a cornea, e o cristalino achataõ-se, e a refracção, tornando-se menor no olho, os raios, que constituem a pyramide interior, convergem em hum fóco virtual situado por traz da retina, e esta por conseguinte intercepta hum circulo, em lugar de receber a imagem de hum ponto, donde resulta a confusãõ da visãõ.

368. Este mal dependendo da falta de convergencia sufficiente nos raios interiores, será tanto menos sensivel, quanto menor fôr a divergencia dos raios incidentes; assim o

presbyta, por opposição ao myope, vê melhor os objectos distantes, que os objectos proximos, e a interposição de huma lente convergente, torna nelle distincta a visão; assim como a lente divergente auxilia a vista do myope, corrigindo o defeito opposto, que tem lugar no seu olho.

Noção do achromatismo.

369. A reflexão, e a refração da luz, de que temos estudado as leis, e exposto as principaes consequencias, não pertencem ao numero das descobertas consignadas unicamente nos escriptos, e applicadas exclusivamente nos appparelhos, e gabinetes dos physicos. O vasto dominio da visão, a utilidade do orgão visual para guiar o homem tanto na investigação dos phenomenos naturaes de todas as classes, como nas opperações das artes, e nos actos os mais ordinarios da vida, fizeraõ cedo sentir a necessidade de regularisar, e estender as applicações de tão interessante sentido: daqui a origem de hum numero considerabilissimo de appparelhos, e de instrumentos, nos quaes a luz he o principal agente, e de que se servem os observadores em todos os ramos, os artistas em hum grande numero de circumstancias, e o commum dos homens em differentes misteres.

370. Como, por outra parte, de todos os adornos, que abrilhantaõ a scena do universo, os accidentes de luz são inegavelmente os mais deleitosos, e admiraveis: como as illuções, que podemos produzir pela modificação daquelle agente, são as mais completas, e as mais agradaveis, hum numero considerabilissimo de instrumentos opticos tem sido inventados, com o intuito sómente de augmentar os gozos desta especie.

Em vista disto, he claro, que de maneira alguma não seria possivel inserir neste tractado elementar, a descripção, nem a theoria desta numerosa variedade de instrumentos.

Alguns dos instrumentos de optica, os mais communs, tem huma construcção tão simples, e a marcha dos raios de luz he nelles tão pouco complicada, que a simples inspecção, ajudada dos principios, que temos exposto, basta para fazer

completamente entender o seu modo de obrar. Taes são, por exemplo a *camara escura*, a *camara lucida*, a *lanterna magica*, a *fantasmagoria*, o *mycroscopio solar*, &c.

A theoria dos instrumentos mais compósitos, e especialmente dos telescopios, e mycroscopios, póde deduzir-se igualmente pela geometria, e a analyse, dos principios, que deixamos expostos, e nos differentes tractados de *optica mathematica* se encontraraõ naõ sómente as descripções, mas as diversas expressões analyticas, relativas a similhantes aparelhos.

371. Antes porém de terminarmos a optica, daremos huma ligeira idéa de hum importante aperfeiçoamento, introduzido por Dolond, na construcção dos oculos, ou telescopios dioptricos, por ter aquelle aperfeiçoamento huma íntima conexaõ com a optica physica, e depender de huma propriedade particular dos meios refringentes. Este aperfeiçoamento, he o que se chama *achromatismo*.

Vimos, que os raios de differentes côres, de què a luz inteira he formada, sendo dotados de refrangibilidades diversas, naõ podiaõ ser reunidos exactamente em hum só fóco pelas lentes; porém o fóco dos raios mais refrangiveis, seria sempre situado em maior proximidade da lente, do que o fóco dos raios menos refrangiveis: este phenomeno tem o nome de *aberração de refrangibilidade*; e o achromatismo tem por objecto fazer desaparecer este inconveniente, e em geral, combinar de tal maneira huma serie de meios refringentes, que os raios emergentes formem com os raios incidentes hum angulo sensivel, sendo brancos, e de luz inteira tanto huns, como outros raios.

372. Em 1747, *Euler*, tendo reflectido, que todas as vezes, que observâmos hum objecto com a simples vista, apezar dos raios de luz experimentarem refrações consideraveis no interior do olho, naõ soffrem os raios dispersaõ sensivel; pois que os objectos são vistos sem mistura alguma de côres estranhas; suspeitou, que os humores do olho eraõ combinados de maneira, que as suas acções dispersivas se compensavaõ reciprocamente, que o olho, em huma palavra, era hum aparelho achromatico, e que seria possivel, imitando aquelle orgaõ com a combinaçaõ de meios differentes, conseguir huma lente, em que a aberração de refrangibilida-

de não tivesse lugar. Euler, guiado por estas idéas, procurou quaes deverião ser as dimensões de huma lente formada de vidro, e de agoa, para possuir o achromatismo.

373. Dolond, optico inglez, impugnou as dimensões propostas por Euler, e tendo procurado substituir-lhes outras, persuadio-se a final, que o problêma proposto era impossivel. Dolond firmou-se tanto mais nesta opiniaõ, quanto ella era huma consequencia necessaria de huma experiencia de Newton, de cuja exactidaõ o optico inglez não duvidava.

374. Newton porém, como já antecederamente o dissemos, tinha-se naquella experiencia apartado da sua exactidaõ ordinaria, e tinha sido por conseguinte conduzido a huma asserçaõ erronea. A experiencia, de que fallamos, tinha feito concluir a Newton, que o poder dispersivo nas differentes substancias, era proporcional ao poder refringente; e que por conseguinte, quando duas substancias, se oppunhaõ de maneira, a destruirem o effeito da dispersaõ, todo o effeito da refraçãõ era tambem destruido; ou por outras palavras, que se hum raio de luz atravessando dois prismas, oppostos em posições, sahe branco, e indecomposto, a direcçaõ do raio emergente he parallela á direcçaõ do raio incidente.

He claro, que sendo verdadeiro este principio, era impossivel achromatisar os prismas, ou o que he o mesmo, as lentes, conservando-lhes a propriedade de mudarem, pela refraçãõ, a direcçaõ dos raios: e Dolond, que devia descubrir as regras do achromatismo, illudido por aquella conclusaõ, não só desesperou de obter aquelle resultado, mas sustentou esta impossibilidade, contra a judiciosa opiniaõ de Euler.

375. Klingenstiern, professor de Upsal, enviou a Dolond huma refutaçaõ da opiniaõ de Newton; e posto que este escripto pouco, ou nada contivesse de experimental, foi bastante, para excitar no optico inglez o desejo de repetir a experiencia de Newton; e tendo-o feito da maneira conveniente, achou falsa, e erronea a conclusaõ daquelle grande homem, e convenceo-se da possibilidade do achromatismo. As experiencias mostraraõ a Dolond, que o poder dispersivo das substancias sôbre a luz, não era proporcional ao seu poder refringente; mas seguia huma razãõ differente, e que

era possível fazer desaparecer, senão rigorosamente, ao menos sensivelmente, a aberração de refrangibilidade.

Tal he o fundamento do achromatismo, de que tanto partido se tira, especialmente na construcção dos oculos, obtendo-se imagens perfeitamente regulares, e sem mistura alguma de côres estranhas. Em quanto ao modo de determinar as condições da achromatisação, póde com vantagem consultar-se, entre outras obras, o Tractado de Physica Experimental, e Mathematica de Biot, Tom. 3.^o, de pag. 477 até ao fim do volume.



S E C Ç A Õ VIII.

PHENOMENOS CAPILARES.

Idéa geral dos phenomenos capilares.

1. **P**rovámos na 1.^a Secção deste tractado, e a experiencia diaria o confirma, que hum liquido, abandonado á simples acção da gravidade em hum vaso de dimensões insensíveis relativamente ao raio terrestre, tem a sua superficie plana, e horisontal. Se porém em hum similhante liquido mergulhamos huma lamina sólida, v. g., huma lamina de vidro, a figura da superficie liquida mudará immediatamente.

2. Se o liquido fôr a agoa, e a lamina de vidro; o liquido elevar-se-ha de hum, e outro lado da lamina, a huma certa altura, e a secção da superficie do fluido por hum plano vertical, perpendicular ás grandes faces da lamina, apresentará duas curvas similhantes para hum, e outro lado da lamina, e convexas para a parte superior, como se vê na (fig. 1.^a), na qual *abcd* representa a secção da lamina pelo plano, *NnnN* a secção da superficie antes da imersão da lamina, e *Nn'n'N* a secção da mesma superficie com a lamina emergida.

Fig. 1.^a

3. Se se esfregarem as paredes da lamina com huma materia gôrda, e se mergulhar a lamina, assim untada, na agoa, ou se se mergulhar no mercurio huma lamina de vidro, cuberta da humidade hygrometrica habitual; a superficie do liquido tanto em hum, como em outro caso tomará a figura oppôsta á precedente, na qual os pontos da superficie, contiguos á lamina, são deprimidos abaixo do nivel ordina-

Fig. 2.^a

rio, e as curvas tem a sua convexidade voltada para a parte superior.

4. Quando ás laminas empregadas nas experiencias antecedentes, se substitue hum tubo; isto he, hum canal cylindrico formado de paredes sólidas, v. g., de vidro, o mesmo phenomeno precedente tem lugar na parede exterior do tubo, e do mesmo modo na parede interior; e quando o diametro interior do tubo he assás pequeno, para se aproximar á grossura de hum cabelo, no qual caso o tubo tem, como já dissemos, o nome de *tubo capilar*, vê-se humas vezes o liquido elevar-se consideravelmente no interior do tubo acima do nivel exterior, sendo a columna interna terminada por hum menisco concavo, e outras vezes depremir-se abaixo daquelle nivel, sendo então a columna interna terminada por hum menisco convexo.

5. Se se fazem fluctuar sôbre a agoa duas esféras de huma materia incapaz de ser molhada pela agoa, v. g., duas esféras de cêra, e se aproximaõ estas esféras huma da outra successivamente, chegara huma certa distancia, na qual as duas esféras parecerão attrahir-se, e se reunirão huma á outra; e observando a figura tomada pela superficie da agoa entre as esféras achar-se-ha, que esta superficie he convexa para a parte superior, e deprimida abaixo do nivel exterior do liquido: o excesso das pressões, que tem lugar nas superficies externas das esféras, as impellem por conseguinte huma para a outra.

Se ambas as esféras são pelo contrario susceptiveis de serem molhadas pelo liquido, como por exemplo, duas esféras de cortiça, quando as chegarmos á distancia conveniente, as duas esféras attrahir-se-hão ainda, como no caso, em que ambas são de natureza a não poderem ser molhadas.

Se porém huma das esféras he de cêra, e a outra de cortiça, ou em geral se huma he susceptivel de ser molhada, e a outra não, na distancia conveniente, a esféra não molhavel parecerá repellida pela esféra molhavel, e separar-se-ha della.

6. Suspendendo no braço de huma balança hum disco de vidro, de marmore, ou de qualquer outra substancia impermeavel a agoa, equilibrando o disco por meio de pêsos, na concha pendente do braço oppôsto, e pondo então o disco em contacto com a superficie da agoa; observar-se-ha huma

adherencia consideravel entre o disco, e a agoa; por quanto poderemos, sem levantar o disco, augmentar sensivelmente os pêsos no braço oppôsto da balança.

7. Estes, e outros phenomenos analogos extremamente variados, que se appresentaõ frequentemente, tanto nas experiencias physicas, como nas acções naturaes, e muitos dos quaes empregâmos para os usos ordinarios da vida, reconhecem huma mesma causa, e são comprehendidos debaixo da denominação de *phenomenos capilares*; por serem a ascensão, e a depressão dos liquidos nos tubos de pequeno diametro, os mais apparentes destes phenomenos, e aquelles de cujo estudo os physicos por mais tempo se occupáraõ.

8. Antes de passar ávante, advertiremos, que estes phenomenos não podem, como o pertenderaõ primeiro alguns Physicos, ser attribuidos á pressaõ athmosferica; por quanto, além de outras razões, que omitiremos, basta-nos saber, que se manifestaõ da mesma maneira, quando as experiencias são feitas no vacuo.

Com effeito, se depois de havermos mergulhado na agoa a lamina de vidro, e notado a elevação do liquido nas suas faces, situâmos o apparelho sôbre a platina da pneumatica, e cobrindo-o com o recipiente fazemos o vacuo, a agoa mantem-se de hum, e outro lado elevada acima do nivel. O mesmo acontece nas outras experiencias.

9. He pois necessario procurarmos huma hypothese representativa de taes phenomenos, e applicando-lhe a analyse, vêr se esta hypothese poderá ser elevada á cathegoria de theoria; mas para conseguir este fim he evidentemente necessario determinar primeiro as circumstancias, em que os phenomenos tem lugar, e medir com o possivel rigor os effeitos, que nos appresentarem as observações.

Tal será a marcha, que seguiremos nesta secção; apartando-nos taõ sómente della naquella parte, em que a transcendência da analyse, empregada por Laplace no calculo de semelhantes phenomenos, nos obrigará a tomar como provados os theoremas, analiticamente demonstrados por aquelle Geometra, a quem a physica he devedora da theoria, que possui neste ramo.

Os Physicos tinhaõ em vaõ procurado explicar os phenomenos capilares, com hypotheses mais, ou menos plausiveis, fornecidas pela primeira impressaõ das observações, e

edificadas pela imaginação de seus aucthores. Convencidos, que a pressão atmosphérica não podia dar razão dos factos observados, huns recorrerão a acção de hum fluido subtil, causa efficiente daquelles effeitos; outros lançarão mão do parto da imaginação de Descartes; quero dizer, dos torbilhões, banidos por Newton da physica celeste; porém a natureza, que zomba da imaginação dos homens, conservava teimosa o seu segredo, e desmentia com factos as hypothèses gratuitas dos Phylosophos.

Clairaut, seguindo a verdadeira marcha, e auxiliando-se do calculo aproximou-se mais da verdade; mas não pôde patentear-la completamente. Finalmente Laplace publicou, sobre esta especie de acções, hum trabalho tão sublime, que offuscou todos os que antes d'elle se haviaõ feito, e deo, como dissemos, aos Physicos huma verdadeira theoria das acções capilares.

Determinação da elevação dos liquidos no interior dos tubos capilares.

10. Se em hum liquido, v. g., na agoa, mergulhâmos tubos de vidro de hum pequeno diametro, observaremos, que no interior destes tubos se elevarão acima do nivel exterior columnas de agoa de huma certa altura, nas quaes notaremos o seguinte.

1.º Se os tubos tiverem diametros diversos, as columnas terãõ tambem alturas differentes, e em geral nos tubos de menor diametro, as columnas terãõ alturas maiores.

2.º Sendo o mesmo o diametro, e a mesma a materia dos tubos, a espessura das suas paredes, não terá influencia alguma sobre a altura das columnas de liquido nelles elevadas.

3.º Todas as columnas seraõ terminadas por hum menisco concavo para a parte superior.

4.º Se os tubos forem todos do mesmo calibre; mas não houverem sido todos perfeitamente molhados pelo liquido, as alturas das columnas poderaõ ser diversas, e a concavidade dos meniscos, que terminaõ as mais curtas, será sempre menor, que a dos que terminaõ as mais compridas. Se porém

os tubos houverem sido préviamente molhados pelo liquido, as alturas serão iguaes em todos.

Antes pois de começarmos as observações, teremos sempre a attenção de molhar com o liquido as parêdes interiores dos tubos, para illiminar aquella origem de anomalias, e irregularidades no phenomeno.

II. O methodo o mais exacto, que conhecemos, para determinar rigorosamente a elevação dos liquidos nos tubos capilares he devido ao Professor Gay-Lussac, e será unicamente este o methodo, que mencionaremos neste tractado.

Visto que a elevação das columnas liquidas, no interior dos tubos capilares, depende do seu diametro interior, he primeiro que tudo necessario determinar rigorosamente aquelle diametro. Para este fim, começaremos por pêsar exactamente o tubo vasio, e seja o seu pêso neste estado representado em geral por P . Introduza-se huma quantidade de mercurio no interior do tubo, e pêsese de novo, representemos por P' o pêso assim achado: he claro, que o pêso do mercurio introduzido no tubo será $P' - P$, que por simpliciar faremos igual a p .

A quantidade de mercurio introduzida no interior do tubo capilar, formará huma columna cylindrica, cuja base será a secção transversal do tubo por hum plano perpendicular ao seu eixo. Se pois determinarmos o raio desta base, e o duplicarmos, teremos o diametro interior do tubo.

Mediremos com toda a exactidão o comprimento da columna mercurial, e representemos este comprimento por c . Chamemos r o raio da base da columna, ou semidiametro interior do tubo, e finalmente designemos por π a semicircunferencia, cujo raio he a unidade. O volume da columna cylindrica de mercurio, contida no tubo, será

$$\pi r^2 c,$$

e se representarmos por d a densidade do mercurio, ou o pêso de hum centimetro cubico daquelle metal, na temperatura em que se oppéra, o pêso da columna mercurial, será

$$\pi r^2 c d:$$

e teremos por conseguinte

$$\pi r^2 c d = p,$$

da qual se tira

$$r = \sqrt{\frac{p}{\pi c d}}$$

e dobrando este valor, teremos conhecido o diametro interior do tubo, que quizermos empregar nas experiencias.

12. Determinado assim este diametro, passemos á descripção do aparelho, proprio para determinar a altura, a que nos tubos se eleva o liquido. Consiste este aparelho em hum vaso largo, e profundo de vidro *ABCD*, cujas bordas são perfeitamente planas. Este vaso he sustentado pela base *CD*, munida de tres parafusos, por meio dos quaes se situa o vaso de maneira, que as bordas *AB* fiquem perfeitamente horisontaes, o que se consegue situando sôbre ellas hum nivel de ar. Lança-se no vaso o liquido até huma altura qualquer *NN*, e neste liquido imerge-se o tubo *TT'*, mothado de antemão com o liquido. O tubo he sustentado em hum canudo *cc*, unido perpendicularmente a huma regoa chata de metal *ab*, que se applica sôbre as bordas do vaso, o que dá por conseguinte ao tubo huma posição rigorosamente vertical. Ao lado do vaso situa-se huma regoa, ou columna vertical graduada *MM*, munida igualmente de huma base com tres parafusos, e cuja verticalidade se observa com hum prumo; esta regoa he graduada, e nella se move o oculo sempre horisontal *oo* por hum movimento de parafuso, este oculo tem no seu interior dois fios, hum vertical, outro horisontal, cujo cruzamento serve para dirigir sempre da mesma maneira o raio visual.

Disposto assim o aparelho, faz-se subir o oculo *oo* na regoa, até que o raio visual, dirigido pelo cruzamento dos fios do oculo, raze a superficie inferior do menisco, que termina a columna liquida, e fixa-se o oculo naquelle ponto. Faz-se então correr a lamina *ab* pelas bôrdas, até que o tubo *TT'* se encoste ás paredes do vaso, e no lugar, que ella occupava situa-se outra regoa *g'b'*, munida de huma hastea *bb* perpendicular a ella, e que sóbe, ou desce com hum movimento de rôsca, e faz-se descer esta hastea, até que a ponta *b* toque apenas a superficie *NN* do liquido. Isto feito, com hum pequeno balde *F*, sustentado por hum cabo

de arame, tira-se hum pouco de liquido do vaso para deixar livre a ponta *b*, e desce-se o oculo *oo*, até que o raio visual, sempre dirigido parallelamente a si mesmo pelo cruzamento dos fios, seja tangente a extremidade da ponta. O descenso do oculo, medido na columna vertical *MM*, he a altura rigorosa da columna liquida elevada no tubo.

13. O mappa seguinte encerra alguns resultados experimentaes, obtidos pelo Professor Gay-Lussac, usando deste methodo, e de tubos de vidro.

Natureza do liquido	Diametro dos tubos	Elevação da columna, fóra o menisco	Temperatura
Agoa - - - -	0 ^m ,00129441	0 ^m ,0231634	8 ^o ,5
	0 ^m ,00190381	0 ^m ,0155861	
Alcool da densidade de 0,81961 -	0 ^m ,00129441	0 ^m ,00918235	8 ^o ,5
	0 ^m ,00190381	0 ^m ,00608397	

14. A altura das columnas, medida da maneira precedente, basta para calcular o seu volume, e consequentemente o seu peso, conhecido o diametro do tubo, e a densidade do liquido; como porém aquellas alturas não comprehendem o menisco; quando se quizer conhecer com todo o rigor o peso total do liquido elevado no tubo, deverá atender-se ao peso do menisco de liquido, que termina a columna.

As medidas mycrometricas as mais exactas tem mostrado, que nos tubos molhados de antemão, a curvatura do menisco he rigorosamente hemisferica, e de hum raio igual ao raio interior do tubo. Se pois imaginarmos hum plano tangente ao ponto inferior da superficie concava do menisco, o volume do liquido contido no tubo acima deste plano, ou o que he o mesmo o volume do menisco, será hum cylindro, cuja base será a mesma, que a base da columna, e a altura o raio daquella base, diminuido de metade da solidiez de huma esféra, cujo raio será o raio da base.

Designando pois por *r* o raio da base da columna, ou o

Dd *

semidiametro interior do tubo, e por π a semicircunferencia, cujo raio he a unidade, o volume do cylindro será $\pi. r. h$. O volume da esfera do raio r he $\frac{2 \pi r^3}{3}$; logo o volume do menisco será - - - - -

$$\pi r^2 a - \frac{2 \pi r^3}{3} = \frac{\pi r^2}{3} a,$$

e se designarmos por a a altura da columna até á parte inferior do menisco, o volume total V do liquido elevado no tubo, será - - - - -

$$V = \pi r^2 a + \frac{\pi r^3}{3} \quad \text{--- (a)}$$

Calculo da elevação dos liquidos nos tubos capilares.

15. Vimos no § 11, observação 2.^a, que em tubos do mesmo calibre, e materia, a espessura das parêdes não tem influencia alguma sôbre a elevação, ou depressão das columnas liquidas. Se pois este ascenso depende de huma acção exercida pela materia do tubo sôbre o liquido, esta acção será do numero daquellas, que se tornaõ insensiveis em distancias apreciaveis.

16. Sendo porém assim, he claro, que a materia do tubo só pôde exercer acção sensivel sôbre as molléculas liquidas, que fórmaõ o contórno da columna elevada no tubo; mas estas molléculas fórmaõ ellas mesmas hum tubo liquido, ao qual pôde adherir hum segundo tubo, em virtude de huma acção similhante das molléculas do liquido sôbre si mesmas, e este novo tubo pôde sustentar hum terceiro, e assim por diante, até á columna central, situada no eixo do tubo. Poderemos por tanto admittir, que a elevação das columnas liquidas no interior dos tubos capilares, depende de huma acção exercida pela materia do tubo sôbre o liquido, acção insensivel em distancias apreciaveis, e de huma acção similhante das molléculas liquidas sôbre si mesmas.

17. Para avaliarmos, até que ponto esta hypothese satisfaz aos phenomenos, desenvolveremos analyticamente as suas consequencias, e compararemos os resultados da analise, com os da observação.

Seja $A'B$ hum tubo fixo, em contacto pela base com o liquido, cujo nivel he NN ; seja AB a columna liquida, elevada no interior deste tubo, e terminada por conseguinte por hum menisco concavo. Fig. 4.^a

Completemos pelo pensamento o sifão ideal $BCDE$ do mesmo diametro do tubo, vertical nos ramos BC , e DE , e horisontal no ramo CD . Para termos o equilibrio do liquido em todo o systema, he evidente pelos principios da hydrostatica, que não teremos mais, que estudar o equilibrio no sifão em parte real, e em parte imaginario $ABCDE$.

18. Em primeiro lugar he evidente, que se as parêdes reaes do tubo $A'B$, e as imaginarias do resto do sifão, ou antes o liquido, que o rodeia, fôsse da mesma materia, o nivel do liquido nos dois ramos seria determinado pelo plano horisontal NN ; pois só então poderia fazer-se reciprocamente equilibrio as pressões em tudo iguaes, e contrarias das columnas BC , e ED ; mas visto, que no nosso caso a columna CA he maior, que a columna DE , he indispensavel, que da hetherogeneidade das parêdes da parte AB , e do resto do sifão, resulte huma força capaz de equilibrar o excêsso de pressão da columna AC sôbre a da sua correspondente ED ; quer dizer, o pêso da columna de liquido AB .

19. A columna de liquido ED , exerce sôbre a sua base: 1.^o huma pressão igual ao seu pêso: 2.^o he attrahida de cima para baixo pela acção do fluido, que a rodeia. Do mesmo modo a columna BC , igual áquella, e similhantemente situada, exerce sôbre a sua base: 1.^o huma pressão igual ao seu pêso: 2.^o he attrahida de cima para baixo pela acção attractiva do fluido, que a rodeia. Estas acções pois das duas columnas ED , e BC , sendo iguaes, e oppostas, deverão equilibrar-se, destruir-se reciprocamente para o equilibrio definitivo, e poderemos por tanto fazer abstracção dellas.

20. A columna BC he attrahida debaixo para cima pela acção attractiva da columna superior BA do mesmo liquido; mas attrahe de cima para baixo aquella columna com huma força igual: logo o resultado destas acções, será a uniaõ das duas partes AB , e BC da columna de liquido, sem effeito algum sôbre o equilibrio final; e poderemos por tanto fazer ainda abstracção destas acções.

21. A mesma columna BC he além disto, attrahida debaixo para cima pela acção attractiva da materia solida do tubo

AB ; e esta força, não tendo quem a contrabalance, será só combatida pelo excesso de peso da columna AC sobre a sua correspondente ED . Designemos por F esta força ascensional, he claro, pelo que fica exposto, que F he a unica força effectiva, que obra sobre a columna liquida BC ; e demais, como as acções attractivas, que consideramos, só se estendem a distancias inapreciaveis, esta força F será devida unicamente a hum anel extremamente delgado, da materia do tubo na base d'elle.

22. Passando agora a considerar as forças, que sollicitão a columna BA , notaremos: 1.º Que esta columna he attrahida de cima para baixo pelo liquido da columna inferior BC ; mas como a referida columna attrahe igualmente aquelle liquido debaixo para cima, estas acções terão por unico resultado a uniaõ das duas columnas AB , e BC , e serão nullas em effeito para o equilibrio final. 2.º A columna AB será attrahida de cima para baixo pelo anel de liquido, que rodeia o alto da columna BC ; e não tendo esta força outra igual, que a contrabalance, será effectiva para o equilibrio final; chamemos-lhe F' , e por se dirigir no sentido contrario da força ascensional F , que fizemos positiva, affectemo-la do signal $-$, ficando representada por $-F'$. 3.º A columna AB será finalmente attrahida debaixo para cima pelo anel extremamente delgado da materia solida do tubo solido $A'A$, que fica immediatamente por cima da referida columna, anel da mesma materia, e dimensões, que o que constiue a base do tubo sólido total AB , esta attracção será pois F como aquella.

23. As acções reciprocas das molléculas do liquido contido no sifão $ABCDE$, destruir-se-hão entre si, como todas as acções reciprocas das partes de hum systema em equilibrio, e o seu effeito será sómente impedir a separação das molléculas do liquido, e permittir-nos considerar o liquido em equilibrio, como hum todo compacto, e solido, obedecendo a huma acção definitiva.

24. Do fica exposto resulta, que a acção definitiva, que sollicita a columna AC , será - - - - -

$$F + F - F' = 2F - F'$$

Mas visto, que elevada a columna, o liquido se acha em equilibrio, he claro, que este esforço definitivo deve ser

igual ao pêsô da columna erecta no tubo; teremos pois, cha-
mando P este pêsô, a equação de equilibrio - - - - -

$$2F - F' = P \quad (A)$$

Se representarmos por d a densidade do liquido, que se considera, por g a acção da gravidade, ou o caminho descripto pelos graves no primeiro segundo da sua queda, por V o volume da columna AB elevada no tubo, teremos -

$$P = Vgd,$$

Mas achámos no § 14, expressão (a), o volume do li-
quido elevado no tubo - - - - -

$$V = \pi r^2 a + \frac{\pi r^3}{3}$$

Substituindo este valôr na equação (A), vem - - - - -

$$2F - F' = dg \left(\pi r^2 a + \frac{\pi r^3}{3} \right) \quad (B)$$

25. Advertindo agora, que as acções capilares, conforme a nossa hypothese, são só sensíveis em distancias inapreciáveis, as torças F , e F' serão proporcionaes ao numero de molléculas, que compõe cada hum dos aneis, de que dimañão, o qual numero não he outra cousa mais, que a circumferencia dos aneis rectificada. Chamemos pois C aquella circumferencia, e designando por k hum coeficiente constante, dependente da energia de acção da materia do tubo sôbre o liquido, e por k' hum coeficiente constante, dependente da acção attractiva do liquido sôbre si mesmo, teremos - - -

$$F = kC,$$

$$F' = k'C,$$

e substituindo estes valôres na equação de equilibrio (B),
vem - - - - -

$$(2k - k') C = dg \left(\pi r^2 a + \frac{\pi r^3}{3} \right).$$

Mas sendo o anel, cujo circuito he C , hum circulo interior do tubo da observação. cujo raio he r , teremos

$$C = 2 \pi r:$$

logo

$$(2k - k') 2 \pi r = dg \left(\pi r^2 a + \frac{\pi r^3}{3} \right),$$

ou

$$r \left(a + \frac{r}{3} \right) = 2 \frac{(2k - k')}{dg} \dots \dots \dots (C).$$

Esta fórmula encerra todos os phenomenos de elevação dos liquidos nos tubos capilares.

26. Supponhamos, *v. g.*, tubos da mesma materia, mergulhados no mesmo liquido, e differindo somente nos diâmetros. Esta supposição tornará k , k' , e d iguaes em todos elles; e como g he huma quantidade constante em cada lugar, o segundo membro da equação geral (C), será constante para todos os tubos, e fazendo-o igual a Z , teremos, para o tubo, cujo diâmetro fôr $2r$, e a altura da columna a

$$2r \left(a + \frac{r}{3} \right) = 2Z \dots \dots \dots (e),$$

e para o tubo, cujo diâmetro fôr r' , e a altura da columna a'

$$2r' \left(a' + \frac{r'}{3} \right) = 2Z:$$

logo

$$2r \left(a + \frac{r}{3} \right) = 2r' \left(a' + \frac{r'}{3} \right);$$

e se suppozermos os tubos extremamente delgados, relativamente á altura das columnas, e desprezarmos como inapreciaveis na observação $\frac{r}{3}$, e $\frac{r'}{3}$, teremos simplesmente

$$2ra = 2r'a',$$

ou

$$a : a' :: 2r' : 2r;$$

isto he,

As alturas das columnas reciprocas aos diametros dos tubos.

Tal era com effeito a lei, de ha muito enunciada pelos Physicos; e com effeito, o methodo empregado antes de Gay-Lussac para a medida das columnas liquidas, elevadas no interior dos tubos capilares, não era assás exacto para apreciar as pequenas quantidades $\frac{2}{3} r^2$, e $\frac{2}{3} r'^2$, que encerra a fórmula completa.

27. Se porém deixarmos a expressão (c) completa, e por ella calcularmos a elevação das columnas liquidas elevadas nos tubos, nas experiencias de Gay-Lussac atraz citadas, § 13, acharemos entre as alturas calculadas, e as observações, a concordancia a mais satisfactoria.

Calculo da elevação dos liquidos no intervalo capilar, que deixão entre si duas laminas parallelas.

28. O Professor Gay-Lussac, com huma precisão igual, á que tinha empregado na determinação das alturas das columnas liquidas elevadas nos tubos capilares, determinou a altura das laminas de liquido, que se elevão entre duas superficies de vidro parallelas, separadas por hum pequeno intervalo.

29. Para conhecer com toda a exactidão o intervalo, que separa as laminas, Gay-Lussac determina este intervalo pela interposição de quatro fios de metal de diametros iguaes; e a fim de avaliar o diametro dos fios, toma hum numero consideravel delles, e deitando-os sôbre hum mesmo plano ao lado huns dos outros, mede o intervalo total que occupaõ, e dividindo este comprimento pelo numero dos fios, tem o diametro de cada hum delles.

Por este processo, o Professor Gay-Lussac achou o seguinte resultado.

Natureza do liquido	Distancia entre as laminas	Elevação do liquido até á parte inferior da curva, que o termina	Temperatura
Agua	0 ^m ,001069.	0 ^m ,013574.	16. ^o

20. A elevação dos liquidos nesta especie deapparelhos he calculavel pela fórmula geral (A), acima achada; com tanto, que applicuemos sómente a observação, e o calculo á parte da lamina assás distante das extremidades abertas, para que não seja sensivel a inflexão, que a superficie superior do liquido toma naquella parte.

Com effeito, dentro destes limites, o liquido, elevado entre as laminas, compõe-se de hum prisma quadrangular de liquido, terminado por hum meio cylindro concavo horisontal, cujo comprimento será a largura das laminas, e o raio da base a semidistancia entre as duas laminas. Assim se chamarmos V o volume total daquelle liquido, c o comprimento do cylindro, ou largura das laminas, δ a distancia, que as separa, e a a altura do liquido até á parte inferior da curvatura; o volume V compôr-se-ha: 1.^o de hum prisma, cuja altura sendo a , e a base o rectangulo do comprimento c , e da largura δ , terá por expressão $c\delta a$: 2.^o do volume de liquido por cima daquelle prisma, o qual equivale, a hum outro prisma da mesma base, que o precedente, e da altura $\frac{1}{2}\delta$, menos a metade de hum cylindro do comprimento c , e cuja base, tendo o raio $\frac{1}{2}\delta$, terá por expressão $\frac{1}{8}\delta^2 c\pi$, a expressão deste segundo volume, será pois

$$\frac{1}{2} c \delta^2 - \frac{1}{8} \delta^2 c \pi:$$

logo

$$V = c\delta a + \frac{1}{2} c \delta^2 - \frac{1}{8} \delta^2 c \pi = c\delta a + \frac{c\delta^2}{2} \left(1 - \frac{\pi}{4}\right).$$

Para termos agora o valôr de P chamaremos d a densidade do liquido, g a intensidade da gravidade, e teremos -

$$P = dg \left\{ c\delta a + \frac{c\delta^2}{2} \left(1 - \frac{\pi}{4}\right) \right\} \dots \dots (a)$$

Achámos, § 25, $F = kC$, e $F' = k'C$, e advertindo agora, que C , que então designava a circumferencia interior do tubo, designa agora, o perymetro do rectangulo base do prisma de liquido elevado entre as laminas, o qual perymetro he igual a duas vezes a largura da lamina, e duas vezes a distancia, que as sepára, teremos - - - - -

$$C = 2c + 2\delta,$$

e por tanto

$$F = k(2c + 2\delta), \text{ e } F' = k'(2c + 2\delta) \text{ - - - (b)}$$

Substituindo os valôres (a), e (b) na expressão geral (A) de § 24, vem - - - - -

$$dg \left\{ c\delta a + \frac{c\delta^2}{2} \left(1 - \frac{\pi}{4} \right) \right\} = (2k - k')(2c + 2\delta),$$

ou

$$ca\delta + \frac{c\delta^2}{2} \left(1 - \frac{\pi}{4} \right) = \frac{(2k - k')(2c + 2\delta)}{dg},$$

ou

$$\delta \left[a + \frac{\delta}{2} \left(1 - \frac{\pi}{4} \right) \right] = \frac{2(2k - k')}{dg} \left(1 + \frac{\delta}{c} \right) \text{ - - - (b')}.$$

31. Na pratica destas observações tomaõ-se sempre laminas, cuja largura he incomparavelmente maior, que a distancia, que as sepára; de tal maneira, que a quantidade $\frac{\delta}{c}$ escapa sempre á mais delicada observação; desprezando pois esta quantidade a formula (b') reduzir-se-ha a - - - - -

$$\delta \left[a + \frac{\delta}{2} \left(1 - \frac{\pi}{4} \right) \right] = \frac{2(2k - k')}{dg} \text{ - - - - - (c')}$$

fórmula, cujo segundo membro he o mesmo, que o da fórmula (c) de § 25, e que assim como aquella, envolve todos os phenomenos da elevação dos liquidos entre as laminas planas.

32. Se suppozermos todas as laminas da mesma natureza, mergulhadas no mesmo liquido, e differindo sómente no intervalo, que as sepára; k , k' , e d seraõ os mesmos, para todas ellas, e como g he constante, o segundo membro da

Ee *

equação (1) será constante, e representando-o por z , como no § 26, teremos

Para um par de laminas, cuja distancia fôr δ , e a altura do liquido elevado a ,

$$\delta \left[a + \frac{\delta}{2} \left(1 - \frac{\pi}{4} \right) \right] = z \quad (d)$$

Para um par de laminas, cuja distancia fôr δ' , e a altura do liquido elevado a'

$$\delta' \left[a' + \frac{\delta'}{2} \left(1 - \frac{\pi}{4} \right) \right] = z,$$

e por tanto

$$\delta \left[a + \frac{\delta}{2} \left(1 - \frac{\pi}{4} \right) \right] = \delta' \left[a' + \frac{\delta'}{2} \left(1 - \frac{\pi}{4} \right) \right]$$

Finalmente quando a distancia entre as laminas se suppoz assás pequena, para que $\frac{\delta^2}{2} \left(1 - \frac{\pi}{4} \right)$, e $\frac{\delta'^2}{2} \left(1 - \frac{\pi}{4} \right)$ se confundaõ com os erros das observaões; teremos

$$\delta a = \delta' a', \text{ ou } \delta : \delta' :: a' : a;$$

isto he

As elevaões do liquido entre as laminas reciprocas aos intervalos, que as separaõ;

como de ha muito o tinhaõ annunciado os physicos, cujas observaões não eraõ neste caso, como no dos tubos, assás exactas, para reconhecerem os valores dados pelo calculo da expressaõ completa. Calculando porém pela fórmula completa a experiencia do Professor Gay, acima citada, veremos entre os resultados do calculo, e da observaõ a mesma concordancia, que nos tubos capilares.

33. A expressaõ (d) § 32, dá

$$a = \frac{z}{\delta} - \frac{\delta^2}{2} \left(1 - \frac{\pi}{4} \right),$$

a qual desprezando $\frac{\delta^2}{2} \left(1 - \frac{\pi}{4} \right)$, se reduz a

$$a = \frac{z}{\delta} \quad (\beta)$$

Mas da expressão (e) de § 26, tira-se - - - - -

$$a = \frac{2z}{2r} - \frac{2r^2}{3},$$

e desprezando $\frac{2r^2}{3}$, ficará - - - - -

$$a = \frac{2z}{2r},$$

e fazendo $2r = \delta$, virá finalmente - - - - -

$$a = \frac{2z}{\delta} - - - - - (\beta').$$

A comparação pois da expressão β da altura do liquido entre as laminas, e da expressão β' da altura do liquido nos tubos, nos mostra o principio seguinte, confirmado pela experiencia,

A elevação de hum liquido entre duas laminas, he metade da elevação do mesmo liquido em hum tubo da materia das laminas, e de hum diametro igual á distancia, que as separa.

Idéa da theoria de Laplace sóbre os phenomenos capilares.

34. A analyse, que acabamos de expôr, satisfaz com assás rigôr ás observações, para se suppôr representar os phenomenos, que por ella calculámos; he porém evidente, que esta analyse não nos appresenta a razão, pela qual, quando o liquido ascende em hum tubo, ou entre duas laminas, a sua superficie he concava para a parte superior, e pelo contrario he convexa naquelle sentido, quando o liquido he deprimido. Com tudo aquella disposição de superficies he inseparavel de taes phenomenos, e ou ella deve por consequente ser consequencia da elevação, ou da depressão, ou a elevação, e a depressão devem depender, ao menos em parte, daquellas figuras.

35. Tanto o que acabamos de notar he verdadeiro, e rigoroso, que o celebre Laplace, usando da analyse transcendente, que lhe he familiar, conseguiu fazer depender todos os phenomenos capilares da ascensão, e depressão dos liquidos, da figura tomada pelas superficies, e acomodando a

analyse ás circumstancias das observações, deo huma theoria exacta, e rigorosa dos phenomenos capilares, por meio da qual, todos elles pôdem ser previstos pelo analysta.

36. Depois de haver envolvido nas expressões analiticas as mais elegantes as leis segundo as quaes a natureza rege os grandes agregados de materia, que se movem na vastidão do espaço, na sua immortal obra da *Mechanica Celeste*; Laplace, n'hum supplemento ao mesmo tractado, envolveo em fórmulas não menos elegantes, e explicou pela hypothese, ou antes pela theoria a mais clara, e luminosa, os phenomenos dependentes da attracção capilar, cujos objectos são os athomos materiaes intangiveis, e cujo campo as distancias inapreciaveis.

Por este modo, he que os Genios verdadeiramente transcendentos, estribados nas observações exactas, e armados do calculo mais rigoroso ainda, quaes hum Newton, e hum Laplace, tração com igual facilidade as orbitas aos planetas nos espaços celestes, o caminho ás molléculas luminosas no interior dos meios, que atravessão, e a direcção aos athomos fluidos no interior dos canaes capilares!

37. Escusamos dizer, que o trabalho de Laplace na materia, que tratamos, não pôde, pela sua transcendencia, ser exposto neste tractado; mas depois de aconselharmos aos leitores, munidos dos necessarios conhecimentos, a leitura, e a meditação da theoria das acções capilares, ou supplemento ao X. livro da *Mechanica Celeste*, edição de Paris de 1806, procuraremos dar huma idéa dos fundamentos daquella theoria; como fizemos, pelo que respeita ás theorias da Electricidade, e do Magnetismo, devidas ás meditações de hum digno émulo dos Newtons, e dos Laplaces, Poisson author daquellas theorias.

Fig. 5.^a 38. Supponhamos hum liquido qualquer em equilibrio n'hum vaso *ABCD*, a sua superficie *AB* será horisontal, e plana.

Tomemos na massa liquida huma columna vertical *ab* extremamente delgada, huma simples fieira vertical de molléculas, e vejamos quaes são, além da gravidade terrestre, as forças, que sollicitão as molléculas, que compõe esta columna.

As unicas forças, que pôdem actuar sôbre a nossa columna liquida são evidentemente as attracções, que sôbre el-

la exercem as molléculas homogeneas, que a rodeiaõ, acção, que, como já mais de huma vez temos reconhecido, decresce tão rapidamente com o augmento da distancia, que se torna inapreciavel no limite, em que esta se torna sensivel.

He pois claro, que as differentes molléculas, que compõe a columna vertical, estando por todos os lados envoltas por hum stracto de liquido perfeitamente homoganeo, não só em todo o estreito campo da acção, de que tratamos; mas ainda muito além daquelle campo, não experimentarão lateralmente, ou no sentido horisontal acção alguma resultante, tendente a move-las; por quanto attrahidas igualmente em todas as direcções horisontaes, as forças, que as tiraõ, destruir-se-hão reciprocamente. O mesmo acontecerá na direcção vertical a todas as molléculas da columna, cuja distancia á superficie fôr igual, ou maior, que o raio da acção da força attractiva, que nos occupa.

Se porém considerarmos a mollécula superficial da columna, esta mollécula será attrahida de cima para baixo, e solicitada a penetrar na massa liquida pela attracção das molléculas inferiores, e obedeceria a esta acção, se a impenetrabilidade daquellas molléculas lhe não obsta-se.

Deste raciocinio estendido a toda a massa liquida se vê, que as molléculas, que constituem a superficie de qualquer liquido, terminado por huma superficie plana, são solicitadas a descer, não só em virtude da gravidade terrestre, que lhes he commum com todas as outras molléculas; mas em virtude da attracção da massa liquida, que ellas superiormente terminaõ.

39. Quando a superficie do liquido em virtude de huma causa qualquer toma huma fórma esférica concava, ou convexa, o liquido exerce ainda sôbre as molléculas, que constituem o stracto superficial huma acção attractiva; porém esta acção he diversa, da que o liquido exerce sôbre o stracto, que fórma a superficie plana.

Laplace, empregando neste caso os mesmos methodos, que empregára na Mechanica Celeste para as attracções dos esferoides, demonstra no trabalho acima citado: 1.^o, que a attracção he menor, quando a superficie do liquido he exteriormente concava, do que quando he plana; e pelo contrario he maior, que no caso do plano, quando he exterior-

mente convexa: 2.^o, que a attracção do liquido sobre o stracto superficial exteriormente concavo, he tanto excedida pela attracção sobre o stracto plano, quanto esta ultima he excedida pela attracção sobre o stracto exteriormente convexo: 3.^o, esta differença de attracções, produzida pela figura concava, ou convexa das superficies, he sempre muito menor, que a attracção sobre a superficie plana; e he reciproca ao raio da esfera.

Fig. 6.^a

40. Para formarmos huma idéa da causa productiva destas differenças; imaginemos huma columna liquida $abcde$, terminada pela superficie esférica concava cde , e tiremos por d o plano horizontal $c'de'$. Imaginemos do mesmo modo a columna liquida $efghi$, terminada pela superficie convexa ghi , e tiremos o plano horizontal $g'hi'$.

A columna $abcde$ poderá ser considerada como huma columna terminada pela superficie plana $c'de'$, mais o menisco de liquido $cc'dee'$. A columna $efghi$ pôde ser considerada como huma columna terminada pela superficie plana $g'hi'$, menos o menisco $ghii'g'$.

O calculo demonstra, que a acção attractiva do menisco para fazer ascender a columna, que termina, he sempre a mesma, ou a sua concavidade olhe a parte inferior, ou a superior: logo esta acção será subtractiva da acção do liquido sobre o plano, no primeiro caso, e aditiva no segundo; por quanto no primeiro caso, o menisco sendo positivo, ou o que he o mesmo, tendo huma existencia real, exerce huma acção debaixo para cima; quer dizer, contraria á acção do liquido sobre o plano, e no segundo o menisco sendo negativo; quer dizer, faltando na columna, não exerce a sua acção ascencional; e por conseguinte esta acção deve ser junta á acção descendente, que exerceria o plano, a qual seria enfraquecida pela existencia daquelle menisco.

Daqui resulta, que a expressão da acção do liquido sobre si mesmo, he composta de dois termos: o primeiro, positivo, he a acção do plano; o segundo, negativo, quando a superficie he exteriormente concava; e positivo, quando he exteriormente convexa, he a acção do menisco.

41. Quando a curvatura da superficie não he esférica; Laplace acha pelo calculo, que a acção do liquido sobre si mesmo, he ainda composta de dois termos; sendo o primei-

to o mesmo, que no caso da superficie esférica; e o segundo, negativo, ou positivo, como nos casos precedentes, he a semisoma das acções de duas esferas, cujos raios seriaõ o maximo, e o minimo raio osculador da superficie; no ponto da superficie liquida, que se considêra. Desta lei provêm a equação differencial parcial, que exprime a natureza da superficie, e que integrada por aproximações convenientes, dá em cada caso a figura da superficie liquida, e a acção do liquido sôbre si mesmo.

42. Depois de haver chegado pela analyse a estas importantes consequencias, Laplace as applicou aos diversos phenomenos capilares. As ascensões dos liquidos nos tubos quando a acção attractiva das suas parêdes sôbre o stracto liquido contiguo a ellas determina a forma concava da superficie; e a depressão no caso de huma superficie convexa. A elevação, ou depressão entre as laminas parallelas: a adherencia dos discos á superficie dos liquidos, que os tocaõ: as repulsões, e attracções apparentes dos objectos fluctuantes: a forma, que toma huma gôta de mercurio deposta sôbre hum plano de vidro, &c., se achaõ completamente explicados nesta theoria; não de huma maneira vaga; mas precisa, e com os valôres numericos de todas as fazes dos phenomenos.

43. Não nos cançaremos em dar idéa de taes deducções, a qual só poderia ser nimiamente imperfeita, sem o auxilio da analyse empregada pelo seu author; accrescentaremos sómente, que o Professor Gay-Lussac, creando, e apropriando a esta especie de phenomenos os meios os mais exactos de medição, de que nos pôde dar huma idéa o methodo exposto no começo desta Secção, verificou experimentalmente os resultados theoreticos de Laplace, e os achou inteiramente conformes com a experiencia.

45. Terminaremos esta Secção reflectindo, que hum grande numero de phenomenos os mais communs devem a sua existencia ás acções capilares. Em virtude desta acção, vemos todos os dias os liquidos, v. g., a agoa, ascenderem no interior dos corpos porosos, quando estes a tocaõ apenas por hum ponto, como acontece em as esponjas, as pedras absorbentes, os terrões de assucar, &c. He a capillaridade quem determina a introduccão da agoa no corpo dos vegetaes; tanto assim, que depois de separadas da planta, as suas partes

conservaõ ainda aquella propriedade. Todos os dias vemos no modo ordinario de alumiar, os corpos gôrdos fundidos ascenderem pela capillaridade ao alto do pavio para servirem ali de alimento á chamma. Bem depressa vamos entrar no estudo de huma classe inteira de phenomenos, classe taõ extensa, que constitue hum ramo particular de sciencia; phenomenos estes, que parecem depender de huma acção por extremo analogã, senaõ identica, com a acção capilar. Com effeito, as acções capilares saõ, por assim dizer, as raias communs da physica, e da chymica; e chegando a ellas, podemos dizer com alguns physylosophos:

Ubi desinit physicus, chymicus incipit.

FIM DA I.^a PARTE.

INDEX

Das Materias contidas no 2.º Volume.

SECÇÃO IV.

ELECTRICIDADE.

Phenomenos fundamentaes da electricidade - - - -	§. 1 a 15
Da existencia de dois principios electricos diversos, dos caracteres, que os distinguem, e da sua desenvolução simultanea pela fricção - - - -	,, 16 a 27
Observações sôbre a produção das propriedades electricas, por diversos meios - - - -	,, 28 a 31
Lei das attracções, e repulsões electricas - - - -	,, 32 a 40
Da dissipação da electricidade nos corpos isolados -	,, 41 a 45
Residencia da electricidade junto da superficie dos conductores, onde he contida pela pressão atmosférica - - - -	,, 46 a 56
Da influencia da figura dos conductores, sôbre a distribuição da electricidade, junto das suas superficies - - - -	,, 57 a 61
Phenomenos fundamentaes da influencia - - - -	,, 62 a 78
Theoria da electricidade - - - -	,, 79 a 86
Machina electrica - - - -	,, 87 a 93
Condensador - - - -	,, 94 a 99
Electrophoro - - - -	,, 100 a 101
Electroscopios - - - -	,, 102 a 110
Reunião do Electroscopio, e Condensador. Appare- lho de Volta - - - -	,, 111 a 113
Das attracções, e repulsões dos corpos electrizados -	,, 114 a 124
Das descargas electricas, Botelha de Leyde, Bata- rias, e apparatus analogos - - - -	,, 125 a 136
Carga por Cascata, e pilbas electricas - - - -	,, 137 a 142
Effeitos da descarga electrica - - - -	,, 143 a 156
Luz electrica - - - -	,, 157 a 158
Electricidade atmosférica, e Para-raios - - - -	,, 159 a 170
Idéa geral da electricidade por contacto - - - -	,, 171 a 174
Exame do que se passa no contacto das substan- cias heterogeneas - - - -	,, 175 a 179

Das Pilbas Voltaicas, ou apparatus electro-motôres	§. 180 a 187
Diversas fórmulas de Pilbas humidas, e sêcas - - -	„ 188 a 191
Efeito das descargas das Pilbas Voltaicas - - -	„ 192 a 196
Electricidade produzida pelo calor, e pelos orgãos de certos animaes - - - - -	„ 197 a 201

SECÇÃO V.

MAGNETISMO.

Idéas geraes sôbre o Magnetismo - - - - -	„ 1 a 15
Da existencia de dois principios magneticos diversos, e propriedades, que os distinguem - - - - -	„ 16 a 21
Desenvolvimento, e disposiçãõ dos principios magne- ticos - - - - -	„ 22 a 30
Forças directrices do Globo - - - - -	„ 31 a 36
Determinaçãõ experimental da direcçãõ, e intensida- de das forças magneticas do Globo - - - - -	„ 37 a 47
Variaçãõ da direcçãõ, e intensidade das forças ma- gneticas, com os lugares, e os tempos - - - - -	„ 48 a 57
Da influencia reciproca dos magnetes, huns sôbre os outros, e sôbre os corpos magnetisaveis, no esta- do natural - - - - -	„ 58 a 65
Magnetisaçãõ - - - - -	„ 66 a 71
Lei das attracções, e repulsões magneticas - - -	„ 72 a 73
Distribuiçãõ do magnetismo nas barras magnetisadas pelo methodo de Coulomb - - - - -	„ 74 a 77

SECÇÃO VI.

ELECTRICIDADE DINAMICA.

Noções preliminares sôbre os phenomenos electro-dina- micos, e electro-magneticos - - - - -	„ 1 a 5
Da acçãõ reciproca das correntes voltaicas, e do modo de a observar - - - - -	„ 6
Acçãõ das partes successivas de huma mesma cor- rente voltaica - - - - -	„ 7
Acçãõ das correntes voltaicas parallelas - - - - -	„ 8 a 13
Acçãõ reciproca das correntes voltaicas definidas, e naõ parallelas - - - - -	„ 14 a 17
Acçãõ reciproca de huma corrente indefinida, e hu- ma corrente definida - - - - -	„ 18 a 21
Acçãõ reciproca das correntes indefinidas, naõ pa- rallelas - - - - -	„ 22 a 24
Acçãõ do Globo, sôbre as correntes voltaicas - - -	„ 25 a 33

Das propriedades dos cylindros electro-dinamicos -	§.	34 a 37
Acção reciproca das correntes voltaicas, e dos magnetes -	„	38 a 46
Da magnetisação por meio das correntes voltaicas -	„	47 a 50
Conclusões theoreticas sôbre o modo de considerar o magnetismo -	„	51 a 52
Extracto de huma Memoria sôbre a theoria do Magnetismo por M. Poisson -	Pag.	25 a 42
Dos circuitos thermo-electricos -	Pag.	42
Sôbre algumas novas experiencias thermo-electricas, feitas pelo Barão Fourier, e Ørsted -	Pag.	42 a 44

S E C Ç Ã O VII.

OPTICA.

Noções preliminares -	§.	1 a 7
Propagação da luz, e sua natureza -	„	8 a 20
Lei da propagação da luz nos meios homogeneos -	„	21 a 23
Das Imagens formadas na Camara escura, e das sombras -	„	24 a 31
Lei geral da reflexão -	„	32 a 39
Aplicação da lei da reflexão, aos espelhos de figuras diversas -	„	40 a 52
Determinação experimental do fóco principal dos espelhos concavos, e convexos -	„	53
Espelho concavo -	„	54
Espelho convexo -	„	55
Idéa dos apparelhos para dirigir o raio solar, nas experiencias de optica -	„	56 a 58
Da refração em geral -	„	59 a 68
Lei geral da refração simples, ou ordinaria -	„	69 a 75
Determinação da razão de refração dos diversos meios -	„	76 a 86
Refração da luz através dos vidros terminados por faces parallelas -	„	87 a 88
Da refração através dos vidros, terminados por superficies esphéricas, ou das lentes -	„	89 a 100
Investigação das causas physicas da reflexão, e da refração -	„	101 a 127
Dos casos em que a refração se muda em reflexão total -	„	128 a 138
Experiencias sôbre a mudança da refração em reflexão total -	„	139 a 144
Da determinação da razão de refração nos corpos opacos -	„	145 a 147

Do poder refrigente dos corpos - - - - -	§. 148 a 149
Considerações sobre a refração através dos prismas - - - - -	„ 150 a 153
Decomposição da luz directa - - - - -	„ 154 a 159
Explicação da decomposição da luz pela diversa refrangibilidade dos raios, que a compõe, e experiências de Newton em apoio da mesma explicação - - - - -	„ 160 a 169
Decomposição da luz, pela reflexão na segunda superfície dos meios refringentes - - - - -	„ 170 a 171
Da reflexão irregular dos raios simples - - - - -	„ 172 a 176
Dos meios de simplificar com a maior perfeição os raios heterogêneos, que compõe a luz inerte - - - - -	„ 177 a 184
Divisão do Espectro, em sete côres principais, e relação achada por Newton sobre a largura das faixas do Espectro, occupadas por cada huma dellas - - - - -	„ 185 a 190
Recomposição da luz, formação da côr branca - - - - -	„ 191 a 197
Distincção entre as côres simples, e compostas - - - - -	„ 198 a 202
Método de Newton para a determinação da côr resultante da combinação de quaesquer proporções das côres primitivas - - - - -	„ 203 a 206
De alguns phenomenos naturaes dependentes dos principios expostos - - - - -	„ 207 a 211
Dos aneis corados - - - - -	„ 212 a 230
Anéis produzidos pelas côres simples - - - - -	„ 231 a 239
Theoria physica dos phenomenos antecedentes: Accessos de facil reflexão, e de facil transmissão - - - - -	„ 240 a 255
Das côres dos corpos opacos - - - - -	„ 256 a 260
Noções fundamentaes sobre a refração dupla, ou extraordinaria - - - - -	„ 261 a 275
Método de Malus, para medir a distancia radial. Idéa da lei da refração dupla, ou extraordinaria - - - - -	„ 276 a 280
Sobre a theoria da refração dupla - - - - -	„ 281 a 282
Apparencias causadas pela visão através dos cristaes dotados da refração dupla, e especialmente do Spato de Islandia - - - - -	„ 283 a 286
Phenomenos fundamentaes da polarisação da luz - - - - -	„ 287 a 289
Idéa de Newton, sobre os pólos das molléculas luminosas - - - - -	„ 290 a 294
Explicação dos phenomenos de polarisação, provindos da refração da luz através dos cristaes dotados da refração dupla, especialmente do Spato de Islandia - - - - -	„ 295 a 298
Definições de certas expressões, que empregaremos, tratando da polarisação da luz - - - - -	„ 299 a 302
Polarisação da luz pela reflexão, na superficie dos meios transparentes - - - - -	„ 303 a 314

Acção das superficies reflectidoras, sobre os raios de luz polarizada - - - - -	„ 315 a 325
Leis principaes da polarisação completa - - - - -	„ 327 a 334
Phenomenos de polarisação, em que a luz se divide em raios heterogeneos - - - - -	„ 335 a 346
Diffracção da luz - - - - -	„ 347 a 353
Dos olhos, e da visão - - - - -	„ 354 a 363
Dos myopes, e dos presbytas - - - - -	„ 364 a 368
Noção do achromatismo - - - - -	„ 369 a 375

S E C Ç A Õ VIII.

PHENOMENOS CAPILARES.

Idéa geral dos phenomenos capilares - - - - -	„ 1 a 9
Determinação da elevação dos liquidos no interior dos tubos capilares - - - - -	„ 10 a 14
Calculo da elevação dos liquidos nos tubos capilares - - - - -	„ 15 a 27
Calculo da elevação dos liquidos no intervalo capilar, que deixão entre si duas laminas parallelas - - - - -	„ 28 a 33
Idéa da theoria de Laplace sobre os phenomenos capilares - - - - -	„ 34 a 45

Fim do Index.

N. B. As erratas deste II. volume, serão impressas no III.

Por não poderem ser impressas como diz seu A. no terceiro Volume, veja-se no quinto.

317 a 327	Agua, das propriedades reflectivas, sobre os raios de
327 a 334	das polarizadas
334 a 340	Estudo sobre a polarização completa
340 a 346	Phenomenos de polarização, em que a luz se divide
346 a 353	em raios detegidos
353 a 363	Phenomenos de luz
363 a 368	Das ondas, e da luz
368 a 372	Das ondas, e dos prismas
372 a 377	Notas de astronomia

S E C C A O V I I I

PHENOMENOS CAPILARES

1 a 2	Nota geral dos phenomenos capillares
2 a 14	Intensidade da elevação dos líquidos no interior
14 a 17	dos tubos capillares
17 a 27	Calculo da elevação dos líquidos nos tubos capillares
27 a 33	Calculo da elevação dos líquidos no interior capil-
33 a 38	lar, que se eleva sobre o nivel da superfície livre
38 a 42	Nota de teoria de Laplace sobre os phenomenos ca-
42 a 45	pillares

Fim do Index.

M. B. As cartas de este II volume, serão impressas no III.

CORRECÇÕES DO 1.º VOLUME.

SECÇÃO I.

Pag.	Lin.	Erros.	Emendas.
5	10	a segunda divisaõ	Lêa-se: a primeira divisaõ
6	22	aC	ac
6	23	CC'	cc'
19	37	mv'	mv
20	4	$V' = 0$	$v' = 0$
21	24	naõ cita figura	fig. 8. ²
26	9	no tempo $2T$	no tempo T
38	31	AB	AC
44	22	TV	V
47	15	fig. 16	fig. 28.
48	3	de A para B	de B para A
52	15	naõ cita figura	fig. 34.
53	16	fig. 34	fig. 36.
55	19	dos liquidos	dos sólidos, e liquidos
65	32	$AB; BD$	$AB: CD$
71	15	alturas	pressões
74	20	os physicos francezes	os physicos
75	12	$Aa'' = Aa'$	$Aa'' = Aa'$
76	5	BD	$B'D$
79	20	§. 132.	§. 138.
83	25	fig. 51.	fig. 54.
84	17	fig. 52.	fig. 55., e nesta fig. ponha-se p em lugar de P
85	7	as pressões que tendem	a pressão que tende
85	8	saõ	he
85	26	fig. 53	fig. 51; e nesta fig. mude-se o'' para o angulo do tubo t''' , e ponha-se c' ao nivel do liqui- do do frasco C
85	30	na , do frasco B	no liquido do frasco B .
86	16	no tubo t'	no tubo t''
86	22	por t	por t'
87	4	columna Dd'	columna dd'
87	17	na fig. 15	na fig. 53
88	37	fig. 54	fig. 57
89	16	fig. 55	fig. 59
90	6	fig. 57	fig. 52
92	26	relativante	relativamente

SECCÃO II.

Pag.	Lin.	Erros.	Emendas.
15	14	6,9445	Lêa-se: 6,9444
15	18	5,8334	5,6945
16	34	$c' = \frac{P'(t'-t) - P(100 - \frac{1}{2}(t+t'))}{P}$	$c' = \frac{P'(t'-t) - P(100 - \frac{1}{2}(t+t'))}{P}$
17	3	$c' = \frac{P'(t'-t) - P(100 - \frac{1}{2}(t+t'))}{P}$	$c' = \frac{P'(t'-t) - P(100 - \frac{1}{2}(t+t'))}{P}$
17	7	$P = 26,61$	$P = 29,61$
17	7	$t = 12,777,8$	$t = 12,7778$
17	9	$t - t' = 6,9445$	$t' - t = 6,9444$
17	11	$c' = 568,484$	$c' = 568,474$
17	15	$t - t' = 5,8334$	$t' - t = 5,6945$
22	36	determina	termina
23	3	B'	B
23	4	C'	C
23	8	B'	B
25	6	$c'' = \frac{c'Q - mct}{m't}$	$c'' = \frac{c'Q - met}{m't}$
28	36	$s : S :: t d^2 : C D^2$	$s : S :: c d^2 : C D^2$
31	4	§ 51.	§ 50.
31	15	§ 51.	§ 50.
35	11	isto a $\frac{T + T'}{2}$	isto he a $\frac{T + T'}{2}$
36		ultima linha	no denominador da expressão em lugar de $-\log(1 - ad)$ lêa-se $-\log(1 - \frac{1}{2} ad)$
37	2	por m	por $\frac{1}{m}$
39	22	§ 65.	§ 66.
41	7	1,0077	1,007
42	37	á primeira	á primeira vista
45	1	propagação	propagação
46	29	§ 59.	§ 60.
48	2	só seja absorvida	só seja absorvida
48	3	reflectidor	reflectidos
50	14	estando	estando
51	8 e 11	eixo e	eixo C
52	ult.	$xy + 2\delta xy(T' - T) + \delta^2 xy(T' - T)^2$	$xy + 2\delta xy(T' - T) + \delta^2 xy(T' - T)^2$
55	30	$x' = x(1 + d't - 2 dt)$	$x' = x(1 + d't - 2 dt)$
58		penultima - - diverções	diversos
59	30	$V' + V' x t$	$V' + V' x$
59	33	$V' + V' x t$	$V' + V' x$
63	36	§ 91.	§ 92.
64	34	§ 91.	§ 92.
64	38	continuar	continuar

Pag.	Lin.	Erros.	Emendas.
65	1	§ 93.	§ 94.
67	8	$V' = V + \frac{V(t' - t)}{360 \frac{3}{4} + t}$	$V' = V + \frac{V(t' - t)}{266 \frac{3}{4} + t}$
74	34	§ 99. e 100.	§ 100. e 101.
80		ultima - chamando V	chamando V'
81	2	$0^{m,76}: P - a :: n(V + 100Vd): V$	$0^{m,76}: P - a :: n(V + 100Vd): V'$
81	4	$V =$	$V' =$
81	6	$\log V =$	$\log V' =$
89	27	introduzido	introduzido
90	29	Physico	Physico
91	31	do π'	de π'
93	16	será	pesará
94	5	$\frac{\pi p' (1 + dt)}{(1 + t'.0,00375) 0^{m,76}}$	$\frac{\pi p' (1 + dt)}{(1 + t'.0,00375) 0^{m,76}}$
94		ultima - no quarto termo da equa- ção $\frac{\pi p' (1 + t')}{(1 + t'.0,00375) 0^{m,76}}$	$\frac{\pi p' (1 + dt')}{(1 + t'.0,00375) 0^{m,76}}$
95	15	$V + (1 + t^{III}.0,00375) \frac{0^{m,76}}{p^{III}}$	$V(1 + t^{III}.0,00375) \frac{0^{m,76}}{p^{III}}$
96	9	na expressão B , por P^{III} , lê-se P^{III}
97	14	§ 123 e 124	§ 125. e 126.
99	13	na expressão, por F , lê-se F'

S E C Ç A Õ III.

8	21	Transmittido	Transmittidos
11	12	rareficações	rarefacciones
15	26	de peso p	do peso p
19	12	ao principio	§ 39
22	13	§ 40	§ 44
23	45	semitom	semitono
25	13	coqdas	cordas
34	22	rareficações	rarefacciones
35	1	rareficações	rarefacciones
35	10	§ 49.	§ 69
36	23	e 28 arificio	orificio
36		lin. ultima, e pag. seguintes T	t
37	22	$\frac{5v}{5c'}$	$\frac{5v}{2c'}$
37	17	no principio	§ 72
40	35	emblo	embôlo
40		ult. igual	dobrado
43	10	§ 80.	§ 81
43	28	fôrma	fôrma
43	35	emblo	embôlo
44	33	delgada e,	delgada, e

(A)

Nomes das substancias refringentes	Densidade das substancias	Razão entre o Seno de incidencia, e o Seno de refração, para o raio de refrangibilidade media	Poder refringente
Sulfato de Barita - - -	4,27	23 : 14	0,3979
Ar - - - - -	0,0012	3201 : 3200	0,5208
Vidro de Antimonio -	5,28	17 : 9	0,4864
Sulfato de Cal - - -	2,252	61 : 41	0,5386
Vidro ordinario - - -	2,58	31 : 20	0,5436
Cristal de rocha - - -	2,65	25 : 16	0,5450
Spatho de Islandia - -	2,72	5 : 3	0,6536
Sal gemma - - - -	2,143	17 : 11	0,6477
Alumen - - - - -	1,714	35 : 24	0,6570
Borax - - - - -	1,714	22 : 15	0,6716
Nitro - - - - -	1,9	32 : 21	0,7079
Sulfato de ferro - - -	1,715	303 : 200	0,7551
Acido sulfurico - - -	1,7	10 : 7	0,6124
Agoa da chuva - - -	1,0	529 : 396	0,7845
Goma arabica - - - -	1,375	31 : 21	0,8574
Alcool rectificado - -	0,866	100 : 73	1,0121
Camphora - - - - -	0,996	3 : 2	1,2551
Azeite de Oliveira - -	0,913	22 : 15	1,2607
Oleo de linhaça - - -	0,932	40 : 27	1,2819
Essencia de therebentina	0,874	25 : 17	1,3222
Alambre - - - - -	1,04	14 : 9	1,3654
Diamante - - - - -	3,4	100 : 41	1,4556

(A)

Banco Intercontinental de São Paulo S.A.	Denominação das substâncias registradas	Quantidade em toneladas	Valor em contas de receitas
1.100	Diamante	14	1.100
1.100	Alumínio	14	1.100
1.100	Essência de theobroma	14	1.100
1.100	Óleo de linhaça	14	1.100
1.100	Árvore de Oliveira	14	1.100
1.100	Camphora	14	1.100
1.100	Alcool rectificado	14	1.100
1.100	Goma arábica	14	1.100
1.100	Água da chuva	14	1.100
1.100	Ácido sulfúrico	14	1.100
1.100	Sulfato de ferro	14	1.100
1.100	Níquel	14	1.100
1.100	Borax	14	1.100
1.100	Alumínio	14	1.100
1.100	Sel gemma	14	1.100
1.100	Spanho de Islandia	14	1.100
1.100	Castal de iócha	14	1.100
1.100	Vidro ordinario	14	1.100
1.100	Sulfato de Cal	14	1.100
1.100	Vidro de Ammonio	14	1.100
1.100	Ar	14	1.100
1.100	Sulfato de Fátis	14	1.100

(B)

<i>Nomes dos Gases</i>	<i>Densidades dos gases expressas na do ar como unidade</i>	<i>Poderes refrin-gentes expres-sos no do ar co-mo unidade</i>
Ar athmosferico - - - - -	1,00000	1,00000
Oxigenio - - - - -	1,10359	0,86161
Azote - - - - -	0,96913	1,03408
Hydrogenio - - - - -	0,07321	6,61436
Ammonia - - - - -	0,59669	2,16851
Acido Carbonico - - - - -	1,51961	1,00476
Hydrogenio carburetado - - - - -	0,57072	2,09270
Hydrogenio mais carburetado - - - - -	0,58825	1,81860
Gaz acido hydrochlorico - - - - -	1,24740	1,19625

Tudo na temperatura 0°, e sôb a pressaõ de 0^m,76 de mercurio.



Tubo na temperatura 0°, e sob a pressao de cm ⁷⁵ de mercurio.		
Nome do Gas	Densidade do Gas na de de 1000 de volume de agua	Densidade do Gas na de de 1000 de volume de agua
Ar atmosférico - - - - -	1,0000	1,0000
Oxigenio - - - - -	1,1052	1,1052
Azoto - - - - -	0,9703	0,9703
Hydrogenio - - - - -	0,0712	0,0712
Ammonia - - - - -	0,5962	0,5962
Acido Carbonico - - - - -	1,5291	1,5291
Hydrogenio carbonado - - - - -	0,5732	0,5732
Hydrogenio nio carbonado - - - - -	0,9882	0,9882
Gas acido hydrochlorico - - - - -	1,2720	1,2720



(B)

Densidad del gas en el momento de su salida del aparato	Densidad del gas en el momento de su salida del aparato	Nombre del Gas
1,0000	1,0000	Air atmosférico
0,8810	1,1033	Oxígeno
1,07108	0,9691	Azote
0,61410	0,7511	Hydrogenio
2,1681	0,5660	Ammonia
1,00170	1,2191	Acido Carbonico
1,00170	0,5702	Hydrogenio carbonado
1,81800	0,5882	Hydrogenio nitrado
1,19022	1,2770	Gas acido hydrochlorico

Todo en temperatura 0°, e sgd a presión de 760 de mercurio.



(C)

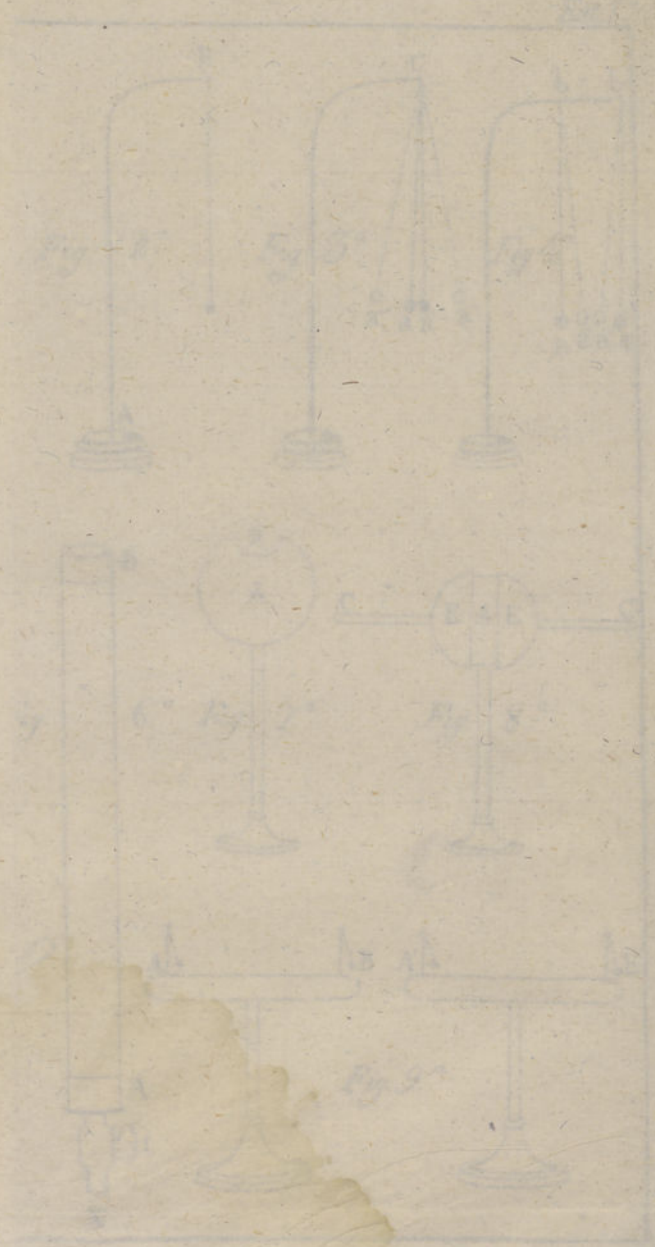
<i>Anéis</i>	<i>Rôxo extremo</i>	<i>Limite do rôxo e indigo</i>	<i>Limite do indigo e azul</i>	<i>Limite do azul e verde</i>	<i>Limite do verde e amarello</i>	<i>Limite do amarello e alaranjado</i>	<i>Limite do alaranjado e vermelho</i>	<i>Vermelho extremo</i>
1.º Anel								
$e_1 \dots\dots$	1,99849	2,16154	2,25671	2,42071	2,61866	2,80899	2,93207	3,172206
$E_1 = 3e_1$	5,99547	6,48462	6,77013	7,26213	7,85598	8,42697	8,79621	9,516618
2.º Anel								
$e_2 = 5e_1$	9,99245	10,80770	11,28355	12,10355	13,09330	14,04495	14,66035	15,861030
$E_2 = 7e_1$	13,98943	15,13078	15,79697	16,94497	18,33062	19,66293	20,52449	22,205442
3.º Anel								
$e_3 = 9e_1$	17,98641	19,45386	20,31039	21,78639	23,56794	25,28091	26,38863	28,549854
$E_3 = 11e_1$	21,98339	23,77694	24,82381	26,62781	28,80526	30,89889	32,25277	34,894266
4.º Anel								
$e_4 = 13e_1$	25,98037	28,10002	29,33723	31,46923	34,04258	36,51687	38,11691	41,238678
$E_4 = 15e_1$	29,97735	32,42310	33,85065	36,31065	39,27990	42,13485	43,98105	47,583090
5.º Anel								
$e_5 = 17e_1$	33,97433	36,74618	38,36407	41,15207	44,51722	47,75283	49,84519	53,927502
$E_5 = 19e_1$	37,97131	41,06926	42,87749	45,99349	49,75454	53,37081	55,70923	60,271914
6.º Anel								
$e_6 = 21e_1$	41,96829	45,39234	47,39091	50,83491	54,99186	58,98879	61,57347	66,616326
$E_6 = 23e_1$	45,96527	49,71542	51,90433	55,67633	60,22918	64,60677	67,43761	72,960738
7.º Anel								
$e_7 = 25e_1$	49,96225	54,03850	56,41775	60,51775	65,46650	70,22475	73,30175	79,305150
$E_7 = 27e_1$	53,95923	58,36158	60,93117	65,35917	70,70382	75,84273	79,16589	85,649562

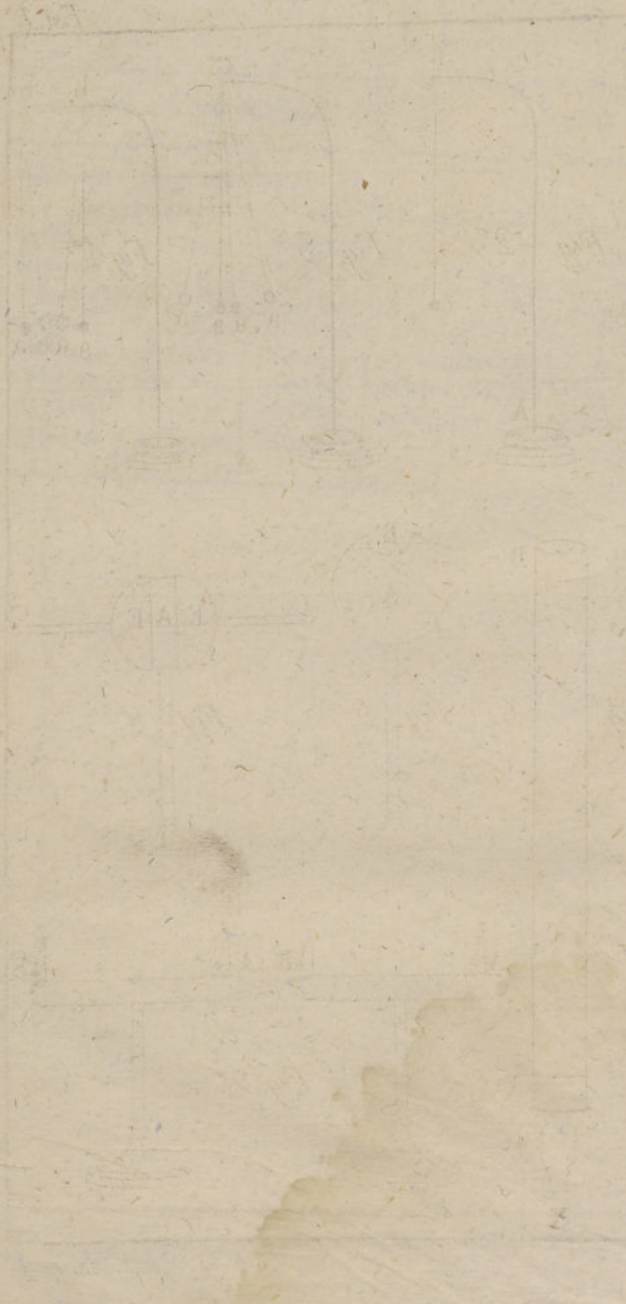
(D)

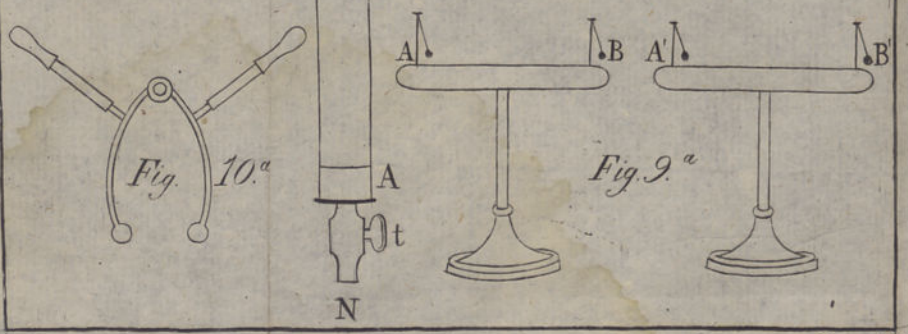
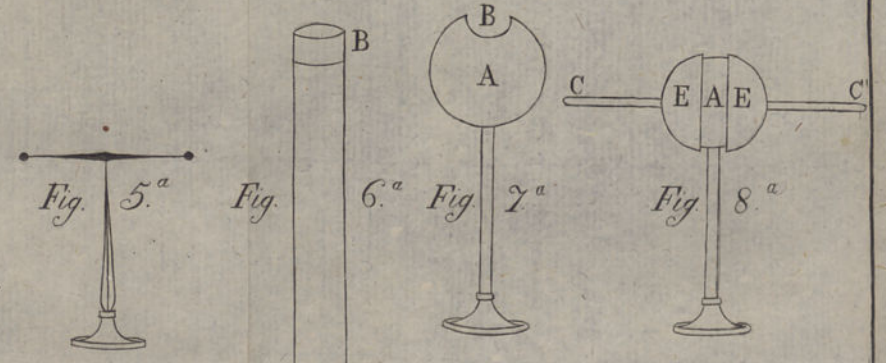
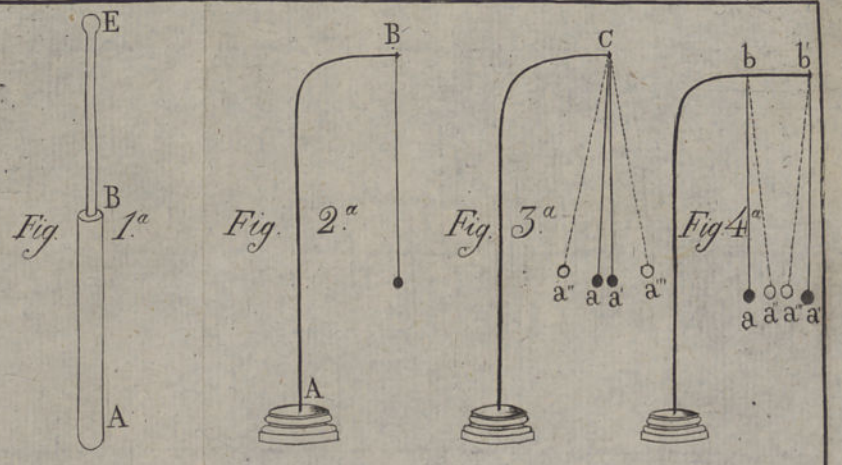
Côres reflectidas		Espessuras das laminas em milio- nessimas de pollegada ingleza		
		de ar	de agoa	de vidro
1. ^a Ordem	Mui negro - - - - -	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{10}{31}$
	Negro - - - - -	1	$\frac{3}{4}$	$\frac{20}{31}$
	Começo do negro - - - - -	2	$1\frac{1}{2}$	$1\frac{2}{7}$
	Azul - - - - -	$2\frac{2}{5}$	$1\frac{4}{5}$	$1\frac{11}{20}$
	Branco - - - - -	$5\frac{1}{4}$	$3\frac{7}{8}$	$3\frac{2}{5}$
	Amarello - - - - -	$7\frac{1}{9}$	$5\frac{1}{3}$	$4\frac{3}{5}$
	Alaranjado - - - - -	8	6	$5\frac{1}{6}$
	Vermelho - - - - -	9	$6\frac{3}{4}$	$5\frac{4}{5}$
	Rôxo - - - - -	$11\frac{1}{6}$	$8\frac{3}{4}$	$7\frac{1}{5}$
	Indigo - - - - -	$12\frac{5}{6}$	$9\frac{5}{8}$	$8\frac{2}{11}$
2. ^a Ordem	Azul - - - - -	14	$10\frac{1}{2}$	9
	Verde - - - - -	$15\frac{1}{8}$	$11\frac{1}{3}$	$9\frac{5}{7}$
	Amarello - - - - -	$16\frac{2}{7}$	$12\frac{1}{5}$	$10\frac{5}{5}$
	Alaranjado - - - - -	$17\frac{2}{9}$	13	$11\frac{1}{9}$
	Vermelho brilhante - - - - -	$18\frac{1}{3}$	$13\frac{3}{4}$	$11\frac{5}{6}$
	Escarlate - - - - -	$19\frac{2}{3}$	$14\frac{3}{4}$	$12\frac{2}{3}$
	Purpura - - - - -	21	$15\frac{3}{4}$	$13\frac{11}{20}$
	Indigo - - - - -	$22\frac{1}{10}$	$16\frac{4}{7}$	$14\frac{1}{4}$
	Azul - - - - -	$23\frac{2}{5}$	$17\frac{11}{20}$	$15\frac{1}{10}$
	Verde - - - - -	$25\frac{1}{5}$	$18\frac{9}{10}$	$16\frac{1}{4}$
3. ^a Ordem	Amarello - - - - -	$27\frac{1}{7}$	$20\frac{1}{3}$	$17\frac{1}{2}$
	Vermelho - - - - -	29	$21\frac{3}{4}$	$18\frac{5}{7}$
	Vermelho azulado - - - - -	32	24	$20\frac{2}{3}$
	Verde azulado - - - - -	34	$25\frac{1}{2}$	22
	Verde - - - - -	$35\frac{2}{7}$	$26\frac{1}{2}$	$22\frac{3}{4}$
4. ^a Ordem	Verde amarellado - - - - -	36	27	$23\frac{2}{9}$
	Vermelho - - - - -	$40\frac{1}{3}$	$30\frac{1}{4}$	26
	Azul esverdiado - - - - -	46	$34\frac{1}{2}$	$29\frac{2}{3}$
5. ^a Ordem	Vermelho - - - - -	$52\frac{1}{2}$	$39\frac{3}{8}$	34
	Azul esverdiado - - - - -	$58\frac{3}{4}$	44	38
6. ^a Ordem	Vermelho - - - - -	65	$48\frac{3}{4}$	42
	Azul esverdiado - - - - -	71	$53\frac{1}{4}$	$45\frac{4}{5}$
7. ^a Ordem	Branco avermelhado - - - - -	77	$57\frac{3}{4}$	$49\frac{2}{3}$

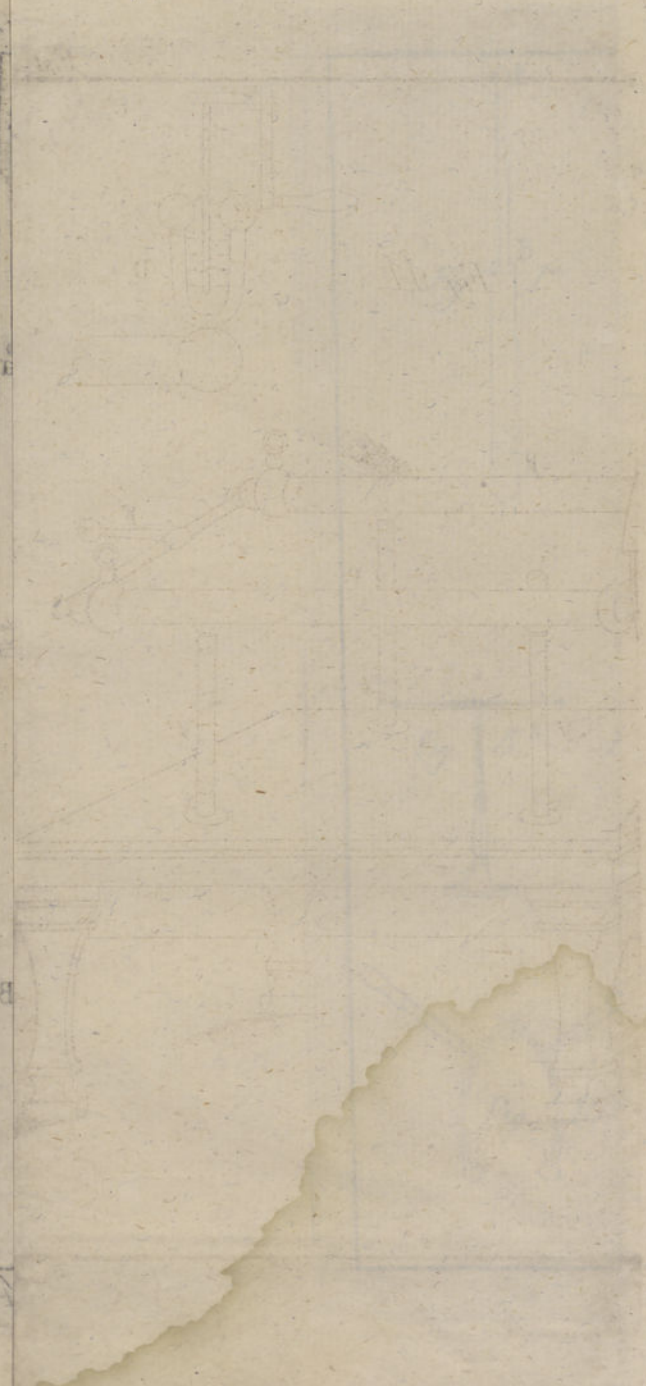
(E)

Côres	Comprimentos dos accessos		
	No vacuo	Na agoa	No vidro
Rôxo extremo - - - - -	3,99816	2,99773	2,57870
Limite do rôxo, e indigo - - -	4,32436	3,24231	2,78908
Limite do indigo, azul - - - -	4,51475	3,38507	2,91188
Limite do azul, e do verde - -	4,84284	3,63107	3,12350
Limite do verde, e amarello - -	5,23886	3,92799	3,37891
Limite do amarello, e alaranjado	5,61963	4,21349	3,62450
Limite do alaranjado, e vermelho	5,86586	4,39811	3,78331
Vermelho extremo - - - - -	6,34628	4,75831	4,09317









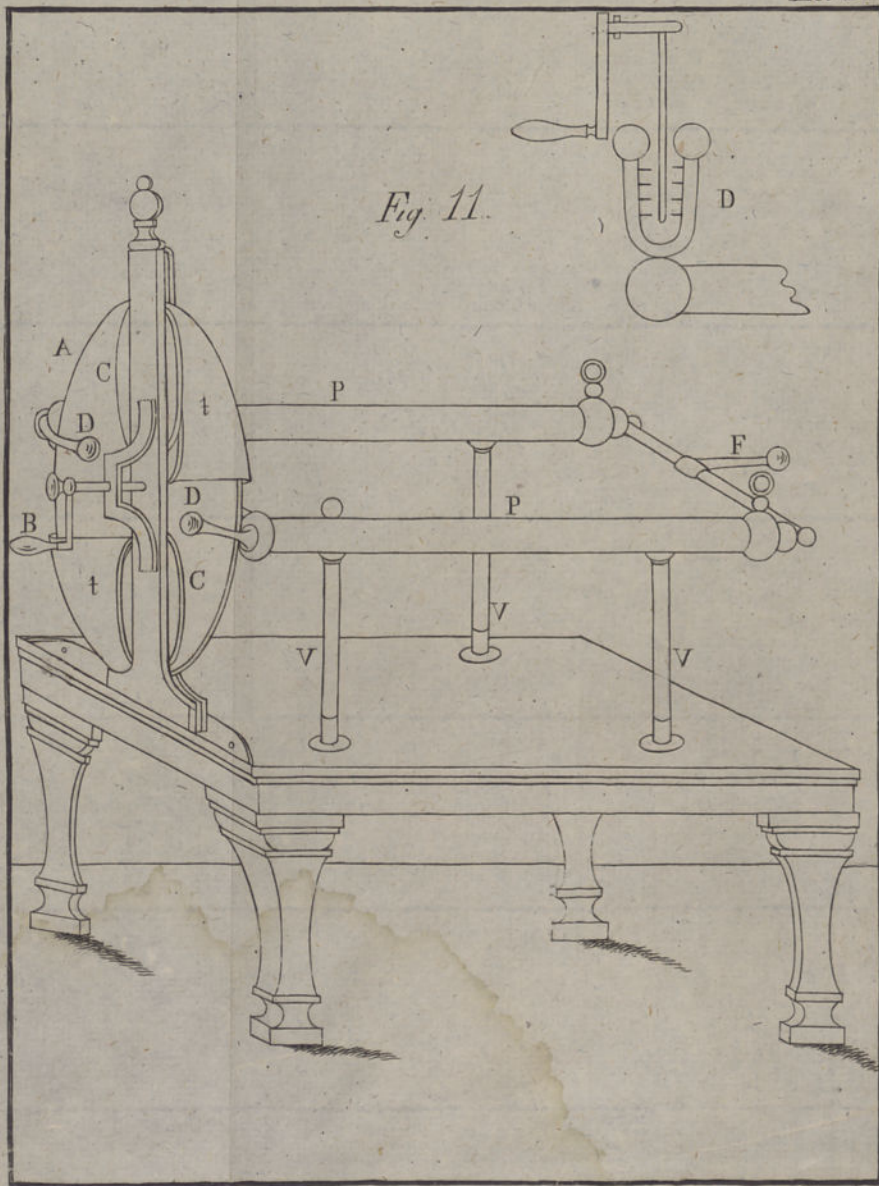
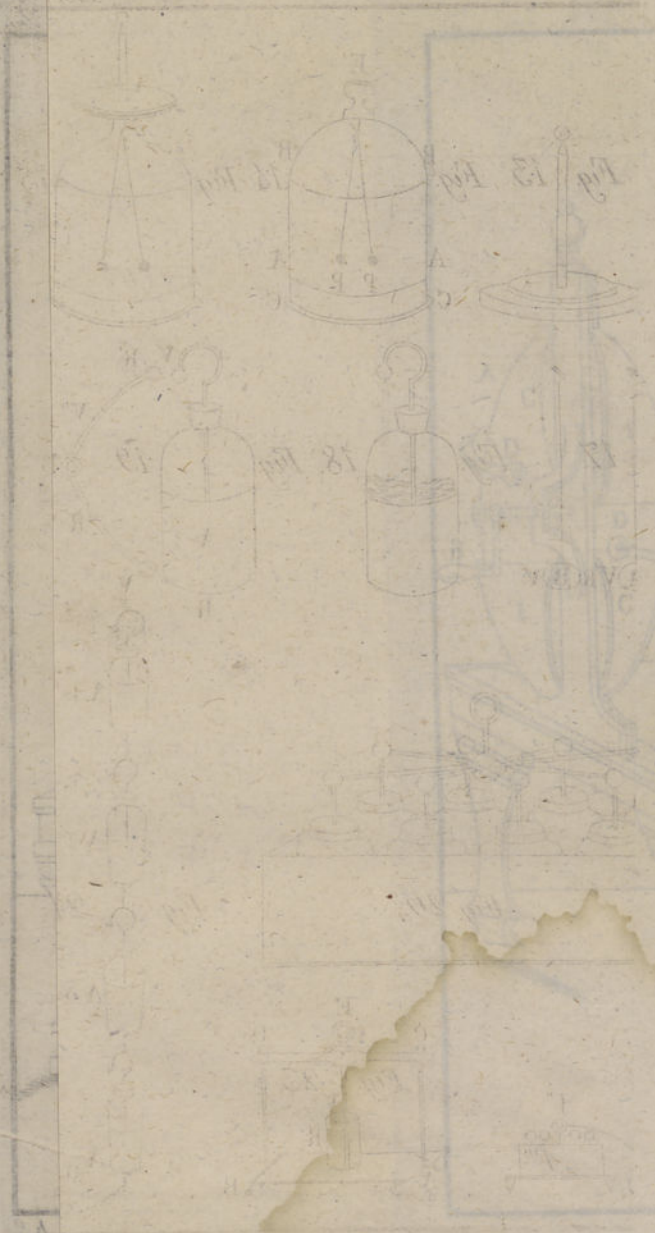
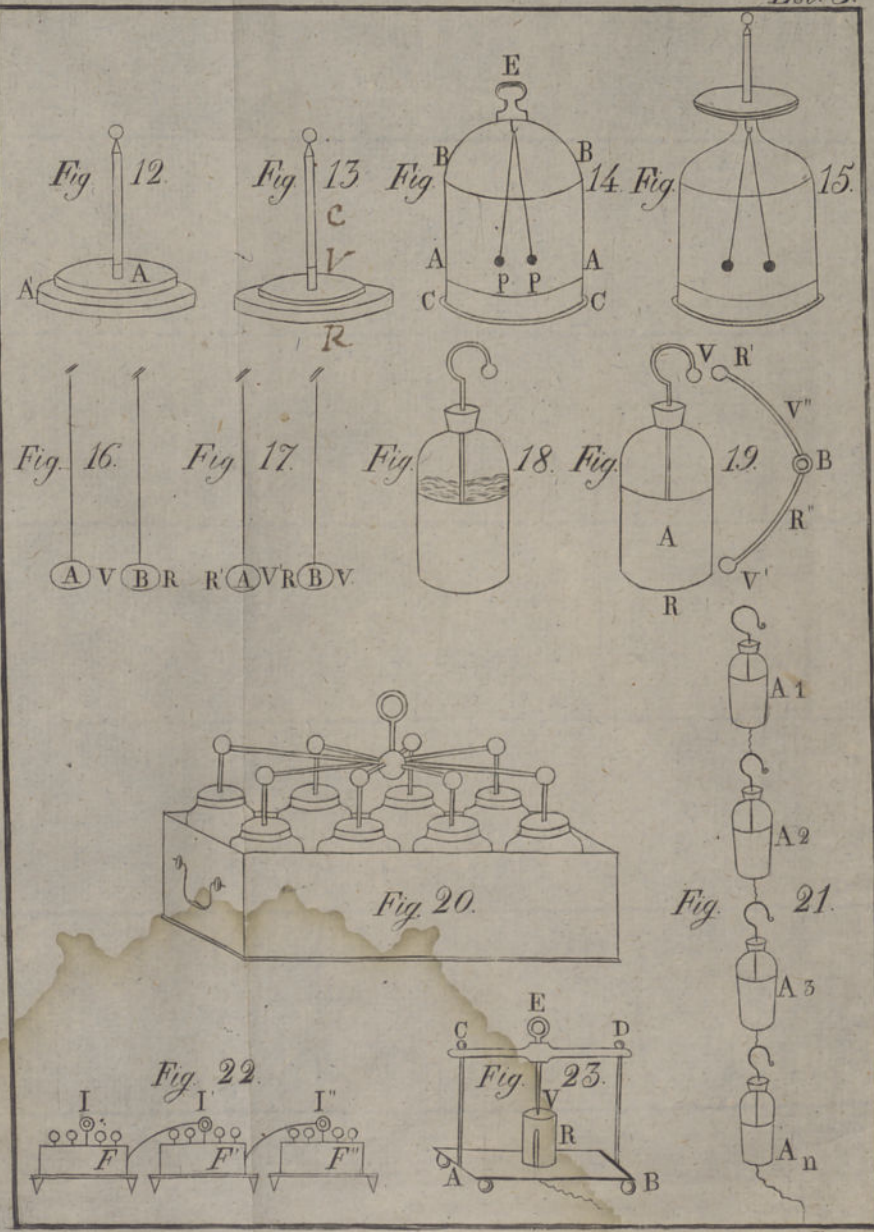
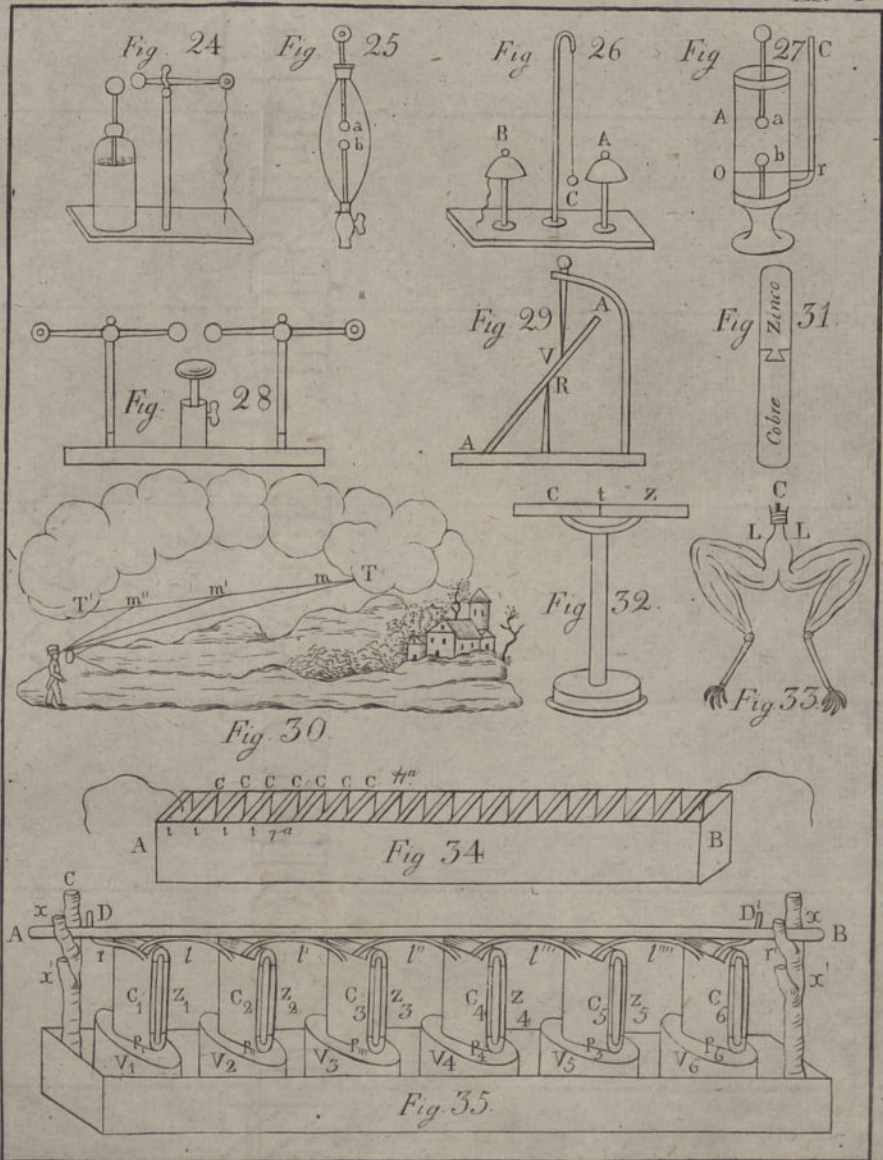


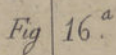
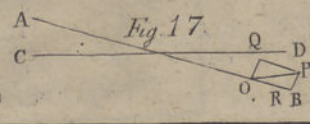
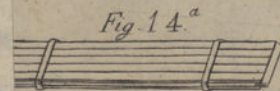
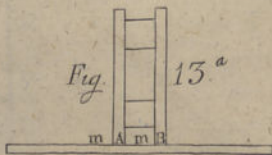
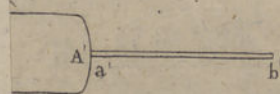
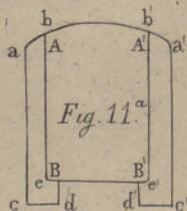
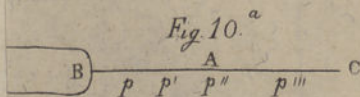
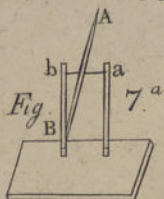
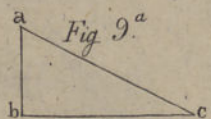
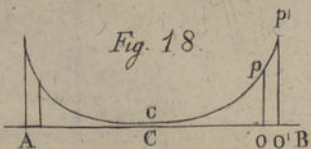
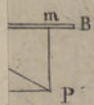
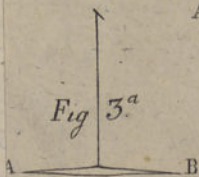
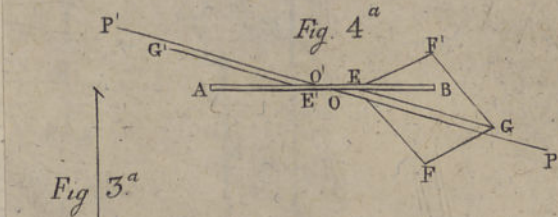
Fig. 11.

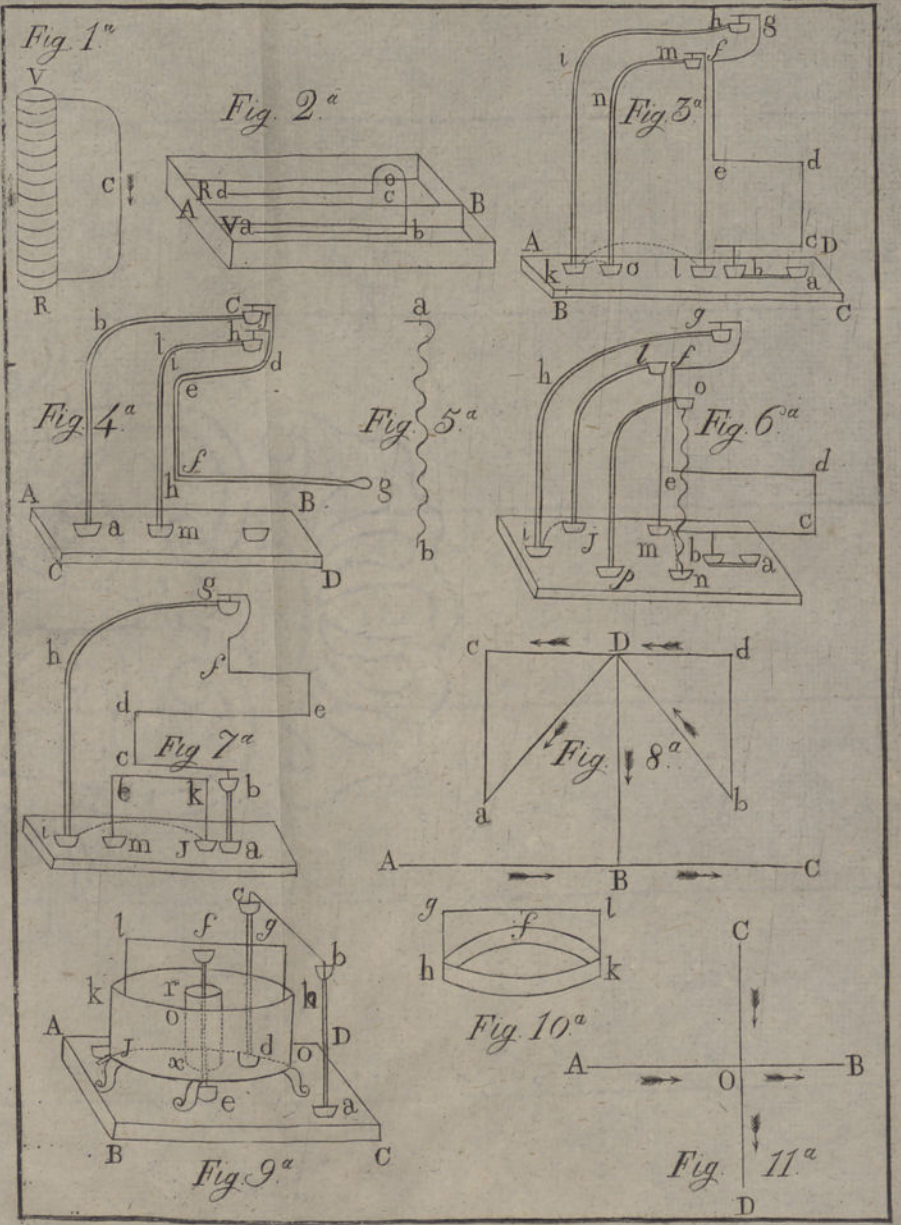


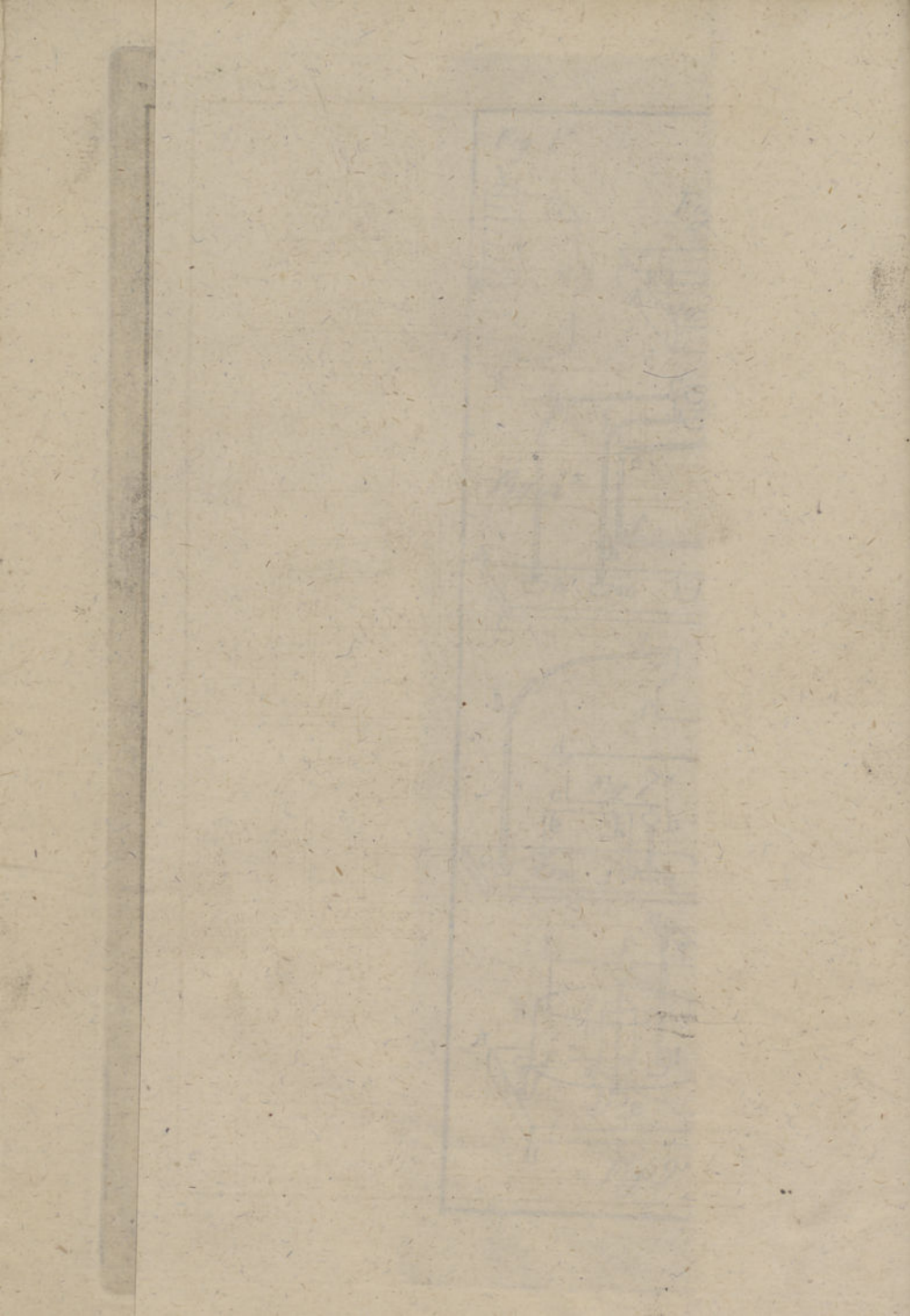


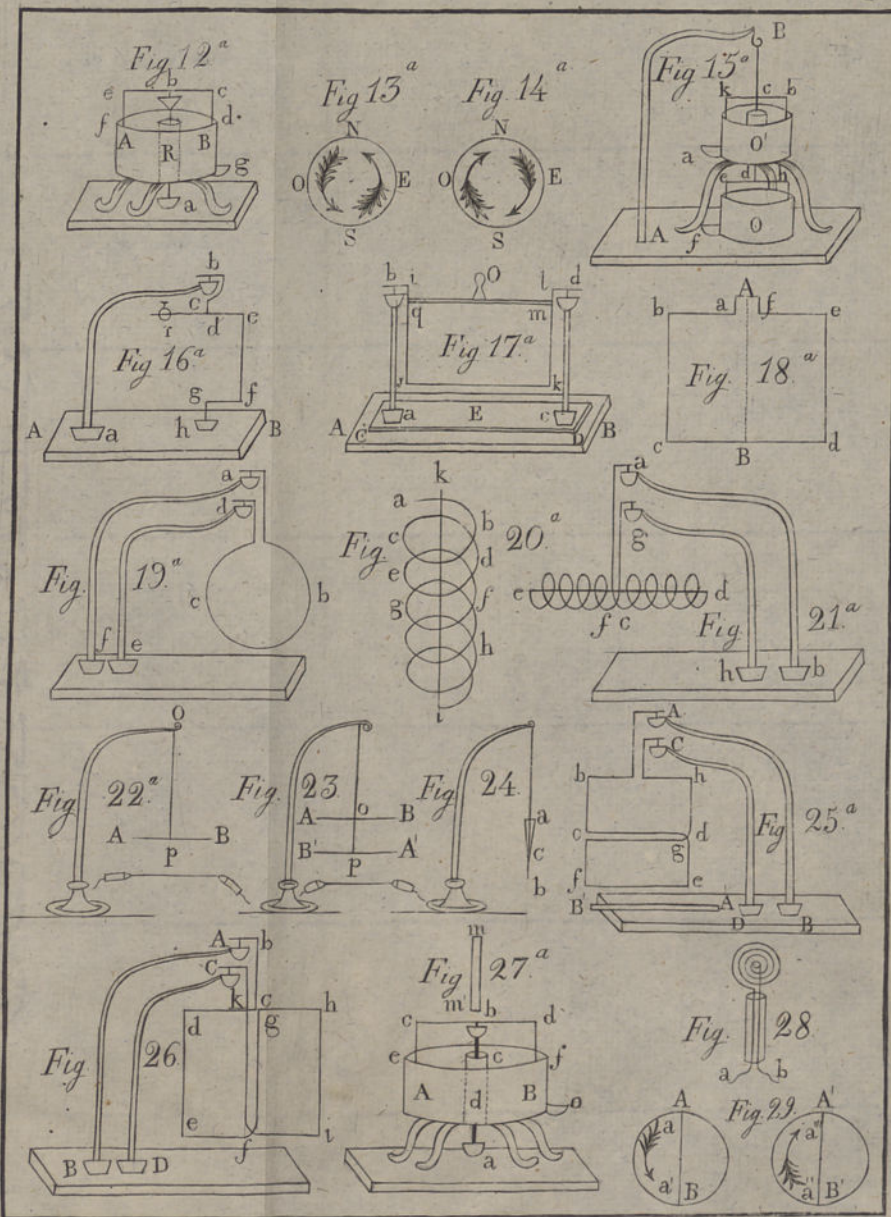


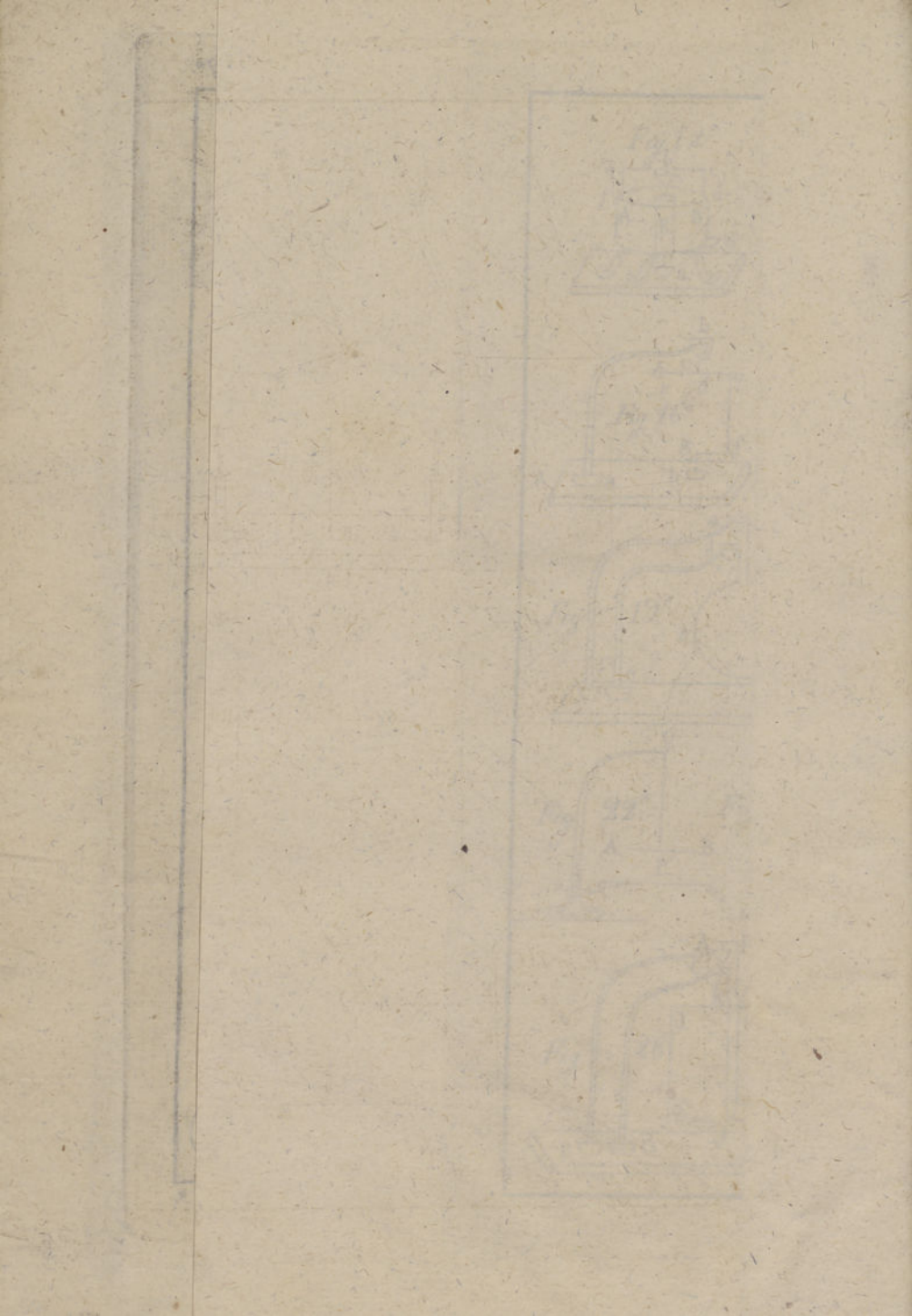


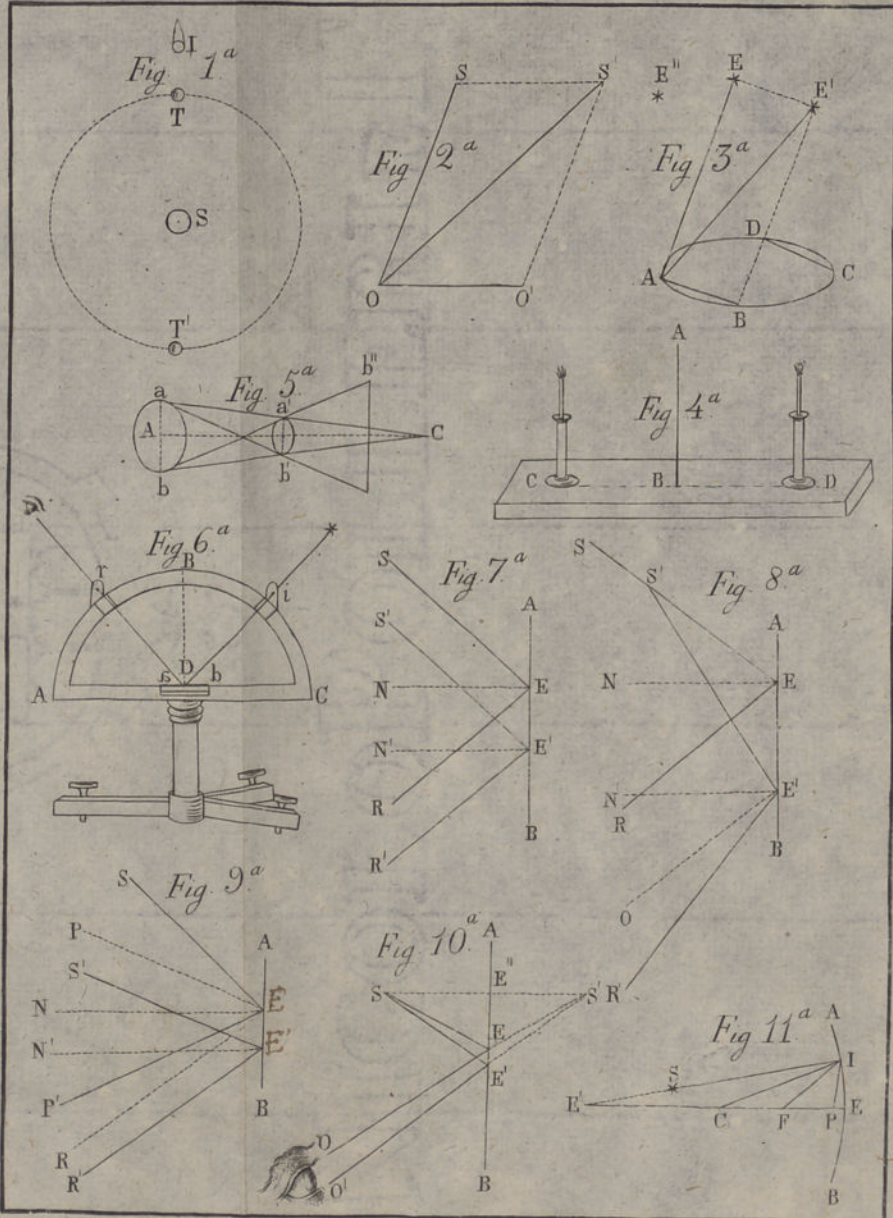




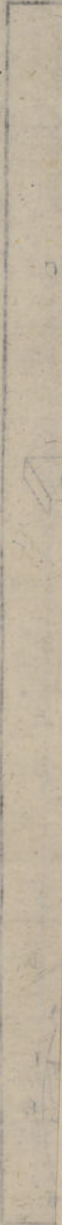








1717



12^a

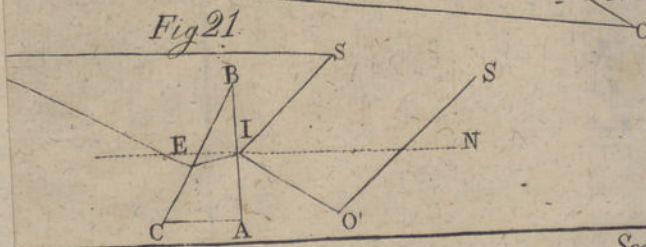
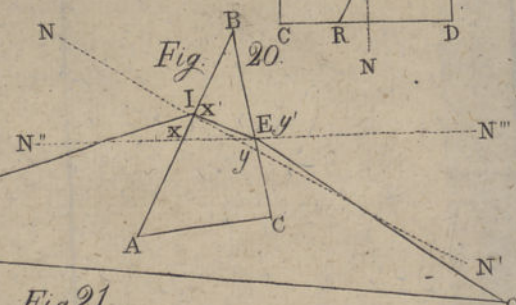
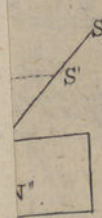
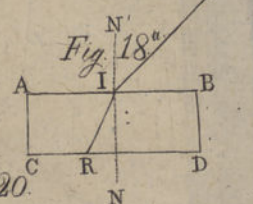
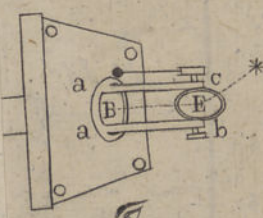
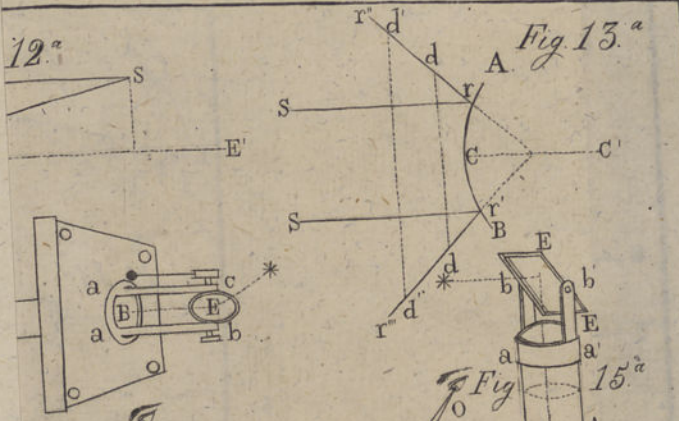


Fig. 1



Fig. 2



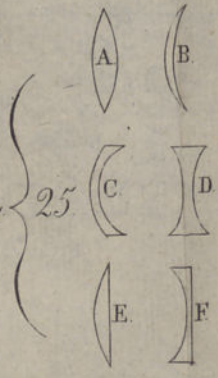
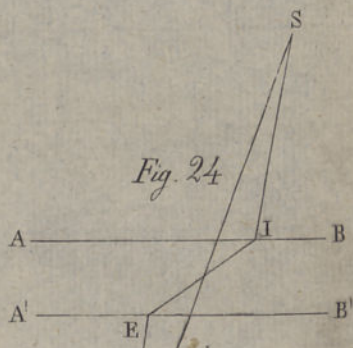
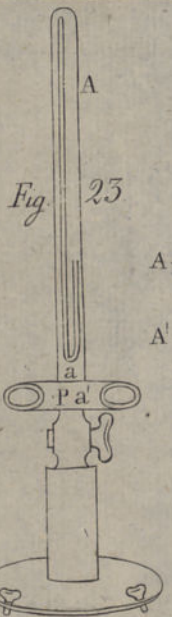
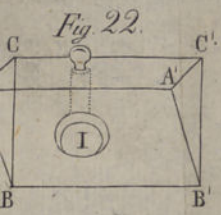


Fig. 26

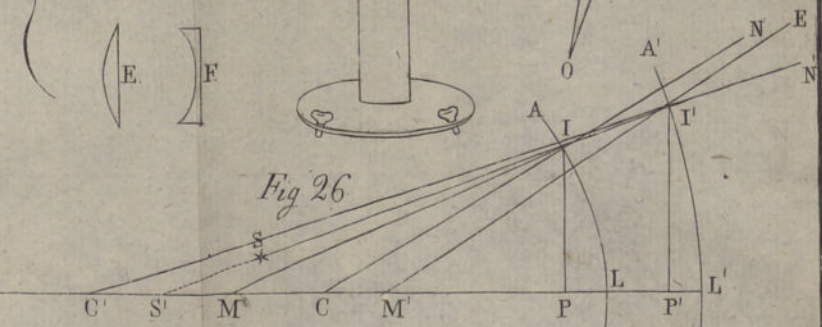


Fig. 27

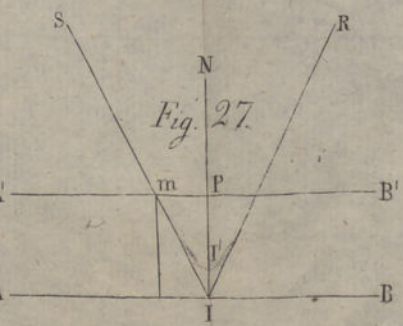
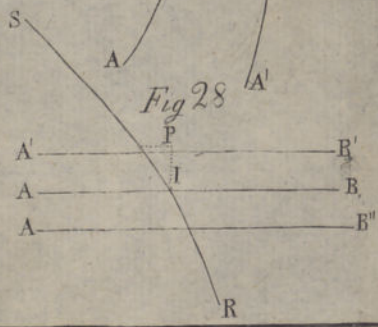
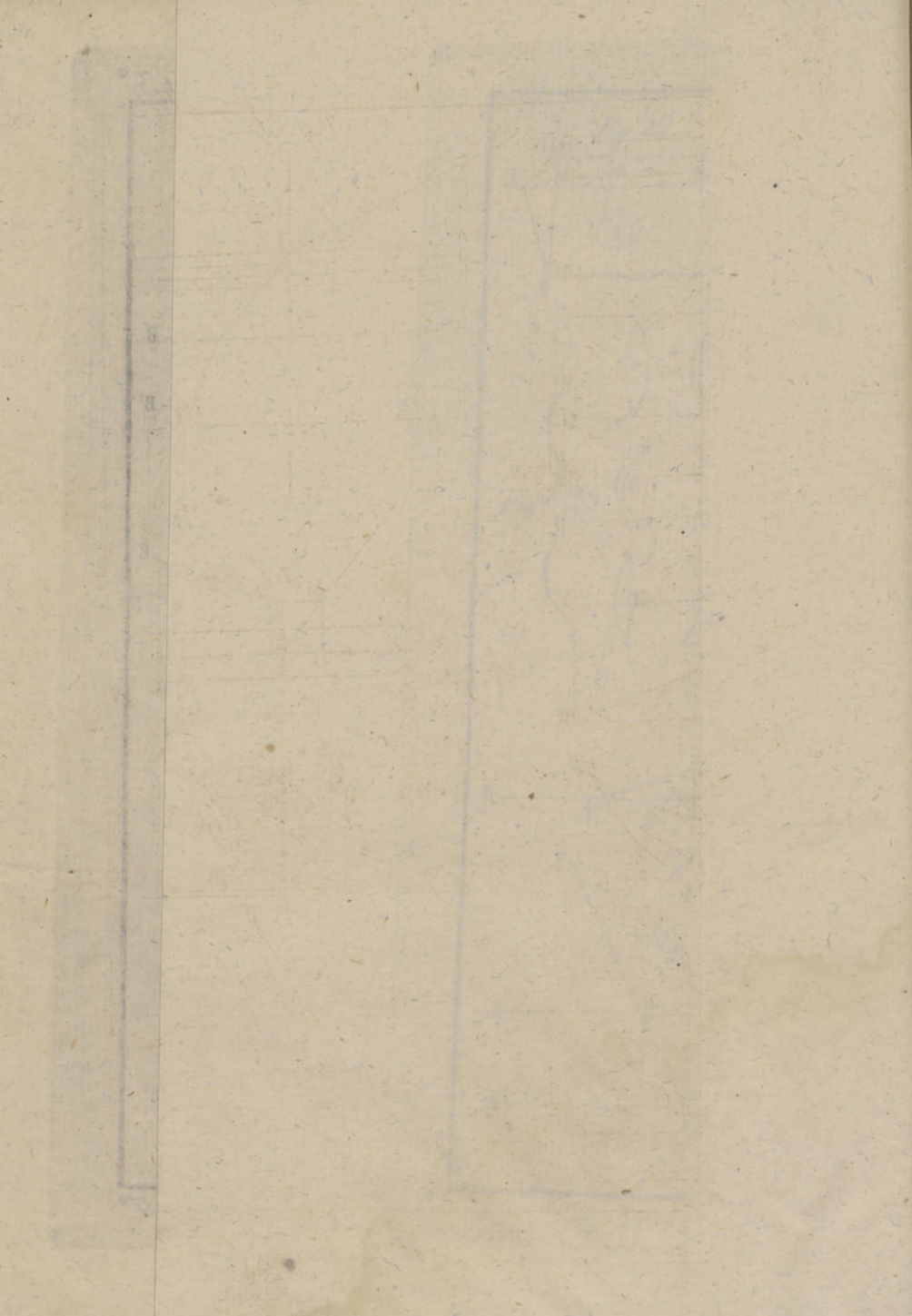
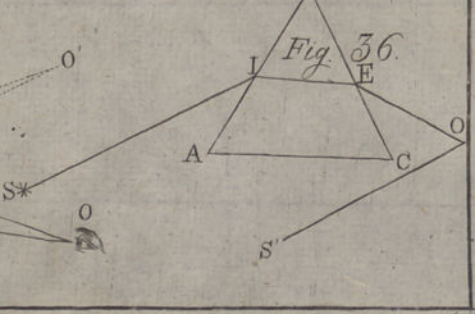
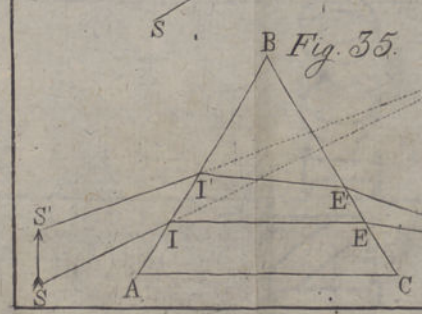
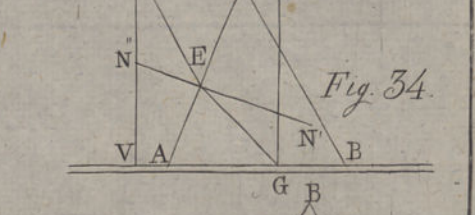
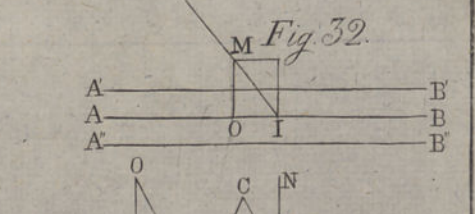
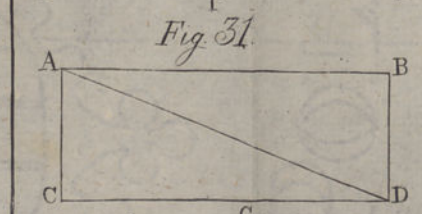
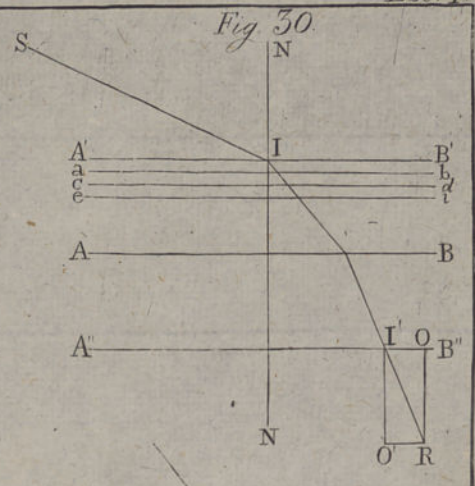
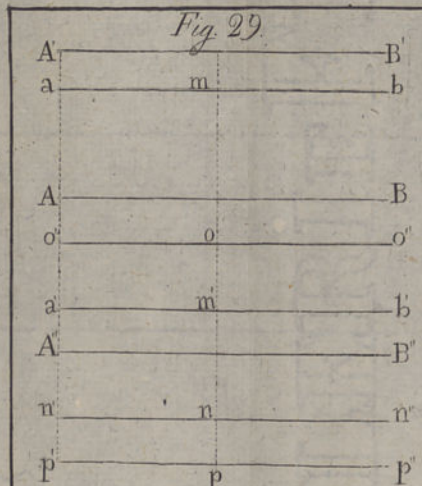


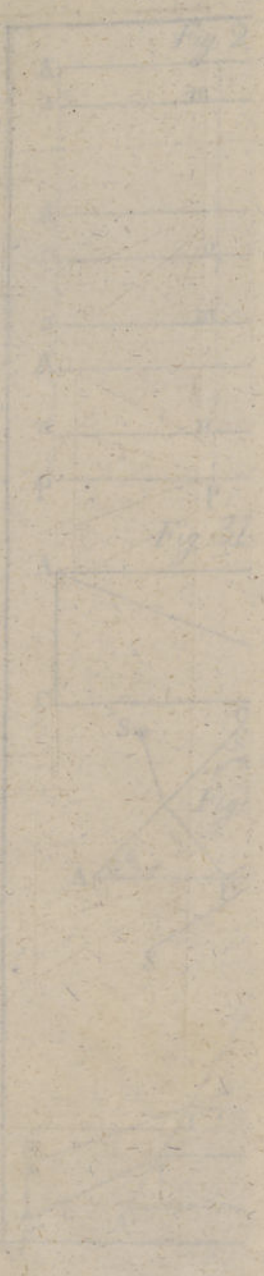
Fig. 28

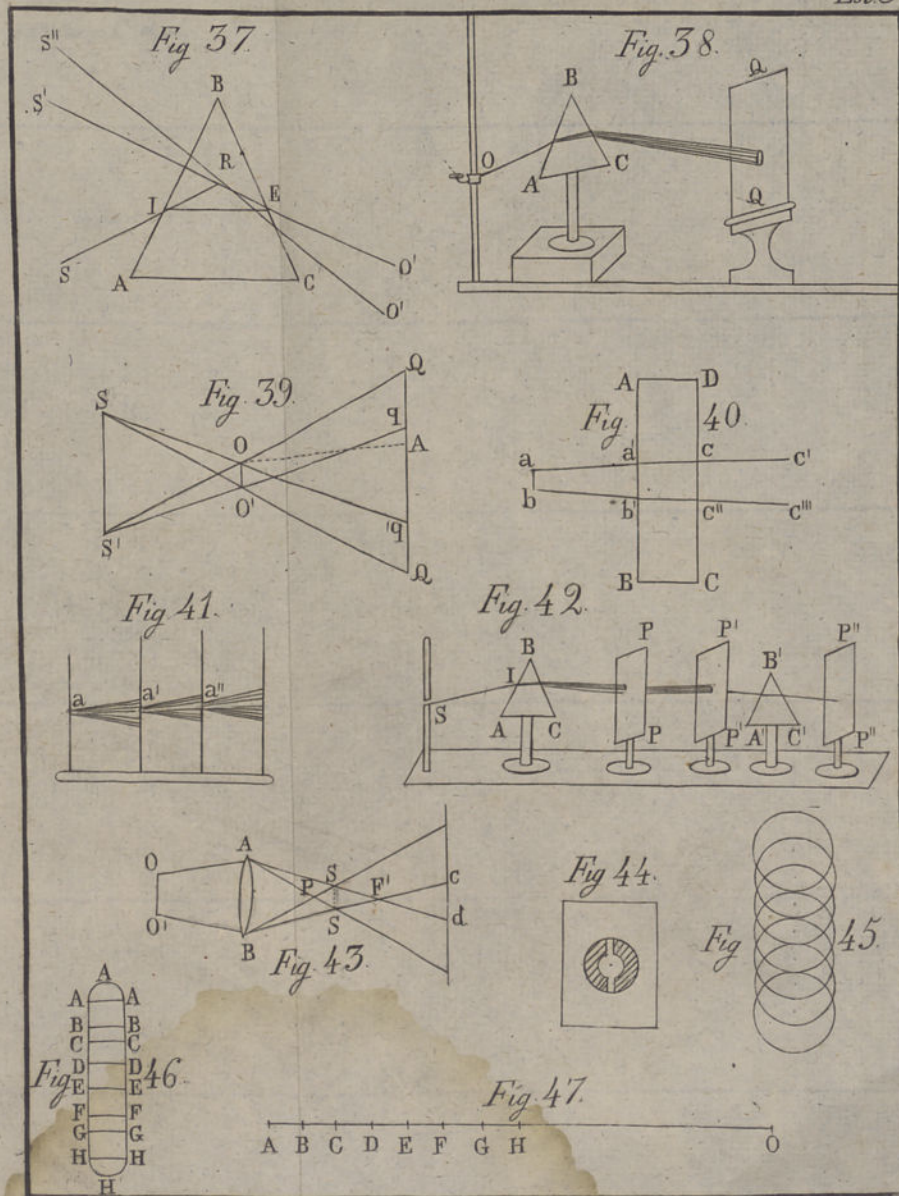






B
B
O
B
I
B
B
A
T
A
A
A





25

37

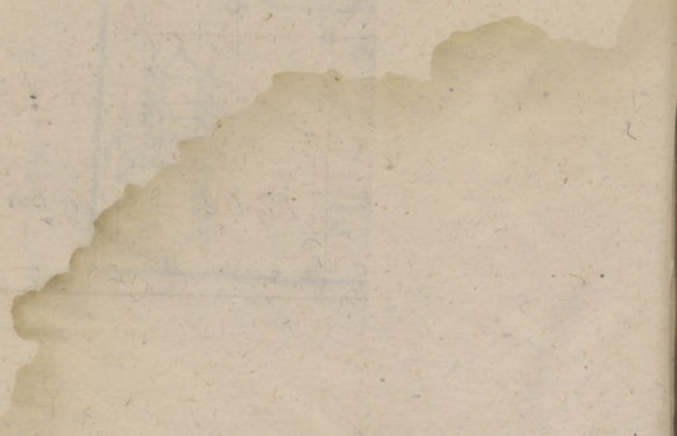


Fig 48.

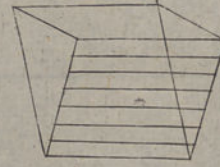


Fig 49.



Fig 50.

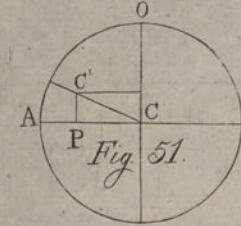
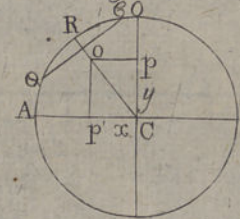


Fig 52.

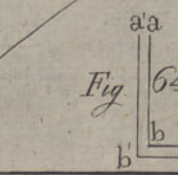
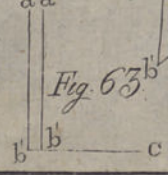
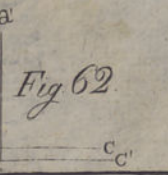
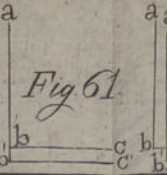
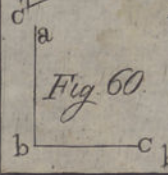
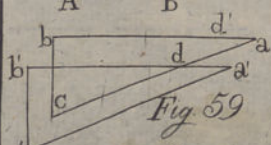
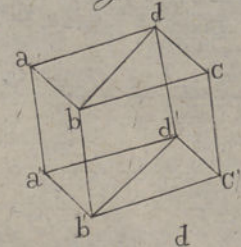
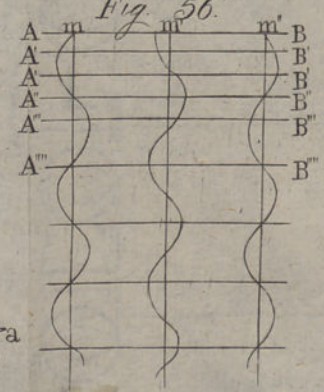
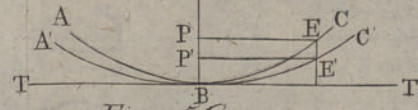


Fig 48

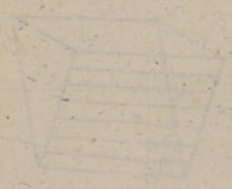
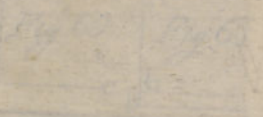
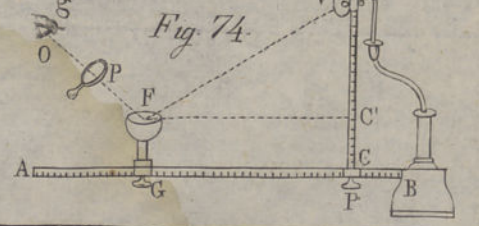
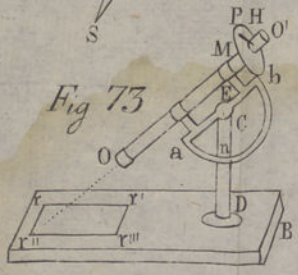
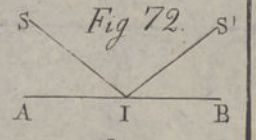
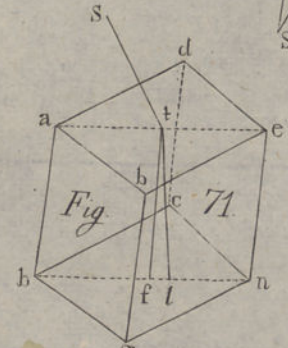
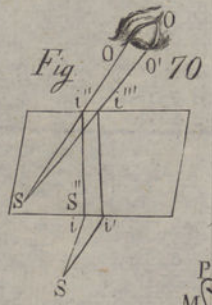
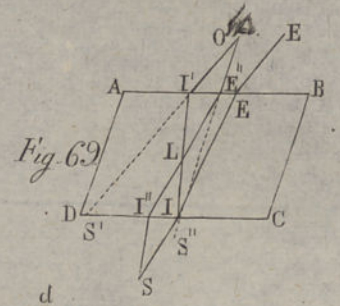
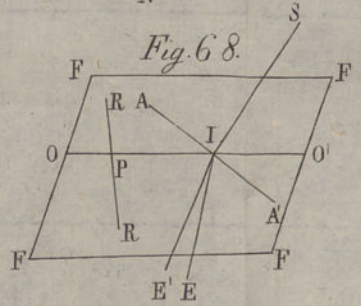
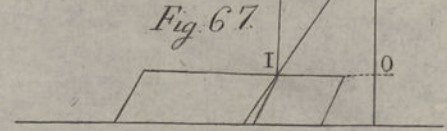
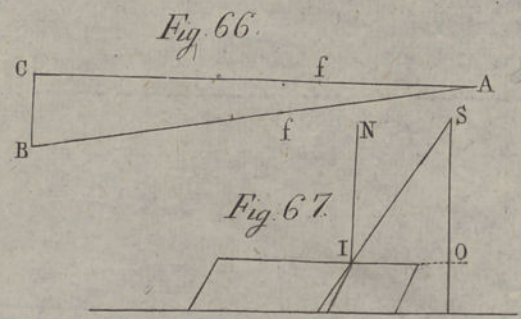
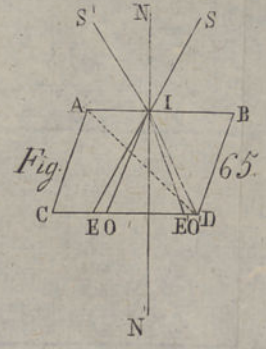
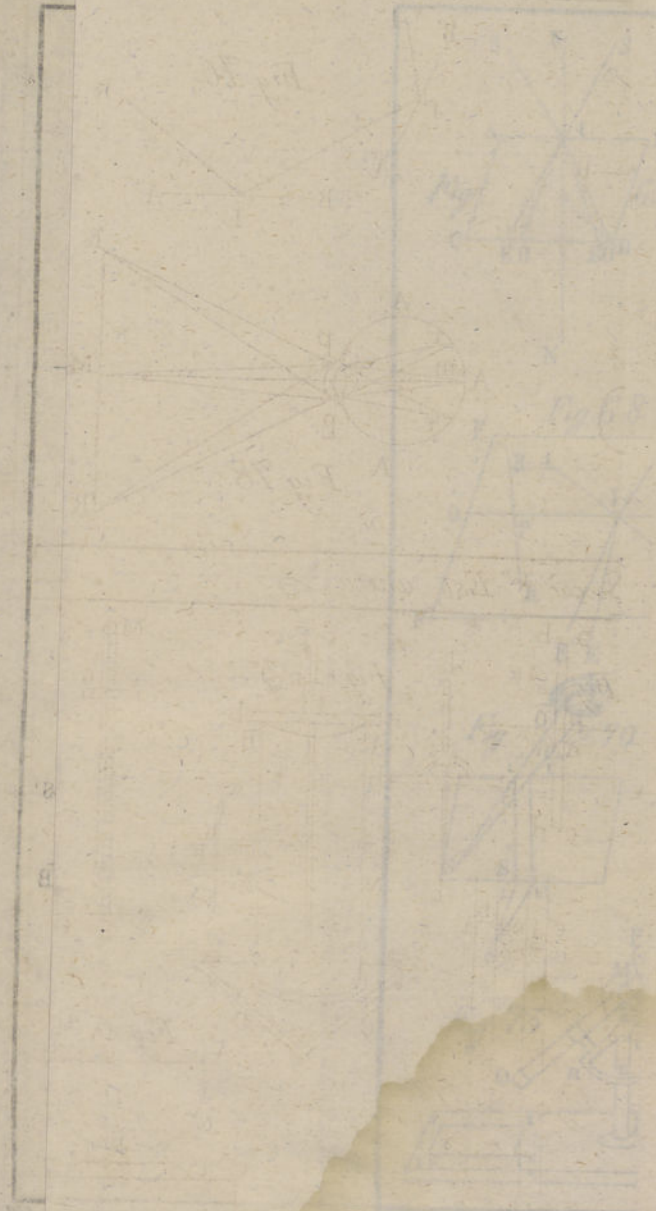


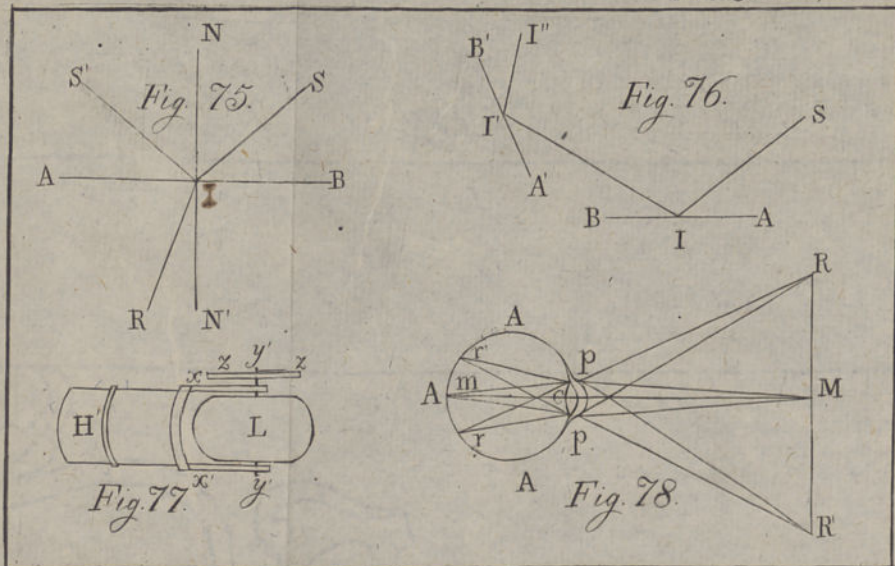
Fig 50





17





Seccão 8.^a Est. unica.

