PRINCIPIOS DE PHYSICA

PRINCIPIOS

DE

PHYSICA

POR

ADRIANO AUGUSTO DE PINA VIDAL

CAPITÃO DE ARTILHERIA

LENTE PROPRIETARIO DA CADEIRA DE PHYSICA DA ESCOLA POLYTECHNICA

COMMISSIONADO NO ENSINO DA ESCOLA DO EXERCITO

SOCIO DA ACADEMIA REAL DAS SCIENCIAS

DO INSTITUTO DE COIMBRA

DA SOCIEDADE DE GEOGRAPHIA DE LISBOA

ETC. ETC. ETC.

APPROVADOS PELO GOVERNO PARA USO DOS LYCEUS NACIONAES

SEGUNDA EDIÇÃO

LISBOA
TYPOGRAPHIA DA ACADEMIA REAL DAS SCIENCIAS
1876

OBRAS DO AUCTOR

Curso de meteorologia.—Um volume illustrado com 23 gravuras em madeira, e impresso por ordem da Academia Real das Sciencias.—Lisboa, 1869.—Preço 600 réis.

Noções elementares de physica.—Approvadas pelo governo para uso das escolas de ensino primario (2.º grau).—Um volume illustrado com 6 gravuras em madeira.—Lisboa, 1870.—Esgotado.

Principios de geographia mathematica.—Approvados pelo governo para uso dos lyceus nacionaes.—Um folheto illustrado com 7 gravuras em madeira.—Lisboa, 1871.—Preço 300 réis.

Elementos de geometria.—Approvados pelo governo para uso dos lyceus nacionaes.—Um volume illustrado com 251 gravuras em madeira.—2.ª edição.—Lisboa, 1873.—Preço 1$200 réis. (N'esta obra collaborou o sr. Carlos Augusto Moraes d'Almeida).

Tratado elementar d'optica.—Um volume illustrado com 229 gravuras em madeira e impresso por ordem da Academia Real das Sciencias.—Lisboa, 1874.—Preço 2$000 réis.

Curso de physica da Escola Polytechnica.—Tomo I, illustrado com 104 gravuras em madeira.—Lisboa, 1874.—Preço 2$000 réis.

Emprehendemos a publicação d'estes *Principios de Physica* com o fim de apresentar um livro proprio para o ensino secundario, constituindo ao mesmo tempo uma especie de introducção ao nosso *Curso de Physica da Escola Polytechnica*, de modo a estremar bem o que não deve ser repetido n'elle por pertencer ao curso preparatorio.

Cingindo-nos tanto quanto é possivel ao programma dos lyceus, não deixamos de dar noticia de alguns phenomenos, que ali não são citados, não só para satisfazer ao programma mais desenvolvido do Real Collegio Militar, como para completar um corpo de doutrina, que possa ser consultado com vantagem pelas pessoas que não precisem ou não queiram seguir estudos superiores. Citaremos como pontos capitaes os seguintes: *theoria physica da musica* (pag. 174); *noticia sobre a analyse espectral* (pag. 292); *oculos e telescopios* (pag.

298); *idéa geral da refracção dobrada e da polarisação da luz* (pag. 302); *inducção* (pag. 381).

Estes e outros pontos alheios ao programma e que não são indispensaveis para o ensino, vão em typo menor para se distinguirem bem.

Tratamos tambem das propriedades particulares dos solidos (pag. 85) e da osmose (pag. 107), que não entram no programma, talvez por esquecimento: e a proposito das machinas simples, entendemos conveniente definil-as todas e tratar em especial das condições do equilibrio na alavanca e no plano inclinado, porque estas são as verdadeiras machinas simples de figura invariavel.

Sem deixarmos de apresentar as theorias mais modernas propostas para explicar os diversos phenomenos, continuamos comtudo a seguir as denominações e explicações mais simples das outras theorias, o que se faz ainda nos cursos superiores pelas grandes difficuldades, que resultariam de fazer o contrario. As theorias mais recentes, que tendem a uniformisar a explicação dos factos subordinando-os á elegante idéa da unidade dos phenomenos naturaes, não assentam por emquanto em bases sufficientemente solidas, nem traduzem com clareza todos os phenomenos; de sorte que seguil-as seria complicar em vez de simplificar, e esse inconveniente aggravar-se-hia na exposição succincta e muito elementar a que é indispensavel attender nos *Principios de Physica*.

Ao publicarmos esta nova edição, muito mais des-

envolvida e correcta do que a anterior, agradecemos aos dignissimos professores de *introducção* nos lyceus nacionaes o benevolo acolhimento que deram á primeira edição d'este compendio; e ao distincto professor do Real Collegio Militar, o sr. J. C. Rodrigues da Costa, nosso camarada e amigo, tributamos muito reconhecimento pelas suas judiciosas reflexões, que permittiram accommodar este livro á sua cadeira d'aquelle estabelecimento.

INDICE

PAG.

CAPITULO III — **Gravidade**

CAPITULO IV

CAPITULO V

CAPITULO VI — **Dos liquidos**

CAPITULO VII — **Dos gazes**

PAG.

CAPITULO VIII — **Acustica**

CAPITULO IX — **Do calor**

CAPITULO X — **Optica**

CAPITULO XI — **Electricidade estatica**

CAPITULO XII — **Electricidade dynamica**

PAG.

Capitulo XIII — Electro-magnetismo

Capitulo XIV — Noções de meteorologia e climatologia

ERRATAS

PAG.	LIN.	ERROS	EMENDAS
3	2	das suas acções mutuas	da acção mutua dos corpos
5	9	manifestarem	manifestar
10	12	de um	com um
21	10	pinas	as pinas
36	penultima	e da	e de
39	5	do	da
40	3	prende	prenda
41	5	$\frac{R}{R'}$	$\frac{R'}{R}$
»	17	$4m^2$	$4m\pi^2$
49	14	canamo	canhamo
51	7	conservando	conservando-se
54	12	denomina-se	denominada
55	16	sua superficie	superficie terrestre
58	1	(51)	(58)
65	2	dos	nos
66	17	geralmente emprega-se	emprega-se
67	5	prate	parte
68	25	prolongando	prolongado
73	20	este	elle
77	11	então	estão
»	18	applicar-se	applicar-se-lhe
78	25 e 26	tornarem	tornar
83	3	apoiado	apoiada
86	20	amortecerem	amortecer
87	10 e 11	formam-se	forma-se

PAG.	LIN.	ERROS	EMENDAS
96	13	é	será
100	3	no plano	no mesno plano
107	penultima	vaso	caso
109	33	a primeira	esta
»	34	segunda	outra o
111	ultima	as	se
112	4 e 5	carreta	carrete
133	33	Este barometro	O barometro de Gay-Lussac
136	31	parece dependerem	parecem depender
165	21	(226)	(227)
177	1	CAPITULO X	CAPITULO IX
211	4	menos	menor

PRINCIPIOS DE PHYSICA

NOÇÕES PRELIMINARES

1.—**Materia. Corpo. Universo.**—Dá-se o nome de *materia* a tudo que impressiona os sentidos; e de *corpo* a uma porção de materia.

O conjuncto de todos os corpos é o *universo* ou a *natureza*.

2.—**Idéa sobre os tres estados de aggregação dos corpos.**—Os corpos apresentam-se em tres estados differentes: uns, como o ferro, o marmore, etc., teem fórma propria, difficil de alterar; dizem-se *solidos:* outros, como a agua, o azeite, etc., não teem fórma propria, e tomam a dos vasos em que estão; são os *liquidos;* outros, finalmente, como o ar, tambem não teem fórma propria, mas differem dos liquidos em tenderem constantemente a augmentar de volume, e não poderem por conseguinte conservar-se em vasos abertos; são os *gazes*.

Os liquidos e os gazes recebem o nome generico de *fluidos*.

Os corpos do universo affectam, por conseguinte, tres estados differentes de aggregação: o estado solido, o liquido e o gazoso. É preciso notar, porém, que estes estados não

caracterisam os corpos, porque estes podem, em geral, adquirir todos tres, quando as circumstancias mudam convenientemente.

Assim, a agua é ordinariamente liquida; porém, apresenta-se tambem no estado gazoso e no estado solido. O gaz muito quente, que sae de uma chaleira collocada sobre o lume, é a agua no estado gazoso. A *neve* que acompanha a chuva nos dias muito frios, e o *gelo*, que reveste a agua dos lagos e dos rios durante os grandes frios do inverno, é a agua no estado solido.

O que podemos inferir de tudo isto é que o calor contribue essencialmente para o estado de aggregação dos corpos.

3.—**Propriedades da materia: geraes, particulares e essenciaes.** —As diversas maneiras por que a materia nos impressiona constituem as suas propriedades.

As propriedades são *geraes* se pertencem a todos os corpos, independentemente do seu estado de aggregação; são *particulares* no caso contrario.

As propriedades geraes são: a *extensão*, a *impenetrabilidade*, a *divisibilidade*, a *porosidade*, a *compressibilidade*, a *elasticidade*, a *mobilidade* e a *inercia*. As duas primeiras dizem-se *essenciaes*, porque sem ellas não é possivel imaginar um corpo.

As propriedades particulares são o estado de aggregação, a côr, o brilho, etc.

4.—**Corpos simples e compostos.**—Dizem-se *corpos simples*, ou *elementos*, aquelles de que não é possivel extrair senão uma especie de materia; dizem-se *compostos* aquelles de que se extraem duas ou mais qualidades de materia. O ferro, o enxofre, ~~o carvão~~, etc., são *corpos simples;* o latão, de que se extrae o cobre e o zinco; a agua de que se extraem dois gazes—oxygenio e hydrogenio—são *corpos compostos.*

5.—**Phenomenos: physicos e chimicos. Exemplos.**—Duas scien-

cias[1], a physica e a chimica, estudam a materia e as suas modificações, resultantes não só das suas acções mutuas, como da acção de *agentes* ou *forças naturaes*, que são principalmente a *attração*, o *calor*, a *luz* e a *electricidade*.

A estas modificações, a qualquer facto ou manifestação, dá-se o nome de *phenomeno* (do grego *phainoménon*, o que apparece distinctamente). É preciso não ligar a esta palavra a idéa de uma coisa rara ou extraordinaria, como se faz na linguagem vulgar.

Phenomenos são todas as modificações que nos apresentam os corpos.

Os phenomenos da materia ou são independentes da sua natureza[2], e então não a alteram e são transitorios; ou dependem da qualidade da materia, e então alteram-na e são permanentes. Os primeiros dizem-se *physicos*, e os segundos *chimicos*.

Todos os corpos abandonados á simples acção da terra, caem; e as suas propriedades não são modificadas durante e depois da queda: a *queda dos corpos* é por tanto um *phenomeno physico*.

O calor communicado a um corpo, dilata-o, isto é, augmenta-lhe o volume; e póde fazel-o passar de solido a liquido e de liquido a gaz, se tem intensidade sufficiente; porém, deixando resfriar o corpo elle volta ao seu estado primitivo. Não houve alteração na natureza do corpo, e o phenomeno não foi permanente; por tanto a *dilatação*, a *mudança de estado*, e irradiações, etc., são *phenomenos physicos*.

Ao contrario, queimando o phosphoro, o enxofre ou o carvão, estes corpos solidos e simples transformam-se em outros gazosos e compostos, de propriedades differentes, e

[1] *Sciencia* é o complexo de leis da natureza descubertas e estudadas pelo homem.

[2] Esta palavra toma-se em differentes accepções: já a empregamos como synonimo de Universo, ou de natureza creada; toma-se ás vezes como synonimo de natureza creadora ou Deus; finalmente, é empregada aqui para designar a composição ou complexo de propriedades de um corpo.

esta transformação não desapparece quando se subtrae o calor a estes corpos: assim a *combustão* é um *phenomeno chimico.*

A transformação em *ferrugem*, do ferro exposto ao ar humido é tambem um phenomeno chimico: o ferro é um corpo simples, e a ferrugem um composto de ferro, de agua, e oxygenio do ar.

Lançando agua sobre fragmentos de *cal virgem*, esta incha, fende-se e aquece muito, convertendo-se em *cal apagada*, que é o corpo composto de agua e cal. Este phenomeno é tambem um phenomeno chimico.

O caracter distinctivo dos phenomenos physicos e chimicos é a não permanencia ou a permanencia das modificações: assim, nos primeiros estas desapparecem quando cessa a causa que as produziu, o contrario acontece nos phenomenos chimicos.

6.—**Distincção entre a physica e a chimica; definições. Propriedades physicas e chimicas.**— O que fica dito permitte definir bem as duas sciencias —*physica e chimica*—que teem tão intimas relações, e que comtudo é preciso distinguir.

Physica[1] é a sciencia que estuda as propriedades geraes dos corpos, e os phenomenos que se produzem sem alteração permanente na materia ou natureza d'esses corpos.

Chimica é a sciencia que estuda a constituição intima dos

[1] Esta palavra na sua accepção mais geral, designa a *sciencia da natureza*, ou a *philosophia natural:* assim se designava a sciencia que estudava todos os phenomenos naturaes. O seu grande desenvolvimento obrigou a dividil-a e subdividil-a em muitos ramos, que constituem hoje sciencias especiaes. Assim ella comprehende além da *physica* propriamente dita e da *chimica*, a *astronomia*, que trata dos movimentos dos astros, e a *historia natural*, que estuda os differentes seres do nosso globo: esta comprehende a *zoologia*, estudo dos animaes; a *botanica*, estudo dos vegetaes; a *mineralogia*, estudo dos mineraes, e a *geologia*, estudo da constituição e historia do globo, que habitamos.

corpos, as suas propriedades especiaes, e os phenomenos dependentes da qualidade da materia e que a alteram mais ou menos profundamente, fazendo mudar as suas propriedades.

As propridades especiaes dos corpos, que se estudam na chimica, são *physicas e chimicas:* as primeiras são as propriedades particulares da materia, que se apreciam sem alterar a natureza do corpo; as segundas referem-se á faculdade que os corpos teem de manifestarem certos phenomenos chimicos: assim, por ex., em quanto que o hydrogenio se queima no ar, como acontece ao enxofre, carvão, etc., convertendo-se em agua, porque se combina com o oxygenio do ar, o oxygenio, o azote, etc., etc., não apresentam esta propriedade.

7.—**Observação e experiencia.**—Para estudar os phenomenos dispõe o physico de dois meios—*a observação* e a *experiencia:* a *observação* é o exame dos phenomenos como a natureza nol-os apresenta; a *experiencia* é o exame de um phenomeno que se reproduz á vontade, podendo variar-se-lhe as circumstancias, para se reconhecer aquellas que n'elle influem. Auxiliam-se mutuamente estes meios, quando é possivel empregal-os no estudo do mesmo phenomeno; o primeiro supre, mal, o segundo quando este não póde empregar-se.

Quando estudamos os movimentos das nuvens, a sua descarga electrica, que produz o relampago e trovão, fazemos *observações;* quando aquecemos a agua, para a reduzir a vapor, a fim de estudar o phenomeno da vaporação, fazemos uma *experiencia.*

8.—**Leis e theorias physicas.**—As relações que se reconhecem entre as differentes circumstancias de um phenomeno, constituem as suas *leis,* as quaes convém sempre estabelecer, para que o phenomeno fique bem estudado. No phenomeno da queda de um corpo, por exemplo, reconhece-se que o espaço percorrido varia com o tempo gasto em percorrel-o;

a relação observada entre o espaço e o tempo é, por conseguinte, uma das leis do phenomeno.

O complexo de leis que se referem á mesma classe de phenomenos, denomina-se *theoria:* assim se diz a *theoria do calor*, a *theoria da luz*, a *theoria da electricidade*, etc. Emprega-se tambem a palavra *theoria* n'uma accepção muito restricta, para designar a explicação de um phenomeno.

9.—**Agentes ou forças naturaes:—ether.**—Os phenomenos que os corpos apresentam resultam, como dissemos, não só das suas acções mutuas, mas tambem da acção de *agentes physicos* ou *forças naturaes*, que são a *attracção*, o *calor*, a *luz*, e a *electricidade*. Estes agentes são por sua natureza completamente desconhecidos: suppoz-se durante muito tempo que eram outras tantas materias subtís e impalpaveis, e d'aqui lhes veiu o nome de *fluidos imponderaveis* ou *incoerciveis;* hoje vae-se generalisando a idéa de que esses agentes são manifestações de um só fluido—o *ether*— espalhado por todo o universo, envolvendo os corpos e existindo nos seus intersticios, e que os diversos phenomenos são movimentos mais ou menos rapidos communicados ao ether pelas particulas dos corpos, ou vice-versa.

CAPITULO I

PROPRIEDADES GERAES DOS CORPOS

I.—Extensão

10.—Extensão. Volume e capacidade. Vacuo.—A *extensão* é a propriedade que os corpos teem de occupar uma certa porção do espaço, que se denomina o seu *volume*.

As porções do espaço que limitam o volume de um corpo, isto é, que o separam do espaço indefinido, denominam-se *superficies*: estas isoladamente constituem as *faces* do corpo, e a sua disposição ou o seu conjuncto constitue a *fórma*.

O limite das superficies são as *linhas*, e o das linhas os *pontos*. Se um corpo é ôco, o espaço que ha no seu interior denomina-se a sua *capacidade*.

Não podemos comprehender a existencia de um corpo sem occupar uma porção de espaço, isto é, sem extensão, por isso é esta uma propriedade *essencial* da materia; podemos porém imaginar uma porção do espaço indefinido sem ser occupado por corpo algum, isto é, vasio de materia; é o que se denomina *vacuo*.

11.—Medição da extensão.—*Medir* é, como se sabe, comparar uma grandeza com outra conhecida, do mesmo genero, que se denomina *unidade*. Para medir a extensão dos corpos, isto é, o seu volume, se este é regular e definido geometricamente, basta medir as suas dimensões; se é irregular determina-se pelo peso, como veremos.

Mede-se uma extensão linear applicando successivamente sobre ella uma regua graduada, que serve de medida, até que fique um resto que se avalia com as divisões e subdivisões da regoa. No systema actual de medidas a unidade adoptada é o *metro*, que se divide e subdivide em *decimetros*, *centimetros* e *millimetros*.

Emprega-se frequentemente, junto á escala de muitos instrumentos, uma outra pequena escala, que serve para avaliar fracções da menor divisão da primeira; é conhecida entre nós pela denominação de *nonio*, do nome do mathematico portuguez Pedro Nunes, a quem se deve o seu principio fundamental; os francezes dão-lhe geralmente o nome de *vernier*, porque a disposição actualmente usada é attribuida ao geometra francez Pedro Vernier.

12.—**Nonio: sua disposição e emprego.**—O *nonio*, é, como dissemos, uma pequena escala, que se applica á escala de qualquer instrumento podendo correr ao longo d'ella, e que se destina para avaliar fracções das menores divisões d'esta ultima. Para este fim abrange um numero exacto d'estas divisões, e está dividido em um numero de partes eguaes superior áquelle de uma unidade.

O nonio é *rectilineo* ou *curvilineo*, conforme a escala a que se applica é recta ou curva.

A menor grandeza que com esta disposição se póde avaliar é a differença entre uma divisão da escala e uma do nonio, differença conhecida pela denominação de *natureza do nonio*. Se o nonio tem n divisões, cada uma é $\frac{1}{n}$ da sua extensão, a qual é egual, como sabemos a $n-1$ divisões da escala; por tanto, designando por D uma d'estas divisões, cada divisão do nonio é egual a $\frac{n-1}{n}D$; e como a esta quantidade falta $\frac{1}{n}D$ para completar D, concluimos que o que falta a uma divisão do nonio para prefazer uma da es-

cala é $\frac{1}{n}D$: é este por conseguinte o valor da natureza do nonio.

Para empregar este instrumento imaginemos que depois de applicar a escala sobre a extensão que se quer medir, fica um resto ab, fig. 1: para medir este resto conserva-se

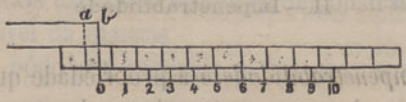


Fig. 1

fixa a escala e avança-se com o nonio até que o seu zero, denominado *linha de fé*, coincida com a extremidade d'aquelle resto, isto é, com o ponto b, e vê-se qual é a divisão do nonio que se ajusta com uma da escala; o numero d'essa divisão indica evidentemente quantas vezes $\frac{1}{n}D$, ou quantas naturezas do nonio, entram na fracção ab; porque esta vem a ser egual á differença entre esse numero de divisões da escala, e o mesmo numero de divisões do nonio. Na figura é a divisão 6 que coincide, por tanto $ab = 6\frac{1}{n}D$.

Se a escala está dividida em millimetros, e o nonio tem 10 partes, a natureza do nonio é egual a $0^m,0001$.

Não havendo coincidencia entre divisão alguma do nonio e uma da escala, vê-se a que mais se aproxima, e faz-se por um calculo de estimativa a avaliação da fracção.

13.—Limite da applicação do nonio.—Sendo a natureza do nonio egual a $\frac{1}{n}D$, conclue-se que o nonio é susceptivel de tanta maior aproximação, quanto maior for o numero de divisões da regoa que abranger; comtudo, se elle em theoria é susceptivel de dar uma aproximação indefinida, na pratica a difficuldade de observar exactamente sobre que divi-

são do nonio se faz a coincidencia, difficuldade que augmenta á medida que a natureza do nonio diminue, marca um limite n'essa aproximação, que nos nonios rectilineos é de $^1/_{50}$ do millimetro; porque teem 25 divisões e são applicados a escalas divididas em meios millimetros.

II.—Impenetrabilidade

14.—A *impenetrabilidade* é a propriedade que os corpos teem de não poderem occupar o logar de outros.

É em consequencia d'esta propriedade que se não póde encher de agua um frasco que n'ella se mergulhe de boca para baixo; porque não póde sair o ar que está dentro; pelo mesmo motivo quando se quer encher uma garrafa de um liquido qualquer, deitando-o por um funil estreito, é preciso que fique espaço entre a parede externa do funil e a boca da garrafa, para que possa sair o ar deslocado pelo liquido.

A difficuldade de introduzir liquidos, por qualquer modo, em frascos de gargallo muito estreito, é uma consequencia da impenetrabilidade do ar; porque é preciso que este sáia pela mesma abertura por onde entra o liquido, e ao mesmo tempo.

Assim como não podemos admittir corpo sem extensão, não podemos admittir materia sem impenetrabilidade; por isso esta propriedade geral é tambem *essencial*.

15.—**Sinos de mergulhador.**—Funda-se na impenetrabilidade a construcção dos *sinos de mergulhador*, que são uma especie de campanulas de ferro, que se levam a bastante profundidade debaixo d'agua, com o fim de os operarios executarem qualquer trabalho ou apanharem objectos submergidos. O ar que conteem impede que a agua os encha, e serve para a respiração, sendo substituido por outro que uma bomba dirige, por meio de um tubo, para o interior do sino, ao mesmo tempo que o ar viciado sae por outro tubo aberto na parte superior.

III.—Divisibilidade

16.—A *divisibilidade* é a propriedade que os corpos teem de poderem ser reduzidos a pequenos fragmentos, sem mudarem de natureza.

Exemplos.—Os exemplos seguintes demonstram a extrema divisão possivel da materia

A platina póde ser reduzida a fios com o diametro de $\frac{1}{1200}$ do millimetro. As folhas de oiro batido podem alcançar a espessura de $\frac{1}{10000}$ do millimetro: um decimetro quadrado de uma d'estas folhas não pesa 2 centigrammas, e contém um milhão de quadrados com um decimillimetro de lado: podemos d'este modo imaginar os 2 centigrammas de oiro divididos em um milhão de partes visiveis.

Um centigramma de carmim é bastante para córar de vermelho dez mil grammas d'agua, o que mostra que o carmim se espalhou por todo este liquido; e como este contém dez milhões de milligrammas, podemos dizer que o centigramma de carmim foi dividido em dez milhões de partes visiveis.

As substancias odoriferas apresentam um exemplo notavel da extrema divisibilidade. Um pequeno grão de almiscar exposto ao ar livre derrama um cheiro intenso durante muitos annos; durante todo este tempo, por conseguinte, foram espalhadas no ar, constantemente renovado, tenuissimas particulas d'almiscar.

Os animaes microscopicos, assim chamados porque só com o auxilio do microscopio se podem distinguir, existem ás vezes aos milhares n'uma gota de liquido, e esses animaes teem orgãos de nutrição, de movimento, etc.: qual seria a expressão capaz de representar a grandeza d'estes orgãos?

O que se passa nas dóses homœpaticas mostra bem até

que ponto se divide a materia. Mistura-se um grão do medicamento a 99 de substancia inerte; um grão d'esta mistura é misturado a 99 da mesma substancia inerte, e assim successivamente até além de 30 vezes, ou além da 30.ª *dynamisação*, como dizem os homœpathas. N'esta dynamisação um grão do remedio contém do medicamento uma fracção do grão que tem por numerador a unidade e por denominador a unidade seguida de 60 cifras, como é facil de ver, isto é, $\frac{1}{10^{60}}$.

17.—Limite da divisibilidade. Molecula. Atomo.—Não é facil tocar o *limite da divisibilidade*, ou attingir a extensão em que esta propriedade deixa de manifestar-se; todavia muitos factos obrigam-nos a admittir a existencia de um limite, isto é, de uma substancia indivisivel, que denominamos *molecula*. Assim, *molecula é a menor porção de materia que póde existir no estado livre.*

Como a molecula é sempre da natureza do corpo a que pertence, é claro que se este é composto de uma ou mais substancias, tambem a molecula é composta das mesmas substancias; e por conseguinte, não obstante não poder decompor-se pelas acções physicas, deve decompor-se nos seus elementos pelas acções chimicas. Por este motivo a molecula considera-se formada de particulas, denominadas *atomos*, que só chimicamente se podem separar, que são homogeneos na molecula de um corpo simples e heterogeneos na molecula de um composto. Dá-se o nome de *atomo* á menor porção de materia que póde existir nas combinações.

Assim, um pedaço de cobre (corpo simples) é um aggregado de moleculas de cobre, e cada uma d'estas é formada de atomos de cobre: um pedaço de latão (corpo composto) é um aggregado de moleculas de latão, e cada uma d'estas é formada de atomos de cobre e de atomos de zinco chimicamente ligados.

Dá-se o nome de *affinidade* á força chimica que une os

atomos para formar a molecula de um corpo, quer elles sejam da mesma especie, quer sejam de especie differente.

IV.—Porosidade

18.—A *porosidade* é a propriedade que os corpos teem de conservarem sempre intervallos maiores ou menores entre as moleculas, denominados *poros*.

Consideram-se nos corpos duas especies de poros, *sensiveis* e *insensiveis* ou *intermoleculares*.

Demonstra-se a existencia dos primeiros com um tubo de vidro *T*, fig. 2, terminado por duas virolas metallicas; a inferior recebe um tubo metallico com torneira e rosca para aparafusar na machina pneumatica (destinada para fazer o vacuo) a superior *C* recebe uma especie de taça, cujo fundo é um pedaço de madeira cortada perpendicularmente ás fibras, ou um pedaço de coiro ou de uma pelle de camurça. Abrindo a torneira que estabelece a communicação com a machina pneumatica, deitando uma porção de mercurio na taça e extraindo o ar de dentro do tubo, vê-se apparecer este liquido em pequenas gottas depois de atravessar o fundo da taça. Para que este mercurio não seja aspirado para o interior da machina, o que a arruinaria, a communicação d'esta com o apparelho faz-se por um tubo *t* recurvado para baixo.

Fig. 2

Demonstra-se a existencia dos poros sensiveis nos metaes reduzindo-os a uma lamina muito delgada, e formando com ella uma esphera ôca, que se enche de agua e se fecha completamente: percutindo-a depois com um martello vê-se gotejar a agua através da parede, e depositar-se n'ella como se fôra orvalho.

Reconhecem-se os poros sensiveis na pedra *hydrophana*, que, não sendo translucida, torna-se mui transparente depois de estar algum tempo mergulhada em agua; porque este liquido desloca as bolhas d'ar que existem nos poros.

A *porosidade intermolecular* ou *insensivel* demonstra-se pelo raciocinio. De feito, todos os corpos, solidos, liquidos e gazosos, gosam da propriedade de se dilatarem pelo calor, e de se contrairem pelo resfriamento ou pela pressão, e sem admittir a penetração dos atomos, não se póde explicar a diminuição de volume de um corpo senão pela aproximação das suas moleculas, o que suppõe necessariamente que existem entre ellas pequenos espaços, cuja extensão póde variar sob a influencia dos agentes physicos.

A porosidade insensivel reconhece-se tambem em um grande numero de phenomenos chimicos, nos quaes se vê um corpo composto apresentar um volume menor do que a somma dos volumes dos componentes. Isto é devido á penetração dos atomos de um corpo nos poros do outro, e vice-versa: advirta-se porém, que este facto não póde contestar a propriedade geral da impenetrabilidade da materia; porque são as partes reaes da materia, isto é, os atomos, que são impenetraveis.

Póde-se fazer a experiencia d'esta penetração apparente, que prova a porosidade, tomando um frasco com alguma agua, acabando de o encher com alcool córado, deitado com um funil de ponta voltada horisontalmente, para que o liquido se estenda em camada sobre a agua sem se misturar com ella, e fechando-o depois com uma rolha atravessada por um tubo de vidro dentro do qual sobe uma columna de alcool córado, cuja extremidade se marca com um cursor.

Agitando o frasco para fazer misturar os dois liquidos, vê-se diminuir a columna dentro do tubo, o que prova que o volume da mistura é menor que a somma dos volumes dos liquidos misturados.

19.—Idéa da constituição physica dos corpos.—Forças molecu-

lares.—Acabamos de provar que a materia dos corpos não é continúa. As moleculas conservam-se a distancias variaveis, porém sempre muitissimo grandes comparativamente com as suas dimensões.

Para explicar a constituição physica dos corpos, assim como um grande numero de phenomenos, admitte-se a existencia de duas forças entre as moleculas—uma attractiva denominada *cohesão*, que tende a aproximar as moleculas,—outra repulsiva que tende a afastal-as contrabalançando a primeira: estas duas forças, que recebem a denominação geral de *forças moleculares*, diminuem mui rapidamente com a distancia e tornam-se nullas quando ella attinge um certo limite sempre pequenissimo.

O calor produz nos corpos o mesmo effeito que a força repulsiva, isto é, faz afastar as moleculas; por isso a esta força attribue-se a mesma causa do calor, e dá-se-lhe o nome de *força repulsiva do calor*.

(3)Podemos agora fixar melhor as idéas ácerca dos caracteres dos corpos nos tres estados de aggregação. Nos *solidos* é mui grande a cohesão; por isso teem fórma e volume constante, e é preciso empregar um esforço para os dividir. Nos *liquidos* a cohesão é quasi nulla, as moleculas escorregam, por conseguinte, com muita facilidade umas sobre outras; por isso estes corpos não affectam fórmas particulares e tomam sempre a dos vasos que os conteem. Nos *gazes* a mobilidade das moleculas é ainda maior, a força repulsiva predomina sempre sobre a attractiva; por isso estes corpos teem volume e fórma variaveis: a tendencia a tomar volumes cada vez maiores é a propriedade caracteristica d'estes corpos, a qual se denomina *expansibilidade*.

20.—**Casos de penetração apparente.**—A penetrabilidade de uns corpos por outros é apenas apparente, é o resultado da existencia dos poros: assim quando se molha o papel, um estofo qualquer, a esponja, etc., dizemos que a agua penetrou n'estes corpos; comtudo este liquido não fez mais que

infiltrar-se n'elles, isto é, introduzir-se por entre as suas moleculas, nos seus poros emfim.

Raro é o corpo que não é permeavel á agua, e o que o não é deixa-se permear por outros liquidos; assim o azeite permeia o marmore. O caut-chuc e a gutta-percha são impermeaveis á agua; aproveita-se esta propriedade na construcção dos estofos denominados *impermeaveis*, muito uteis nos paizes humidos e chuvosos.

21.—**Filtros.**—Faz-se frequente e importante applicação da porosidade de certas substancias para clarificar e purificar os liquidos; estas substancias dizem-se então *filtros*.

Para filtrar pequena porção de um liquido póde-se empregar um pedaço de feltro, um panno de linho ou de algodão, ou um pedaço de papel descollado convenientemente dobrado sobre si e collocado dentro de um funil.

Para filtrar grandes porções de liquidos, fazem-se filtros especiaes com camadas de areia, pedras porosas e o carvão, introduzidas em caixas; é assim que se tornam proprias para beber, isto é, potaveis, as aguas de alguns rios. É mui conveniente não deixar de empregar o carvão n'esta operação; porque elle tem a propriedade de absorver as materias organicas putrefeitas, que communicam ás aguas um cheiro e sabor desagradaveis.

Os filtros deixam passar os liquidos pelos seus poros, mas reteem as impuresas que são maiores do que elles; d'isto conclue-se que a operação é tanto mais perfeita, e tanto menos rapida, por conseguinte, quanto menores são os poros da substancia, ou quanto mais dividida ella está.

22.—**Volume apparente e volume verdadeiro.**—A porosidade obriga-nos a distinguir em cada corpo duas especies de volume, o *apparente* e o *verdadeiro:* o primeiro é o espaço occupado pela materia do corpo e os seus poros; o segundo é o espaço sómente occupado pela materia do corpo; este é por tanto invariavel, e aquelle, pelo contrario, varia com o augmento e diminuição da grandeza dos poros.

Quando empregarmos unicamente a palavra volume deverá entender-se que tratamos do volume apparente.

23.—**Massa. Densidade: sua relação com a massa e o volume.** —Define-se, em physica, *massa de um corpo a quantidade de materia que elle contém* [1]; e *densidade* de um corpo homogeneo *a massa de unidade de volume;* de um centimetro cubico, por ex.

Assim, sendo V, expresso em centimetros cubicos, o volume de um corpo de massa m, a densidade d é egual a $\frac{m}{V}$: se o corpo não é homogeneo, este quociente representa a *densidade média.* A relação entre a massa, o volume e a densidade é por tanto $m = Vd$.

Para outro corpo é $m' = V'd'$.

Assim, suppondo $d = d'$, vem $\frac{m}{m'} = \frac{V}{V'}$; o que se enuncia dizendo que, *as massas de corpos da mesma densidade são directamente proporcionaes aos volumes.*

Fazendo $V = V'$ vem $\frac{m}{m'} = \frac{d}{d'}$; isto é, *as massas de volumes eguaes de dois corpos são proporcionaes ás densidades.*

Finalmente, fazendo $m = m'$ vem $Vd = V'd'$, ou $\frac{V}{V'} = \frac{d'}{d}$, o que quer dizer que, *os volumes de massas eguaes estão na razão inversa das densidades.*

V.—Compressibilidade

24.—A *compressibilidade* é a propriedade que os corpos teem de serem reduzidos a menor volume quando se sujei-

[1] Esta definição, que apresentamos aqui para satisfazer ao programma, devia ser banida da sciencia; porque não dá a menor idéa do que se quer definir. Adiante damos a definição rigorosa de *massa* (58).

tam a pressões. Esta propriedade é uma consequencia da disposição das moleculas e da porosidade, á qual serve de prova; porque se não houvesse poros não seria possivel reduzir os corpos a menor volume, sendo, como é, a materia impenetravel.

A compressibilidade é muito sensivel em alguns solidos; é muito grande nos gazes, que por esta razão se denominam *fluidos compressiveis*, e quasi nulla nos liquidos, que recebem o nome de *fluidos incompressiveis*.

É costume demonstrar a grande compressibilidade dos gazes com um instrumento denominado *fusil d'ar* [1], fig. 3,

Fig. 3

composto de um cylindro de vidro e de um embolo, que n'elle ajusta perfeitamente; o cylindro é fechado n'uma das extremidades e recebe o embolo na outra: empregando um esforço para fazer penetrar o embolo no cylindro, o ar, ou qualquer outro gaz que n'este se tenha introduzido, não póde sair e é reduzido a um volume muito menor.

25.—Os corpos apresentam a propriedade inversa da compressibilidade, quando se emprega um esforço capaz de afastar as moleculas, isto é, quando se augmenta a força repulsiva do calor, ou por outra quando se aquecem.

Em geral os corpos dilatam-se, augmentam de volume, quando se aquecem; e contrahem-se, diminuem de volume, quando arrefecem. É assim que se podem fazer passar os

[1] Adiante se verá o motivo d'esta denominação; notaremos que alguns auctores dão a este instrumento o nome de *fusil pneumatico* pertencente a outro instrumento muito diverso e fundado no principio opposto.

corpos de solidos a liquidos e de liquidos a gazes pelo aquecimento; e inversamente, fazer passar os gazes a liquidos, e estes a solidos pelo resfriamento.

VI.—Elasticidade

26.—A *elasticidade* é a propriedade que os corpos teem de readquirirem o volume e a fórma primitiva, quando cessa a causa que lhes alterou esse volume e essa fórma.

Aquelles que readquirem completamente o volume e fórma dizem-se *perfeitamente elasticos;* taes são os gazes e os liquidos. Os solidos gozam apenas de uma elasticidade imperfeita.

Como a alteração do volume e da fórma dos liquidos e dos gazes não se póde fazer senão por um esforço de compressão, podemos dizer que só a *elasticidade de compressão* é uma propriedade geral. Nos solidos a elasticidade manifesta-se por outros esforços, como dizemos n'outro capitulo.

O esforço, que as moleculas, desviadas da sua posição, empregam para voltar ao logar primitivo, denomina-se *força elastica.*

Demonstra-se mui facilmente a elasticidade dos solidos com um plano de marmore humedecido com oleo, e com uma pequena bola de marfim, que sobre elle se deixa cair; a bola resalta e deixa no plano impressões circulares, tanto maiores quanto maiores são as alturas d'onde cae. Estas impressões mostram que a bola se achatou antes de se levantar, o que prova a *compressibilidade;* e os resaltos indicam o esforço que as moleculas comprimidas exercem para retomar as suas posições primitivas, o que prova a *elasticidade.*

A elasticidade tem um limite que é representado pelo maior grau de alteração de fórma e volume, que o corpo póde experimentar sem perder a faculdade de voltar ao estado primitivo.

VII.—Mobilidade

27.—**Mobilidade: movimento e repouso, absolutos e relativos.**—Denomina-se *mobilidade* a propriedade que os corpos teem de poderem ser mudados de logar, isto é, de poderem ser postos em *movimento* sob a acção d'uma causa externa.

Por *movimento* entende-se o estado de um corpo que muda constantemente de posição no espaço: denomina-se *repouso* o estado dos corpos que não mudam de posição.

Para fazer idéa d'estes estados é preciso referir as posições do corpo aos objectos que o cercam: se estes objectos estão fixos no espaço o movimento ou o repouso dizem-se *absolutos;* no caso contrario são *relativos* ou *apparentes*. Como não é possivel encontrar no espaço pontos de referencia fixos, póde-se dizer que não se observam na natureza movimentos e repousos que não sejam relativos.

VIII.—Inercia

28.—A *inercia* é a propriedade geral que possue a materia de não poder alterar o seu estado de repouso ou de movimento sem o auxilio de uma causa externa, denominada *força*.

Nós vemos que um corpo em repouso permanece n'este estado até que uma causa qualquer o ponha em movimento; mas não vemos que um corpo posto em movimento permaneça constantemente n'este estado. É porque o corpo não está abandonado a si mesmo, mas submettido a causas que enfraquecem o seu movimento até o destruirem de todo: estas causas são principalmente o *attrito* e a *resistencia dos meios*.

29.—**Attrito: suas especies.**—O *attrito* ou *fricção* é a re-

(1) Inercia é propriedade que os corpos têm de conservarem indefinidamente o seu estado de repouso ou de movimento sem o auxilio d'uma causa externa.

sistencia que os corpos oppõem a mover-se uns sobre os outros; provém das asperezas e da deformação das superficies em contacto.

Consideram-se duas especies de attritos: o de escorregamento e o de *rolamento;* o primeiro é o que se desenvolve quando os corpos escorregam, e o segundo quando rolam uns sobre os outros; o attrito da primeira especie é muito maior que o da segunda.

Desenvolve-se o attrito de rolamento entre as estradas e pinas das rodas dos vehiculos: quando se quer augmentar a resistencia ao movimento para que este seja menos rapido, como convém nas descidas, travam-se as rodas, e assim transforma-se o attrito de rolamento no de escorregamento.

30.—**Resistencia dos meios.**—Os corpos terrestres movem-se através do ar, e, muitas vezes, através da agua; e encontram da parte d'estes meios uma resistencia ao movimento, que precisam vencer perdendo parte do impulso que teem: esta resistencia denomina-se *resistencia dos meios* ou *dos fluidos;* ella contribue essencialmente, como se vê, para a diminuição successiva do movimento dos corpos até á sua completa extincção, se estes corpos são abandonados á sua inercia, isto é, se não recebem novos impulsos.

31.—**Effeitos da inercia.**—A propriedade geral da inercia explica muitos phenomenos, que constantemente observamos.

Assim, quando uma carruagem, ou um cavallo, param de repente, o individuo que vae dentro da primeira ou montado no segundo, tendendo em virtude da inercia a conservar o seu movimento, é impellido para diante; é exactamente o que acontece, e pela mesma razão, a um individuo que vae em pé dentro de um barco, quando este toca subitamente o caes; n'estas circumstancias, estando desprevenido é mui facil cair para o lado do caes.

É tambem pelo mesmo motivo, que, quando se desce de uma carruagem em movimento, é facil cair para diante; por-

que, em virtude da inercia, o corpo vae animado do movimento, que perde a parte inferior, quando toca o solo, mas que conserva a superior; é por isso conveniente, quando se desce, assentar só um pé no solo, para que o outro possa, avançando com o corpo, tomar um ponto de apoio adiante, e continuar no sentido do movimento do trem. A queda que se dá, quando se tropeça, explica-se do mesmo modo.

Reciprocamente, quando uma carruagem, um cavallo ou um barco começam a mover-se rapidamente, parece que somos levados em sentido contrario, porque ao principio não estamos ainda animados de movimento.

Todos conhecem os desastrosos effeitos de um choque de dois comboios, n'um caminho de ferro; pois a inercia é a sua causa: é destruido pelo choque o movimento das carruagens, mas não é aniquilado o movimento de que estão animados os passageiros, por isso estes são impellidos violentamente para diante.

Os individuos que caminham de frente saltam dos seus logares, os que caminham de costas tendem a ser enterrados nas paredes das carruagens: isto explica a grande vantagem dos logares d'estes ultimos, principalmente nas carruagens de 1.ª classe; porque as molas das almofadas annulam uma grande parte do choque.

É pelo effeito da inercia que se ajusta bem o cabo de um martello batendo com a sua extremidade no solo; porque o choque extingue completamente o movimento do cabo, em quanto que a cabeça do martello continúa em movimento.

CAPITULO II

NOÇÕES ELEMENTARES DE MECHANICA

I.—Noções sobre o movimento

32.—**Mechanica.**—A *mechanica* é a sciencia que estuda as forças e o movimento[1]. N'este capitulo damos as noções mais elementares de mechanica, que são indispensaveis ao estudo da physica propriamente dita.

33.—**Ponto material. Trajectoria. Movimento rectilineo e curvilineo.**—Para estudar o movimento de um corpo começa-se, muitas vezes, por abstrair das suas dimensões, e por considerar o corpo reduzido a um ponto, no qual se imagina condensada toda a sua materia: esse ponto recebe o nome de *ponto material*, para o distinguir do ponto propriamente dito, ou do ponto geometrico.

D'esta maneira, representando a serie de posições occupadas pelo corpo movel, temos uma linha descripta por elle, que se chama *trajectoria*.

O movimento de um corpo diz-se *rectilineo* ou *curvilineo*, conforme a sua trajectoria é uma linha recta ou curva. Os movimentos curvilineos distinguem-se uns dos outros pela natureza da linha curva: o movimento diz-se *circular*, *elli-*

[1] A *mechanica* divide-se em duas partes, a *cinematica* e a *dynamica*: na 1.ª faz-se o estudo dos movimentos independentemente das forças, e por conseguinte da materia dos corpos; na 2.ª ligam-se as idéas de movimento e de força, e por isso não se póde abstrair da materia. Na geometria considera-se, por ex., o movimento de linhas para gerar as superficies, mas não se attende ao tempo, como se faz na cinematica.

ptico, *parabolico*, etc., quando a trajectoria é um arco de circulo, de ellipse, de parabola, etc.

34.—**Consideração do tempo.**—O movimento de um corpo não é conhecido só pelo estudo da fórma da trajectoria; é preciso examinar tambem o movimento em relação ao tempo, que o corpo gasta em percorrer as differentes porções d'esta linha.

Os instrumentos que servem para medir o tempo são os relogios e os chronometros; porém a verdadeira medição do tempo pertence á natureza, e é tirada dos phenomenos astronomicos, os quaes determinam intervallos de tempo successivos, que se chamam *dias*[1].

O dia divide-se em 24 partes eguaes, denominadas *horas*; cada hora em 60 partes, que são os *minutos*, e cada minuto em outras 60 partes eguaes, que são os *segundos*.

Sempre que não dissermos o contrario, deverá entender-se que a unidade de tempo a que nos referimos é o *segundo*.

35.—**Movimento uniforme.—Velocidade.**—O movimento diz-se *uniforme* quando os espaços, percorridos em quaesquer intervallos eguaes de tempo, são eguaes. É uniforme o movimento dos ponteiros de um relogio; como é tambem todo o movimento pelo qual, e com o qual, se mede o tempo.

Se for v o caminho percorrido em um segundo pelo corpo animado de movimento uniforme, será $2v$ o caminho percorrido em dois segundos, e, em geral, vt o caminho percorrido no tempo t, expresso em segundos: se representarmos este caminho por e temos $e=vt$.

Ao espaço constante percorrido em cada unidade de tempo, isto é, a v, dá-se o nome de *velocidade*.

Podemos dizer, por conseguinte, que *no movimento uni-*

[1] O *dia solar* ou o *dia verdadeiro*, tomado para base da divisão do tempo, é o intervallo entre duas passagens consecutivas do sol pelo meridiano: o dia marcado pelo relogio é um dia medio. (Vid. os nossos *principios de geographia mathematica*).

Movimento variado

Velocidade

Velocidade do movimento variado em cada momento de movimento é aquella com que o movel se moveria, se então cessasse a causa de movimento e elle continuasse a mover-se com movimento uniforme.

forme os espaços percorridos são proporcionaes aos tempos gastos em percorrel-os.

Se *AB*, fig. 4, representar o tempo *t*, isto é, se contiver tantas unidades de comprimento quantos segundos comprehender aquelle tempo, e se *BD* representar a velocidade *v*, isto é, se for

Fig. 4

egual a tantas unidades de comprimento quantas houver no espaço andado na unidade de tempo, é claro que a superficie do rectangulo *AD* poderá servir para designar o valor do espaço *e*: entendendo-se que n'este espaço ha tantas unidades de comprimento quantas unidades de superficie existem n'aquella area.

36.—**Movimento variado, retardado e accelerado.—Velocidade.**— Se os caminhos percorridos pelo movel, em successivos intervallos de tempo eguaes, não são eguaes, o movimento diz-se *variado;* se diminuem é *retardado*, se augmentam é *accelerado.*

A intensidade ou rapidez do movimento variado muda constantemente de um instante para outro: se a partir de um instante dado se conservasse constante, o movimento tornar-se-hia uniforme, e a velocidade d'este movimento uniforme é o que se chama *velocidade do movimento variado* no instante que se considera. Assim, quando se diz que a velocidade de um corpo animado de movimento variado é, n'um certo instante, representada por *v*, isto não quer dizer que o corpo percorre em um segundo o espaço *v*; mas significa que, se a rapidez do movimento se conservasse como é no instante considerado, o corpo percorreria este espaço em um segundo.

37.—**Movimento uniformemente variado.—Acceleração.**—Se, no movimento variado, a velocidade augmenta ou diminue em tempos eguaes de quantidades eguaes, o movimento diz-se *uniformemente variado;* é *uniformemente accelerado* no primeiro caso, e *uniformemente retardado* no segundo.

O augmento ou diminuição que, no movimento rectilineo uniformemente variado, experimenta a velocidade em cada unidade de tempo tem o nome de *acceleração:* é o valor da velocidade no fim de um segundo, se o movel partiu do repouso.

38. — **Leis do movimento rectilineo uniformemente variado.** — Suppondo que o movel parte do repouso quando começa o movimento particular de que tratamos, temos as duas leis seguintes:

1.ª *A velocidade adquirida no fim de um certo tempo é proporcional a este tempo.*

2.ª *O espaço percorrido é proporcional ao quadrado do tempo gasto em percorrel-o.*

A 1.ª lei resulta da difinição; a 2.ª é consequencia da primeira.

As formulas

$$v = jt \quad \text{e} \quad e = \frac{1}{2} jt^2 \ldots\ldots\ldots \quad (a)$$

nas quaes, j é a acceleração, e v e e a velocidade e o espaço no fim do tempo t, resumem as leis.

Se no instante em que se começa a contar o tempo t o movel está animado de uma velocidade u, denominada velocidade inicial, as formulas do movimento rectilineo uniformemente variado são

$$v = u \pm jt \quad \text{e} \quad e = ut \pm \frac{1}{2} jt^2 \ldots\ldots\ldots \quad (b)$$

sendo o signal + no caso do movimento accelerado, e o signal — no retardado.

39. — **Movimento de translação.** — Temos até aqui fallado apenas do movimento de um ponto; quando se considera o movimento de todo o corpo é preciso distinguir differentes especies, que vamos definir.

O movimento de um corpo diz-se de *translação*, quando as linhas rectas que se imaginam ligando dois a dois os seus differentes pontos se deslocam parallelamente a si mesmas; a translação é *rectilinea* ou *curvilinea* conforme a trajectoria de qualquer ponto é recta ou curva. Temos exemplo

Movimento rectilineo uniformemente variado

Quando o movel parte do repouso, a velocidade é egual a zero.

Leis

1.ª lei

t	v
0	0
1	f
2	$2f$
$\vdots$	$\vdots$
t	ft

$$v = ft$$

2.ª lei

t	v	e
0	0	0
1	f	$\frac{1}{2}f$
2	$2f$	$\frac{1}{2}f \times 2^2$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
t	ft	$\frac{1}{2}ft^2$

$$e = \frac{1}{2}ft^2$$

de uma *translação curvilinea* no movimento da terra em volta do sol.

40.—**Movimento de rotação: velocidade angular.**—O movimento diz-se de *rotação*, quando os differentes pontos do corpo descrevem circumferencias de circulo em torno de uma recta; esta recta denomina-se *eixo de rotação*. A terra, além do movimento de translação já mencionado, tem, como se sabe, movimento de rotação em torno do seu eixo.

A rotação é uniforme se os diversos pontos descrevem arcos proporcionaes aos tempos: o angulo de que gira o corpo, ou cada um dos seus pontos, na unidade do tempo, mede o grau de rapidez da rotação uniforme e denomina-se *velocidade angular*. É claro que n'este movimento os diversos pontos não teem a mesma velocidade, porque descrevem no mesmo tempo circumferencias de raios differentes: se designarmos por ω o comprimento do arco descripto na unidade de tempo pelos pontos collocados á distancia do eixo egual a unidade, a velocidade dos pontos á distancia r d'este eixo é dada pela expressão $v = r\omega$.

$v = r\omega$

O arco ω é que mede a velocidade angular do systema.

41.—**Movimento helicoidal.**—Denomina-se *helicoidal* o movimento do parafuso no interior de uma porca fixa, em virtude do qual cada um dos seus pontos descreve uma helice.

O movimento elementar do parafuso póde considerar-se como sendo uma rotação elementar em torno do seu eixo, seguida de uma translação elementar na direcção d'este mesmo eixo: porque evidentemente estes dois movimentos levam qualquer ponto do parafuso da sua posição inicial á sua posição final.

42.—**Composição dos movimentos.**—Já dissemos que á superficie da terra não podemos observar movimentos absolutos; porque os pontos a que referimos os moveis não são fixos. Póde-se porém apreciar o movimento absoluto ou real de um corpo attendendo ao seu movimento relativo e ao movimento dos pontos de referencia: faz-se com este fim a operação denominada *composição dos movimentos*.

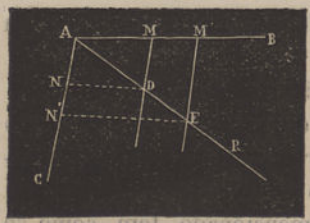


Fig. 5

Supponhamos que o ponto A, fig. 5, se desloca uniformemente com a velocidade $v = AM$ sobre a recta AB, e que esta recta se desloca parallelamente a si mesma com movimento de translação rectilinea uniforme de velocidade $v' = AN$: é claro que no fim de unidade de tempo o ponto A está no ponto D de crusamento das rectas conduzidas por M e N parallelamente a AC e AB. No fim de um tempo qualquer t a posição do movel é o ponto E de intersecção das rectas parallelas a estas conduzidas pelos pontos M' e N' determinados pelas egualdades $AM' = AM \times t$, e $AN' = AN \times t$ ou $M'E = MD \times t$. D'aqui vem

$$\frac{AM'}{AM} = \frac{M'E}{MD};$$

por conseguinte os pontos A, D e E estão em linha recta.

Assim o movimento composto ou resultante segue a diagonal do parallelogrammo formado sobre os movimentos componentes.

Comparando os lados homologos dos triangulos semelhantes $AM'E$ e AMD, tira-se $AE = AD \times t$: por conseguinte, o movimento absoluto é uniforme e a sua velocidade é AD, isto é, a diagonal do parallelogrammo formado sobre as velocidades dos movimentos componentes.

43.—**Composição e decomposição das velocidades.**—Acabamos de ver como se compõem duas velocidades AM e AN: reciprocamente, a velocidade AD póde decompor-se em duas nas direcções AB e AC, formando sobre ella como diagonal um parallelogrammo com os lados n'aquellas direcções.

II.—Noções sobre as forças

44.—**Forças.—Forças naturaes.**—Para que um corpo passe do estado de repouso ao de movimento, ou para que adquira um movimento differente do que tem, é preciso uma causa, a qual se denomina força. *Força é pois uma causa capaz de produzir movimento ou alteração de movimento.*

As forças, que actuam sobre os corpos independentemente

Força

Força é a materia associada ao movimento.

Sentido

Sentido é a orientação da força na linha da sua direção.

pag. 30 — Equilibrio é o estado do corpo actuado por duas forças eguaes e contrarias.

---

da intervenção do homem, dizem-se *forças naturaes:* taes são as *forças moleculares* (19); a força que faz cair os corpos para a superficie da terra, denominada *gravidade*, etc.

45.—**Forças instantaneas e continuas.**—É costume classificar as forças, posto que impropriamente, em *instantaneas* e *continuas,* conforme se consideram applicadas aos corpos durante um instante ou durante instantes successivos: as primeiras produzem movimentos uniformes, as segundas movimentos variados.

As forças continuas denominam-se *constantes*, quando conservam em todos os instantes a mesma direcção e intensidade; denominam-se *variaveis* no caso contrario.

46.—**Ponto de applicação, direcção e intensidade das forças.**—Entende-se por *ponto de applicação de uma força* o ponto onde ella actua directamente; por *direcção da força* a direcção do movimento, que esta força communicaria a um corpo que, estando em repouso, cedesse só á sua acção; por *intensidade da força* o seu valor em relação a uma outra força tomada para unidade.

O ponto de applicação de uma força póde substituir-se por qualquer outro da sua direcção, com tanto que esteja invariavelmente ligado ao primeiro.

Convenciona-se representar a direcção das forças por uma linha recta; o sentido com a ponta de uma setta, e a intensidade por uma porção determinada da linha de direcção.

47.—**Systema de forças.—Resultante e componentes.**—Um *systema de forças* é a reunião de duas ou mais forças, que concorrem para produzir um certo effeito: a força capaz de as substituir, ou de produzir o effeito de todas, denomina-se *resultante*, e as forças substituidas, *componentes*. Se as direcções d'estas são parallelas, o systema diz-se *de forças parallelas;* se concorrem n'um ponto, diz-se de *forças concorrentes;* este ponto é o seu ponto commum de applicação.

Para substituir um systema de forças pela resultante faz-se

o que se chama *composição de forças*; para separar uma força em duas ou mais, que produzam o effeito da primeira, faz-se a *decomposição da força*.

48.—**Equilibrio.**—Se duas ou mais forças applicadas ao mesmo corpo se neutralisam, o estado de movimento ou de repouso do corpo não é alterado; diz-se então que as forças se equilibram; e se o corpo está em repouso, diz-se que está em *equilibrio*. Differe este estado do de repouso, porque n'este não se considera a acção de forças.

49.—**Composição de forças da mesma direcção.**—Se as forças actuam no mesmo sentido e direcção admitte-se, como evidente, que a resultante é egual á sua somma, e obra no sentido e direcção das componentes.

Se duas forças actuam na mesma direcção mas em sentidos contrarios, a resultante é egual á sua differença e actua no sentido da maior das forças componentes.

Se muitas forças actuam todas na mesma direcção mas umas n'um sentido, outras no outro, a sua resultante é egual á differença entre a somma das que actuam n'um sentido e a somma das que actuam no outro, e tem a direcção e o sentido da maior d'estas sommas.

50.—**Composição de forças concorrentes: parallelogrammo e parallelipipedo das forças.**—A resultante de duas forças concorrentes é representada em grandeza e direcção pela diagonal do parallelogrammo formado sobre as suas intensidades.

Sejam AB e AC, fig. 6, as direcções de duas forças concorrentes, actuando ambas em A para B e C, como indicam as settas; e representem AM e AN as suas intensidades. Formando o parallelogrammo sobre estas será AD a direcção e sentido da resultante, e AR a sua intensidade.

A resultante de muitas forças concorrentes obtem-se determinando primeiramente a resultante de duas, depois a resultante d'esta primeira resultante e d'uma terceira força, depois a resultante da segunda resultante e d'uma quarta força, e assim por diante.

Fig. 6

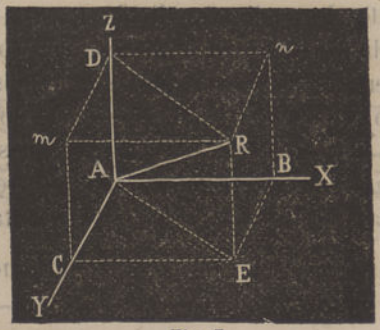


Fig. 7

Applicando esta regra ás tres forças *AB*, *AC* e *AD*, fig. 7, não situadas no mesmo plano, acha-se primeiro a resultante *AE* das duas *AB* e *AC*; e depois a resultante *AR* d'esta resultante e da terceira força *AD*. Vê-se pois que a resultante de tres forças concorrentes não situadas no mesmo plano é a diagonal do parallelipipedo construido sobre as suas intensidades.

51.—**Decomposição de uma força em duas ou tres concorrentes.**—Querendo decompor uma força *AR*, fig. 6, em duas nas direcções *AB* e *AC*, tiram-se por *R* duas rectas parallelas a estas linhas, e *AM* e *AN* são as duas componentes.

Para decompor uma força *AR*, fig. 7, em tres nas direcções *AX*, *AY* e *AZ* não situadas no mesmo plano, fórma-se o parallelipipedo com a diagonal *AR* e com as arestas nas tres direcções dadas: as porções *AB*, *AC* e *AD* interseptadas n'estas direcções são as intensidades das componentes procuradas.

O problema da decomposição de uma força em mais de duas no mesmo plano, e em mais de tres em differentes planos, é indeterminado.

52.—**Composição de duas forças parallelas.**—A resultante de duas forças parallelas é uma força parallela ás componentes, egual á sua somma, se estas são do mesmo sentido, e á sua differença, se são de sentidos contrarios; no 1.º caso o seu

ponto de applicação divide a recta, que une os pontos de applicação das componentes, em dois segmentos additivos inversamente proporcionaes ás intensidades d'estas; no 2.º caso este ponto [divide a recta em dois segmentos subtractivos n'esta mesma relação, por conseguinte existe no prolongamento da recta do lado da força maior] Assim, se as forças são AP e BQ. fig. 8, a resultante CR é egual á sua somma e actua n'um ponto C tal que seja $\frac{AP}{BQ} = \frac{BC}{AC}$.

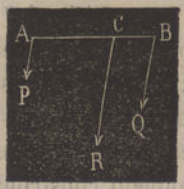


Fig. 8

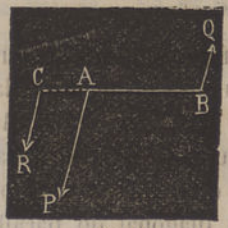


Fig. 9

Se as forças teem sentidos contrarios, fig. 9, a resultante CR é egual á differença, e actua em C, sendo ainda este ponto determinado pela relação $\frac{AP}{BQ} = \frac{BC}{AC}$.

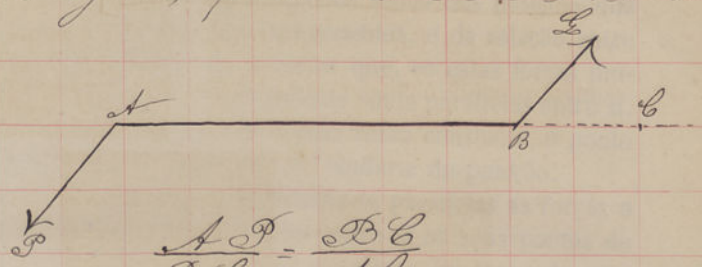
53.—**Cuple ou binario.**—A regra da composição de duas forças parallelas de sentidos contrarios não é applicavel ao caso de ellas serem eguaes: ao systema de duas forças eguaes e parallelas actuando em sentido contrario nos extremos de uma recta, dá-se o nome de *cuple* ou *binario:* este systema não tem resultante, isto é, não póde ser substituido por uma força unica.

Suppondo fixo o meio da recta o effeito do binario é fazer girar esta em torno d'aquelle ponto, e este effeito mede-se pelo producto de uma das forças pela distancia entre ambas, producto que se denomina *momento do binario.*

54.—**Composição de muitas forças parallelas.—Centro de forças parallelas.**—A resultante de muitas forças parallelas obtem-

Cuple ou binario

— Cuple ou binario é o systema de duas forças eguaes, parallelas e de sentidos contrarios.



$$\frac{AP}{BG} = \frac{BC}{AC}$$

$$\left.\begin{array}{l} AP = BG \\ \\ \end{array}\right\} \therefore AC = BC$$

$$\left.\begin{array}{l} BC = AC - BA \\ \\ \end{array}\right\} BC = \infty$$

— O ponto d'applicação do binario está no ∞ (infinito).

— Não tem movimento de translação, mas tem movimento de rotação.

se fazendo a composição de duas; compondo depois a resultante obtida com uma terceira, e assim successivamente.

Se as forças teem todas o mesmo sentido, a resultante é egual á sua somma, e o seu ponto de applicação toma o nome de *centro de forças parallelas*. Este ponto é notavel; porque a sua posição não depende senão das posições dos pontos de applicação das componentes, e da relação entre as suas intensidades: de maneira que, se estas forças mudassem de direcção conservando-se ainda parallelas entre si, e mudassem de intensidade n'uma razão constante, o ponto de applicação da resultante não mudaria de posição.

Vê-se tambem que, conservando-se parallelas as forças e estando invariavelmente ligados entre si os seus pontos de applicação, póde-se fazer girar o systema em torno do centro de forças parallelas, sem que a resultante deixe de passar por este ponto: de maneira que se elle estiver fixo, ficará o corpo em equilibrio em todas as posições que póde tomar fazendo-o girar em torno d'elle. Adiante veremos uma applicação d'este principio.

55.—**Decomposição de uma força em duas parallelas.**—Querendo decompor uma força CR, figs. 8 e 9, em duas parallelas actuando nos pontos A e B, já sabemos que se o ponto C é intermedio a estes dois, estas forças são do mesmo sentido e sommadas dão o valor de CR; e que se está no prolongamento da recta AB, as forças são de sentidos contrarios, a sua differença é egual a CR e a maior tem o sentido d'esta força.

Para achar as intensidades das componentes, que representamos por P e Q, basta recorrer á proporção $\frac{P}{Q}=\frac{BC}{AC}$: no primeiro caso tiramos d'esta proporção a seguinte:

$$\frac{P+Q}{P}=\frac{BC+AC}{BC} \quad \text{ou} \quad \frac{R}{P}=\frac{AB}{BC}$$

d'onde se calcula o valor de P: o de Q é $R-P$.

No segundo caso tiramos da primeira proporção a seguinte:

$$\frac{P-Q}{P}=\frac{BC-AC}{BC} \quad \text{ou} \quad \frac{R}{P}=\frac{AB}{BC}$$

d'onde se calcula P: o valor de Q é, n'este caso, $P-R$.

56. — **Pressões e tensões.—Peso dos corpos.**—Nem sempre uma força applicada a um corpo póde produzir movimento; é o que acontece quando ao deslocamento do corpo se oppõe outro corpo, ou um fio a que está preso: o effeito da força é então uma depressão n'este corpo ou no fio, a qual se denomina *pressão*, no primeiro caso, e *tensão*, no segundo. As forças que actuam nos corpos em repouso dizem-se *mortas;* as que actuam nos corpos em movimento dizem-se *moventes* ou *vivas*.

Um corpo tende sempre a cair para a superficie da terra, em virtude da *gravidade* (44); porém se o corpo assenta sobre outro, sobre uma mesa, por ex., ou está preso a um fio, não póde cair, e produz uma pressão n'aquella, ou uma tensão n'este, a qual mede o que se chama o *peso do corpo*. Para representar os pesos toma-se para unidade o peso de um determinado corpo, que é no systema metrico um centimetro cubico d'agua pura na temperatura de 4.°; dá-se-lhe o nome de *gramma*, e a elle se referem os pesos dos outros corpos: assim, quando se diz que um corpo pesa doze grammas ou quinze kilogrammas, isto quer dizer que o peso do corpo equivale a doze vezes ou a quinze mil vezes o de um centimetro cubico d'agua, nas condições mencionadas.

57. — **Medição das forças pelos pesos.—Dynamometros.**—É pelos seus effeitos que temos conhecimento das forças; por isso interessa-nos particularmente a sua medição, a qual se funda na definição seguinte: *duas forças mortas são eguaes quando, actuando no mesmo corpo, são capazes do mesmo effeito*, ou *quando podem substituir-se*.

Medem-se as forças mortas comparando-as com os pe-

sos e tomando para unidade o *kilogramma*. Os instrumentos empregados para este fim são os *dynamometros*, cuja construcção é fundada na elasticidade das molas, e cuja graduação é feita com pesos.

Faremos uma discripção resumida dos dynamometros mais geralmente empregados.

O *dynamometro de mola angular*, fig. 10, compõe-se de uma mola d'aço *aob*, formando um angulo, cujos lados se fazem aproximar com o esforço transmittido a um d'elles *ao* por intermedio de um arco metalico *ac*, que lhe está fixo, e que atravessa livremente o outro lado do angulo: a este está ligado da mesma maneira outro arco *bd*, que serve para suspender o instrumento, e está graduado em kilogrammas. Assim, suspendendo o instrumento pelo gancho d'este arco, collocando pesos no gancho do outro, ou applicando-lhe qualquer força, pela graduação marcada no primeiro avalia-se esta força, ou aquelle peso.

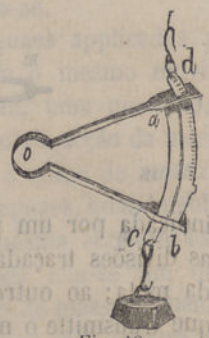


Fig. 10

O *dynamometro de mola em helice*, fig. 11, devido a Leroy, consta de uma mola espiral introduzida em um tubo, a que está ligada por um extremo *a* e tendo o outro preso a uma haste graduada, que atravessa livremente uma das bases do tubo. O exforço applica-se em *b*, tendo fixado o instrumento pelo extremo da haste ligada á mola. A dureza d'esta deve estar em harmonia com as forças que o instrumento é destinado a supportar: de feito sendo a mola muito sensivel não póde avaliar grandes forças senão sendo muito extensa, o que não convém.

Fig. 11

O *dynamometro de mola oval* ou *de Regnier*, fig. 12, consiste em uma mola oval, cujos pontos medios se aproximam quando se exerce uma tracção pelos

extremos, ou uma pressão pelo meio. Esta aproximação é

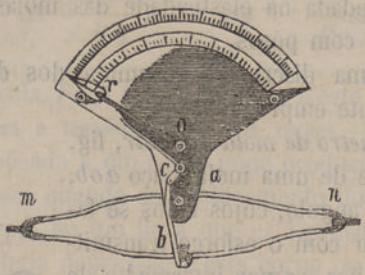


Fig. 12

indicada por um ponteiro *Or*, cuja extremidade percorre as divisões traçadas sobre um sector fixo a um dos ramos da mola; ao outro ramo d'esta está ligada uma haste *bc*, que transmitte o movimento ao ponteiro por intermedio de uma alavanca angular *c*.

O instrumento tem duas graduações: uma serve para indicar os exforços de pressão, com os quaes se aproximam directamente as partes médias da mola, como succede quando se quer apreciar a força das mãos; outra serve para medir os exforços de tracção, o que se faz applicando uma corda a uma extremidade e prendendo o instrumento pela outra. É assim que se mede a força de tracção dos cavallos.

O *dynamometro de Poncelet*, fig. 13, tem sobre os antecedentes a vantagem de que os deslocamentos das molas são proporcionaes ás forças. Consta de duas molas parabolicas *A* e *B*, articuladas nos extremos a duas pequenas hastes *m* e *n*, e tendo na parte média armaduras, que recebem exteriormente os ganchos *C* e *C'* de suspensão do instrumento e da applicação das forças, e interiormente duas pequenas reguas

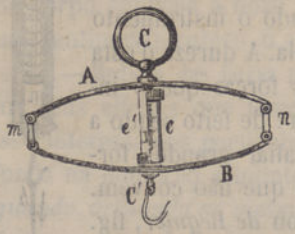


Fig. 13

e e e' uma graduada e outra munida de nonio. O deslocamento d'este nonio sobre a escala marca o afastamento das molas, e por tanto a tracção exercida sobre ellas.

58.—**Massa: sua medida.**—Na medição das forças, feita como acabamos de dizer, suppõe-se que ellas não podem pôr em movimento os corpos a que estão applicadas: no caso contrario o effeito da força complica-se.

Reconhece-se, de feito, que forças eguaes applicadas a corpos differentes não lhes communicam o mesmo movimento. Os corpos teem, por conseguinte, uma qualidade que os faz ceder mais ou menos facilmente á acção da mesma força. A esta qualidade é que se dá o nome de *massa*.

Diz-se que dois corpos teem massas eguaes, quando sob a acção da mesma força adquirem a mesma acceleração. Reunindo dois corpos de massas eguaes tem-se um de massa dupla, etc; por conseguinte a idéa de massas eguaes conduz á de massas em qualquer relação, o que mostra a possibilidade de representar as massas dos corpos por numeros, escolhendo um corpo cuja massa se tome para unidade.

Demonstra-se em mechanica que, *duas forças F e F' são proporcionaes aos productos das massas m e m', a que se applicam, pelas acelerações j e j' dos movimentos que produzem;* assim é $\frac{F}{F'}=\frac{mj}{m'j'}$.

Convenciona-se tomar para unidade de massa a massa que sob a acção de unidade de força (um kilogramma) adquire unidade de acceleração (um metro); por tanto, se fizermos $F'=1$ e $j'=1$, é tambem $m'=1$ e $\frac{F}{1}=\frac{m}{1}\times\frac{j}{1}$, isto é, $F=mj\ldots$ *(a)*

D'aqui vem o dizer-se que o producto da massa m pela acceleração j serve de medida á força; porém mais rigorosamente deve entender-se que o numero de kilogrammas que representa a força é egual ao producto dos numeros

que indicam as relações entre a massa e unidade de massa, a acceleração e a unidade de acceleração: é assim que se deve entender a formula *(a)*.

Se a força que sollicita o corpo é o seu peso P, designando por g a acceleração da gravidade, que adiante determinamos, tem-se $P=mg$: d'esta egualdade tira-se $m=\frac{P}{g}$, o que mostra a maneira de representar numericamente a massa de um corpo[1].

59.—**Quantidade de movimento.**—Denomina-se *quantidade de movimento* de um corpo o producto mv da sua massa pela velocidade de que está animado.

No movimento rectilineo uniformemente variado (unico movimento variado que precisamos considerar em physica) a velocidade no fim de um segundo é a acceleração (37); e como $F=mj$ podemos dizer que, uma força *movente* mede-se pela quantidade de movimento que communica ao movel no fim de um segundo.

60.—**Principio da reacção egual e contraria á acção.**—Toda a *acção* faz desenvolver outra egual e contraria, que se denomina *reacção*. Este principio fundamental de dynamica enuncia-se da maneira seguinte: *se um corpo* A *é submettido á acção de uma força dirigida de outro corpo* B, *este ultimo é tambem sollicitado por uma força egual e contraria áquella.*

Em milhares de exemplos se reconhece a acção e a reacção: citaremos alguns que podem desde já ser compreendidos. Na experiencia mencionada no num 24, feita com o *fusil d'ar*, a acção do embolo sobre o ar, acção que se transmitte ao fundo do cylindro, é acompanhada de uma acção egual que o ar exerce sobre o embolo, e que faz ele-

[1] Veremos que o valor de g é $9^m,8$; por tanto a massa unidade é a de $9^k,8$: é a massa de 9,8 decimetros cubicos d'agua pura a 4°.

58 bis — Proporcionalidade das forças ás acceleraçoes. — Massa. —

Se representarmos por F, F', F'' etc., diversas forças constantes, que actuando successivamente sobre o mesmo corpo lhe imprimem as acceleraçoes f, f', f'', etc., no fim do mesmo tempo, demonstra-se em mechanica que aquellas forças são proporcionaes ás acceleraçoes, isto é,

$$\frac{F}{f} = \frac{F'}{f'} = \frac{F''}{f''} = \text{etc.}$$ (A força stas, 6.ª a acceleração) n'uma razão constante.

É á relação entre qualquer força e a acceleração correspondente que se dá, em mechanica, o nome de <u>massa</u>; e como a experiencia demonstra que a mesma força actuando sobre diversos corpos lhes imprime, em geral, diversas acceleraçoes, concluimos que aquelles corpos têm massas differentes.

Diz-se que dois corpos têm massas eguaes, quando sob a acção da mesma força adquirem a mesma acceleração.

Representando a massa d'um corpo por

m tem-se pois

$$\frac{F}{j} = m \quad \text{ou} \quad F = mj$$

Mostra esta formula que unidade de massa é a massa do corpo que actuado por unidade de força (um kylogramma), adquire unidade d'acceleração (um metro); ou que actuado por uma força egual a n kylogrammas adquire a acceleração egual a n metros.

Se a força que sollicita o corpo é o seu peso P, designando por g a acceleração da gravidade, que adiante determinamos temos

$$P = mg \quad \left(1^{k.} = m \times 9{,}8 \right\} 1^{k.} = (m \times 9{,}8) \times 1^{m.}\right)$$

e como, nas nossas latitudes, g é egual a 9,8 proximamente, concluimos que unidade de massa é a do corpo que pesar 9,8 k., por ex. a de 9,8 litros de agua pura a 4.º

---

59 bis — Quantidade de movimento, (na força instantanéa) d'um corpo é o producto da sua massa pela velocidade; e na força continua é o producto da sua massa pela acceleração.

---

var este quando se abandona. O ar desempenha aqui o papel de mola tensa, que exerce a acção e a reacção sobre as faces oppostas do cylindro e do embolo.

Quando se dispara uma peça ou uma arma de fogo, os gazes provenientes do combustão da polvora expellem o projectil; é a acção; e produzem o recuo, que é o resultado da reacção, isto é, da acção contraria sobre o fundo da peça.

Um corpo suspenso por um fio ou appoiado sobre uma banca, produz um pequeno alongamento n'aquelle ou uma depressão n'esta, que mede, como dissemos, o seu peso (56); ao mesmo tempo o fio ou a banca reagem com uma força egual e contraria, que obsta á queda do corpo.

É preciso notar que as duas forças, acção e reacção, apesar de eguaes e contrarias, não se destroem; porque actuam em corpos differentes. No exemplo do tiro da peça, vemos cederem ambos os corpos, o projectil e a boca de fogo. Querendo que ceda um só deve o outro ser fixo. Assim para elevar um fardo do chão, exercemos um esforço vertical de baixo para cima: porém ao mesmo tempo exercemos a reacção com os pés sobre o solo, e é a resistencia d'este que a destroe. Exercemos um esforço em sentido contrario quando queremos tirar agua de um poço por meio de um balde, de uma corda e roldana: n'este caso a reacção é tambem de sentido contrario e destruida pelo peso do nosso corpo. Casos ha porém em que a acção e a reacção actuam no mesmo corpo, e então este não póde ser deslocado. É o que acontece, por ex., quando um individuo collocado dentro de um carro exerce sobre as suas paredes um esforço para o deslocar; n'este caso a reacção transmitte-se através do corpo ao mesmo carro, e por isso este não entra em movimento.

61.—**Forças centripeta e centrifuga.**—Em consequencia da inercia da materia um corpo em movimento tende a caminhar sempre em linha recta com movimento uniforme; por conseguinte, para que um corpo caminhe em linha curva é

é preciso applicar-lhe constantemente uma força, que o desvie da direcção rectilinea; esta força, que póde ser a tensão de um fio a que o corpo se prende, denomina-se *força centripeta:* o movel, actuado por esta força, desenvolve uma reacção egual e contraria, que tende, por conseguinte, a afastal-o constantemente do centro do movimento; esta reacção é a *força centrifuga.*

Assim, *força centrifuga é uma força que se desenvolve em todo o movimento curvilineo, e que tende a afastar o movel do centro de rotação.*

As forças centripeta e centrifuga, assim como qualquer acção e a sua reacção, são eguaes e contrarias, mas não se destroem, porque não actuam no mesmo corpo. Imaginemos por ex. que se faz girar um corpo ligado a um fio, á maneira de uma funda; a força centripeta é a que o fio exerce sobre o corpo, em quanto que a centrifuga é a que este exerce sobre aquelle tendendo a rompel-o. No movimento de um planeta em volta do sol, a força centripeta é a attracção d'este para aquelle, e actua no planeta; a centrifuga é a acção do planeta sobre o sol, que tende a arrastar este para si, e actua no sol. Temos no primeiro exemplo a applicação das duas forças em corpos visinhos, e no segundo em corpos muito distantes.

62.—**Leis da força centrifuga.**—As leis da força centrifuga no movimento circular uniforme deduzem-se da formula $F=\frac{mv^2}{R}$, na qual m respresenta a massa do movel, v a sua velocidade e R o raio da trajectoria.

Para outro movel tem-se $F'=\frac{m'v'^2}{R'}$.

Suppondo $v=v'$ e $R=R'$ vem $\frac{F}{F'}=\frac{m}{m'}$. Assim:

1.ª Lei. *As forças centrifugas são proporcionaes ás massas, quando os moveis, animados da mesma velocidade, descrevem circulos do mesmo raio.*

Força tangencial

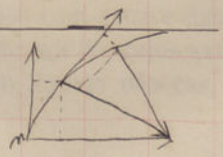
— Força tangencial, ou força de projecção, ou d'impulsão é uma força instantanea que actua nos movimentos curvilineos na direcção da tangente á curva.

Força centripeta

— Força centripeta é uma força continua que affasta os corpos da direcção rectilinea.

Força centrifuga

— Força centrifuga é uma força que se desenvolve em todo o movimento curvilineo e que tende a affastar o movel do centro de rotação.



Suppondo $m=m'$ e $R=R'$ vem $\frac{F}{F'}=\frac{v^2}{v'^2}$; por tanto:

2.ª Lei. *As forças centrifugas são proporcionaes aos quadrados das velocidades, quando os moveis teem massas eguaes e descrevem circulos do mesmo raio.*

Finalmente, sendo $m=m'$ e $v=v'$ temos $\frac{F}{F'}=\frac{R}{R'}$. Assim

3.ª Lei. *As forças centrifugas são inversamente proporcionaes aos raios dos circulos descriptos com a mesma velocidade por massas eguaes.*

Um caso importante, que ainda precisamos considerar, é aquelle em que massas eguaes descrevem circulos differentes no mesmo tempo; por conseguinte com velocidades tambem differentes.

Se for T o tempo gasto em percorrer com a velocidade v uma circumferencia de raio R, por tanto de comprimento $2\pi R$, teremos (35) $2\pi R=vT$; isto é $v=\frac{2\pi R}{T}$. Substituindo este valor na expressão da força centrifuga vem $F=\frac{4m\pi^2}{T^2}R$. Para outro movel da mesma massa é tambem $F'=\frac{4m\pi^2}{T^2}R'$; por conseguinte $\frac{F}{F'}=\frac{R}{R'}$. Assim:

4.ª Lei. *As forças centrifugas, desenvolvidas por corpos de massas eguaes que, durante o mesmo tempo, descrevem circumferencias de raios differentes, são proporcionaes a estes raios.* É o que tem logar com as forças centrifugas desenvolvidas nos differentes pontos da superficie da terra.

63.—**Experiencias que demonstram a existencia da força centrifuga.**—A força centrifuga, que se desenvolve no movimento de rotação, póde tornar-se sensivel por meio das experiencias seguintes:

1.ª Tomando um vaso com agua e dando-lhe movimento de rotação por meio de um fio, cujos extremos se fixam na mão, observa-se que o liquido não cae, quando o vaso se

acha com a boca para baixo. Este effeito é devido á força centrifuga desenvolvida, e que faz com que a agua exerça constantemente pressão sobre o fundo do vaso, qualquer que seja a posição em que este se ache durante o movimento.

2.ª A fig. 14 representa um apparelho empregado para demonstrar a força centrifuga e para explicar o achatamento da terra nos polos. Consta essencialmente de duas laminas d'aço muito flexiveis *c*, *c'* recurvadas em fórma circular, ligadas entre si e dispostas em dois planos perpendiculares. Uma haste de ferro *ab*, no logar do diametro commum, está fixa a ambos os circulos na parte inferior, e atravessa-os livremente na parte superior: esta disposição permitte

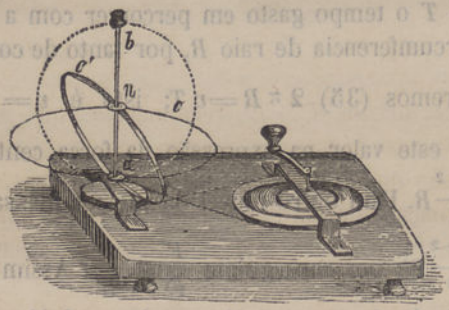


Fig. 14

deformar os circulos, abaixando ou elevando com a mão a sua parte superior. A haste de ferro póde receber movimento rapido de rotação, por meio de uma manivela e de uma corda sem fim, que passa em duas roldanas; e como ella está fixa á parte inferior das molas communica-lhes o seu movimento. Fazendo isto vê-se deformarem-se as molas, achatando-se no sentido do diametro commum, o que é devido á força centrifuga que, sendo nulla no eixo e maxima nos pontos mais afastados, obriga estes a desviarem-se d'aquelle.

Este apparelho é conhecido pela denominação de *apparelho dos meridianos elasticos*. É por esta maneira que se explica o achatamento da terra nos polos, suppondo que ella esteve primitivamente no estado fluido, porém animada de movimento de rotação em torno do seu eixo.

3.ª Imprimindo movimento de rotação pelo mesmo systema, ou por qualquer outro, ao quadro metallico *A B C D* representado na fig. 15, em cujo lado *A B* podem correr as

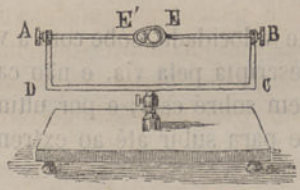


Fig. 15

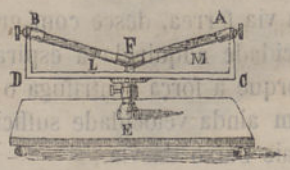


Fig. 16

espheras de marfim *E* e *E'*, reconhece-se que, estando estas ligadas, permanecem na mesma posição se estão dispostas de modo que haja massas eguaes de ambos os lados do eixo de rotação; porém deslocando o systema para qualquer dos lados, vê-se que é fortemente impellido para a extremidade do quadro mais proxima.

4.ª Dando movimento de rotação ao quadro representado na fig. 16, o qual supporta dois tubos de vidro *A F* e *B F* com alguma agua, tendo o primeiro uma esphera de cortiça *M* e o outro uma de latão *L*, reconhece-se que a agua se accumula no extremo afastado do eixo, e que as espheras mudam de posição, isto é, a de cortiça apparece na parte inferior e a de latão na parte superior. Isto é uma consequencia da 1.ª lei da força centrifuga, e de que, em volumes eguaes, a agua tem menos massa que o metal e mais que a cortiça.

5.ª A fig. 17 representa um modelo do *caminho de ferro aereo*, no qual se reconhece e aproveita a força centrifuga.

Um pequeno carro, abandonado do extremo mais elevado

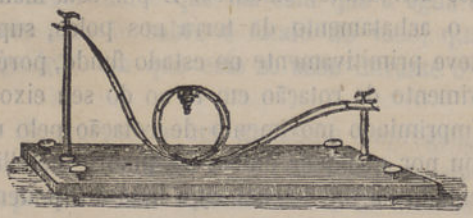


Fig. 17

da via ferrea, desce com grande velocidade, sóbe com a velocidade adquirida a espiral descripta pela via, e não cae, porque a força centrifuga o retem sobre esta; e por ultimo tem ainda velocidade sufficiente para subir até ao extremo mais baixo da via.

64.—Choque dos corpos.—No *choque dos corpos* passam-se phenomenos curiosos: em primeiro logar, em consequencia da *inercia da materia*, a quantidade total de movimento de que os corpos estão animados não se altera, apenas se reparte de outro modo, podendo haver perda na quantidade de movimento de um e ganho na do outro; mas devendo sempre haver egualdade entre o ganho e a perda. Se os corpos não são elasticos, deformam-se pelo choque e continuam a mover-se com uma velocidade commum; porém se são elasticos, e é esse o caso que mais nos deve interessar, as moleculas desviadas da sua posição de equilibrio reagem para a readquirirem, resultando d'ahi augmento da perda e do ganho de velocidade, de modo que os corpos separam-se e caminham com velocidades differentes, em geral.

Se os corpos, que se chocam, teem massas eguaes e são perfeitamente elasticos, conclue-se: 1.º que se um está parado recebe todo o movimento do outro, e fica este em repouso; 2.º que se ambos se movem no mesmo sentido com differentes velocidades, trocam os seus movimentos depois do choque; 3.º que se um dos corpos é fixo, o outro adquire depois do choque uma velocidade egual e contraria á que tinha antes.

65.—Transmissão do choque.—Estuda-se a *transmissão do choque*, e verificam-se alguns resultados da theoria do choque dos corpos elasticos, com o apparelho da fig. 18, composto de 7 bolas de marfim de eguaes diametros, suspensas a um quadro por fios de seda, de maneira que se tocam sem se comprimirem, e que os seus centros es-

tão na mesma linha recta. Deslocando a primeira das espheras e abandonando-a sobre a segunda, só a ultima se move, de uma quantidade proximamente egual á que representa o choque da primeira.

Esta experiencia mostra ao mesmo tempo que o choque transmitte-se através dos corpos elasticos rapidamente sim, porém consumindo um determinado tempo. É claro que todas as espheras se deslocariam se recebessem o choque ao mesmo tempo.

Se o choque é muitissimo rapido, póde acontecer que as moleculas chocadas se desloquem ficando as visinhas na sua posição. É por este motivo que com um tiro de pistola póde abrir-se um furo circular n'um vidro, o qual dá passagem á bala, em quanto que o choque menos rapido faria partir e fender completamente o mesmo vidro.

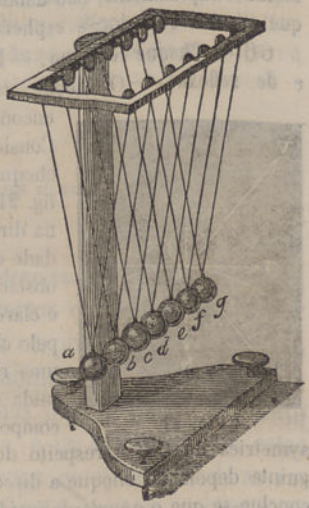


Fig. 18

Para demonstrar que a transmissão do choque de um para outro corpo exige um certo tempo servem os apparelhos que as fig.as 19 e 20 repre-

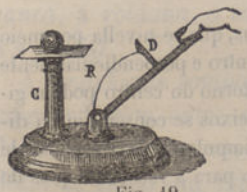


Fig. 19

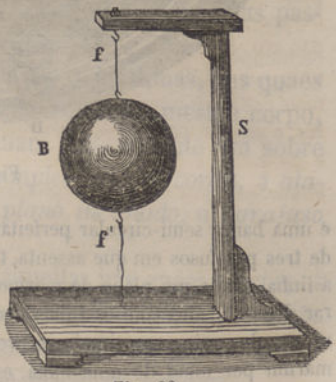


Fig. 20

sentam. Com o primeiro uma carta carregada com uma bola sendo rapidamente chocada é projectada a distancia, em quanto que a bola, não recebendo o choque, fica no seu logar. Com o segundo torna-se isto bem claro, porque puxando o fio lentamente a esphera solta-se de cima, pu-

xando-o rapidamente, não dando tempo a que este esforço se communique á parte superior, a esphera fica suspensa e parte-se o fio inferior.

66.—Choque obliquo.—Egualdade dos angulos de incidencia e de reflexão.— O *choque obliquo* dá-se quando os corpos que se encontram não se movem na mesma linha. Consideraremos apenas o caso particular do choque de um corpo perfeitamente elastico *m*, fig. 21, contra um obstaculo fixo e resistente na direcção *XV*. Decompondo a sua velocidade em duas, uma *OT* no plano tangente ao obstaculo e outra *ON* na direcção da normal, é claro que a primeira não póde ser destruida pelo choque, em quanto que a segunda origina uma reacção, que dá em resultado ser substituida por outra *On* egual e contraria, a qual composta com a primeira dá a resultante *OV'* symetrica de *OV* a respeito do obstaculo. O corpo segue por conseguinte depois do choque a direcção *OV'*, e como *xon* é egual a *nOV'* conclue-se que o *angulo de incidencia* é egual ao *de reflexão*.

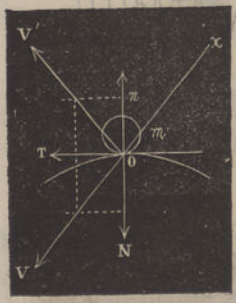


Fig. 21

Demonstra-se experimentalmente esta lei com o apparelho da fig. 22:

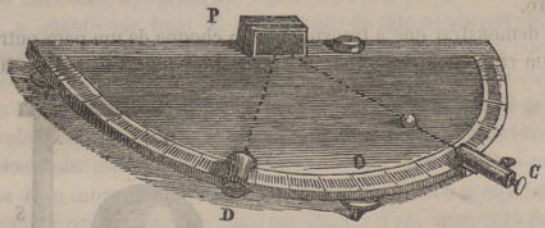


Fig. 22

é uma banca semi-circular perfeitamente plana, que se nivella por meio de tres parafusos em que assenta, tendo no centro e perpendicularmente á linha média um plano de marmore *P*; em torno do centro podem girar duas alidades com os tubos *C* e *D*, cujos eixos se conservam na direcção dos raios: o primeiro serve para dar impulso a uma esphera de marfim por meio de uma mola, e o segundo para a receber depois de se reflectir em *P*. Dispondo-as de modo que sejam eguaes as suas distancias ao ponto *O* e projectando a bola, vê-se que se dirige para o interior do tubo *D*.

No jogo do bilhar faz-se applicação dos principios expostos n'este num.

e no num. 64; porém os phenomenos tornam-se muito complicados, e consegue-se dar ás bolas direcções muito caprichosas imprimindo-lhes com o taco movimento de rotação, além do movimento de translação: é a isto que se chama dar *effeito* ás bolas.

III.—Noções sobre as machinas

67.—**Machinas.—Potencias e resistencias.**—Para tirar partido das forças é preciso empregar certos corpos, que são por ellas postos em movimento: estes corpos, que teem por fim transmittir a acção das forças denominam-se *machinas*.

As forças applicadas ás machinas para produzir o effeito desejado denominam-se *potencias*, e os esforços, que estas vencem, dizem-se *resistencias:* estas comprehendem as *resistencias uteis*, ou aquellas que se pretendem vencer para conseguir o fim, e as *resistencias passivas*, que nascem do movimento e que se oppõem a elle, sem utilidade, consumindo parte da potencia.

O attrito e a resistencia dos meios, de que fallámos nos n.os 29 e 30, são exemplos das principaes resistencias passivas.

68.—**Machinas simples e compostas.**—As machinas, nas quaes a potencia e a resistencia são applicadas ao mesmo corpo, ou a corpos differentes que actuam directamente um sobre o outro, dizem-se *machinas simples:* são a *corda*, a *alavanca*, a *roldana*, o *sarilho*, o *plano inclinado*, o *parafuso* e a *cunha*.

As *machinas compostas* são aquellas nas quaes ha corpos intermediarios entre os que recebem directamente a acção da potencia e da resistencia; estas machinas podem considerar-se como um aggregado de machinas simples.

69.—**Trabalho das forças.—Unidades adoptadas.**—Na applicação das forças é preciso não só vencer uma resistencia, mas produzir um

certo deslocamento: a combinação dos dois elementos—força e caminho—conduz á consideração de um terceiro, denominado *trabalho da força.*

Entende-se por *trabalho de uma força constante o producto da sua intensidade* F *pela projecção, sobre a sua direcção, do caminho* s *percorrido pelo seu ponto de applicação.* Se for α o angulo d'este caminho com a recta conduzida na direção da força, no sentido em que ella actua, o trabalho será $F \times s \cos \alpha$.

$T = F \times e$

Sendo a força de intensidade e direcção variavel, applica-se esta expressão do trabalho a cada elemento do caminho, que ella faz percorrer ao seu ponto de applicação, e a somma dos *trabalhos elementares* assim obtidos constitue o trabalho da força.

A força F e o caminho s são quantidades essencialmente positivas; porém o factor $\cos \alpha$ póde ser positivo ou negativo, e até nullo: se é positivo o trabalho diz-se motor, e a força *motriz;* se é negativo o trabalho diz-se *resistente,* assim como a força; se é nullo o trabalho não existe.

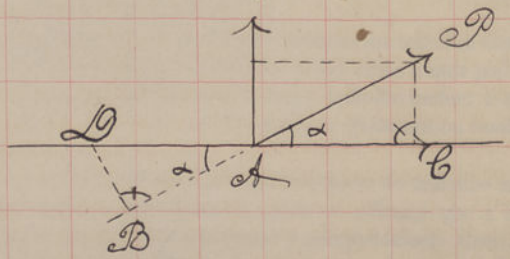
A unidade adoptada na avaliação do trabalho das forças é o trabalho correspondente ao peso de um kilogramma elevado a um metro de altura: esta unidade chama-se *kilogrammetro.* A noção do trabalho é independente do tempo; porém como uma machina é tanto mais vantajosa quanto mais depressa executa um certo trabalho, attendeu-se ao tempo e adoptou-se outra unidade na avaliação dos trabalhos das machinas. Esta nova unidade é o *cavallo-vapor,* e corresponde ao trabalho de 75 kilogrammetros por segundo.

70.—Definição de força viva.—O trabalho desenvolvido pela força constante F, para deslocar de e na sua direcção um movel de massa m, que parte do repouso, é $T = F \times e$. Substituindo por F o seu valor mj, e por e o valor $\frac{v^2}{2j}$ tirado da formula $v = \sqrt{2je}$, que resulta da eliminação de t entre as formulas (a) do num. 38, vem $T = \frac{1}{2} mv^2$.

O producto mv^2 da massa pelo quadrado da velocidade denomina-se impropriamente *força viva:* dizemos impropriamente porque elle não mede a força mas sim o trabalho.

71.—Principio da transmissão do trabalho.—Effeito util.—Supponhamos uma machina em movimento uniforme: então ha constantemente egualdade entre o trabalho motor e o trabalho resistente. Admittamos em primeiro logar que não ha resistencias passivas, e representemos por P a potencia, R a resistencia, e p, r as projecções sobre as suas direcções dos deslocamentos dos seus pontos de applicação no mesmo tempo: temos $P \times p = R \times r$, isto é, a potencia e a resistencia estão en-

— Trabalho das forças —



$$\frac{AP}{AC} = \frac{AD}{AB}$$

$$AP \times AB = AD \times AC$$

$$AB = AD \times \cos\alpha$$

tre si na razão inversa dos caminhos percorridos no mesmo tempo pelos seus pontos de applicação e segundo as suas respectivas direcções. Assim se *R* for 2, 3... vezes maior que *P*, será *r* 2, 3... vezes menor que *p*. D'aqui vem o seguinte principio muito conhecido: *o que se ganha em força perde-se em velocidade.*

O trabalho resistente é propriamente a somma do trabalho das resistencias uteis e das resistencias passivas: como estas nunca podem ser nullas, o trabalho util é sempre menor que o trabalho motor: a sua relação, sempre menor que unidade, denomina-se *effeito util* ou *rendimento* da machina.

A machina não cria trabalho, e como uma parte do trabalbo motor é consumida pelas resistencias passivas, póde-se affirmar que a idéa do *motu continuo* ou do *movimento perpetuo* é completamente absurda.

72.—**Cordas.**—Um mólho de fios de canamo, de esparto, de algodão, de lã, etc., torcidos entre si, constitue uma *corda*, que é instrumento muito simples e mui geralmente empregado para transmittir a acção de uma força.

Para puxar um peso com uma corda é preciso que esteja tensa; porque só então ella transmitte ao peso o esforço empregado. Quando a corda assenta n'um rolo, como convém para elevar um corpo puxando-o debaixo, tem que se vencer a resistencia, que a corda oppõe a ser dobrada sobre o rolo, resistencia que é tanto maior quanto mais grossa é a corda: esta resistencia denomina-se *rigeza da corda.*

As cordas grossas e as que se empregam nos navios denominam-se *cabos* e *calabres;* as cordas delgadas denominam-se *cordeis, barbantes, guitas*, etc.

73.—**Contracção das cordas pelo humedecimento.**—As cordas, em consequencia da porosidade, quando se molham augmentam de diametro, encurtam e torcem-se mais, desenvolvendo uma grande força, que se tem utilisado em differentes circumstancias para levantar grandes pesos. Como exemplo citaremos o seguinte facto historico.

No pontificado de Xisto v tratou-se de levantar na praça do Vaticano o famoso obelisco, que o imperador Caligula mandara vir do Egypto para Roma, e que estava enterrado atraz da egreja de S. Pedro; porém o seu enorme peso causava os maiores cuidados, e o papa, depois de quatro mezes e dez dias de trabalho, mandou fazer preces solemnes e ordenou sob pena de morte, que se guardasse o mais profundo silencio no dia da inauguração. Chegado este dia concorreu muito povo ao espectaculo, e já o soberbo monumento estava ao nivel do pedestal, quando as cordas foram estendidas com o peso, dando-se por perdido tanto trabalho. Qual não seria a admiração geral quando uma voz saída da multidão disse: *molhem as cordas*, e, molhadas estas, o obelisco subiu.

As cordas depois de seccas não adquirem todo o comprimento que tinham antes; é por isso que os pannos novos de linho, de algodão, etc. encolhem e ficam com o tecido mais apertado depois de molhados; porque elles são um enlaçamento de pequenas cordas, que encurtam tanto no sentido do comprimento como no da largura do estofo, e augmentam de diametro. Se não acontece o mesmo aos pannos velhos, é porque com o uso os pannos destorcem e ficam constituidos de fibrinhas parallelas.

74.—**Alavancas.**—Dá-se o nome de *alavanca* a qualquer barra resistente, de madeira ou de metal, susceptivel de se mover em torno de um ponto para transmittir a acção de uma potencia.

O ponto em torno do qual gira a alavanca denomina-se *fulcro:* conforme a sua posição em relação aos pontos de applicação da potencia e da resistencia, assim a alavanca se diz *inter-fixa*, *inter-resistente* e *inter-potente*.

A alavanca *inter-fixa* tem o fulcro entre a potencia e a resistencia: as peças de uma thesoura são exemplo caseiro d'esta especie de alavanca.

A alavanca *inter-resistente* é aquella na qual a resistencia fica entre o fulcro e a potencia; são exemplos d'esta especie de alavanva o quebra-nozes; um remo de uma embarcação, que toma o ponto de apoio na agua, a resistencia no tolete e a potencia na extremidade onde pega o remador, etc.

A alavanca *inter-potente* recebe a potencia entre o fulcro e a resistencia; é o que acontece no pedal dos amoladores.

A acção de uma força, potencia ou resistencia, applicada a um ponto de uma alavanca é tanto maior quanto maior é a distancia d'esse ponto ao fulcro; por isso a alavanca mais vantajosa é a inter-resistente ou de 2.ª especie.

75.—As alavancas empregam-se nos canteiros para levantar e arrastar corpos de grande peso, por uma manobra particular, que consiste em inclinal-as introduzindo uma das suas extremidades debaixo da carga, e abaixando-as, depois

— Condições de equilibrio na alavanca.

— São condições de equilibrio porque exprimem o caso em que a resultante da potencia e resistencia passa pelo fulcro, onde a sua acção é constantemente destruida pela resistencia do ponto fixo.

de ter mettido debaixo, perto da carga, uma cunha que serve de apoio.

As alavancas empregadas n'este serviço são de ferro e achatadas nas duas extremidades, para que seja mais facil introduzil-as debaixo das pedras: uma das extremidades é dobrada em angulo obtuso a fim de formar um calcanhar pelo qual toma apoio, conservando o braço levantado, o que não obriga o operario a abaixar-se muito para a manobra.

76.—**Condições de equilibrio na alavanca.**—Qualquer que seja a especie de alavanca, para haver equilibrio entre a potencia e a resistencia, deve a resultante d'estas duas forças passar pelo fulcro, cuja resistencia a destruirá; e para isso é preciso: 1.° *que as duas forças estejam no mesmo plano;* 2.° *que tendam a fazer girar a alavanca em sentidos contrarios;* 3.° *que a potencia esteja para a resistencia na razão inversa dos braços de alavanca d'estas forças.*

Por *braço de alavanca de uma força* entende-se o comprimento da perpendicular conduzida do ponto de apoio sobre a direcção da força.

Assim, suppondo que a alavanca interfixa AB, fig. 23, é actuada pelas forças R e P, situadas no mesmo plano, tendo os sentidos indicados pelas pontas das settas, e sendo Fr e Fp *os braços de alavanca* em relação ao fulcro F, haverá equilibrio se for $\frac{R}{P}=\frac{Fp}{Fr}$ ou $P \times Fp = R \times Fr$.

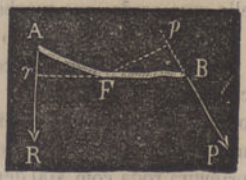


Fig. 23

Ao producto de uma força pelo seu braço de alavanca, ou, em geral, pela distancia da sua direcção a um ponto fixo, chama-se *momento* d'essa força em relação a este ponto. Por conseguinte a 3.ª condição do equilibrio na alavanca tambem se enuncia dizendo que, *os momentos da resistencia e da potencia em relação ao fulcro devem ser eguaes.*

Esta ultima condição mostra que uma pequena potencia é capaz de vencer uma grande resistencia, com tanto que

seja muito pequeno o braço de alavanca d'esta e muito grande o d'aquella. Archimedes, que descobriu este principio, dizia que lhe dessem um ponto fixo no espaço, e uma alavanca sufficientemente comprida, que elle levantaria o mundo.

77.—**Roldanas.—Cadernaes.**—A *roldana* é uma roda movel em torno do seu eixo com uma escavação na circumferencia, denominada *gola*, na qual passa uma corda.

Se o eixo da roldana é fixo, a corda recebe por um lado a potencia e pelo outro a resistencia, como acontece nas roldanas dos poços; então estas dizem-se *fixas*.

Se o eixo é movel, a elle se suspendem os pesos, que se querem elevar, e a corda recebendo a potencia por um lado é fixa no outro; as roldanas dizem-se então *moveis*.

Denomina-se *cadernal* a machina composta formada de duas ou mais roldanas, montadas na mesma chapa.

78.—**Sarilho.—Cabrestante.—Rodas dentadas.**—O *sarilho* é um cylindro horisontal a que se dá movimento em torno do seu eixo por meio de uma manivella ou de alavancas, com o fim de enrolar sobre elle uma corda, que recebe a resistencia.

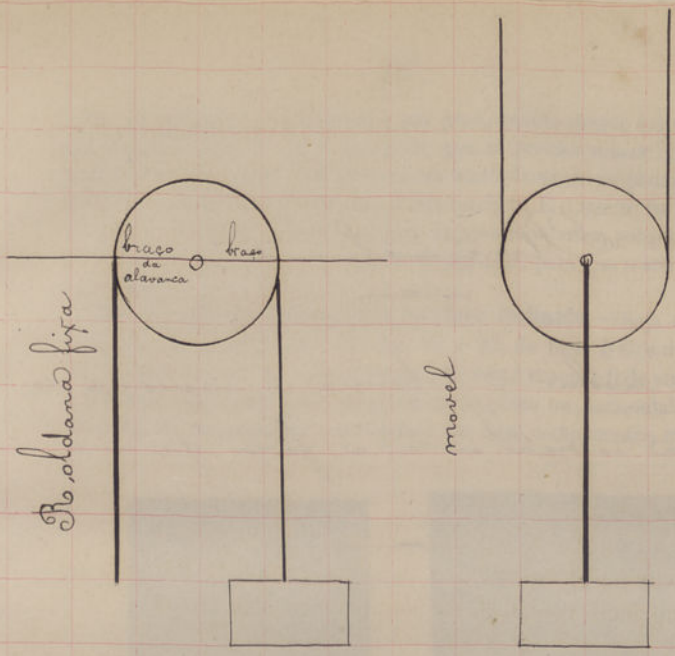
O sarilho, cujo cylindro é vertical, denomina-se *cabrestante*.

As *rodas dentadas* são combinações de sarilhos, empregadas para vencer grandes resistencias e tambem para transformar um movimento em outro mais ou menos rapido. As rodas não endentam umas nas outras, mas n'uns pequenos carretes concentricos com ellas. Imaginemos uma primeira roda com 100 dentes, e supponhamos que ella endenta no carrete da segunda, o qual tem só 10 dentes; em quanto a primeira dá uma volta faz a segunda dez, e se esta tem tambem 100 dentes e endenta no carrete de uma terceira, tambem com 10 dentes, é claro que esta ultima faz 100 voltas em quanto a primeira faz uma. Uma potencia applicada n'aquella é capaz, por conseguinte, de vencer uma resistencia cem vezes maior applicada n'esta (71).

O *molinete* ou *guincho*, muito empregado nas construcções, é uma combinação do sarilho e das rodas dentadas.

A *cabrilha* e o *guindaste* são machinas compostas de sarilho, rodas dentadas e roldanas.

79.—**Plano inclinado.**— O *plano inclinado* serve para destruir uma parte da resistencia, deixando só uma componente para ser vencida pela potencia.



Os braços da alavanca são eguaes.

Plano inclinado

Para achar a potencia é necessario conhecer a relação entre a força gn e o peso do corpo.

Se a resistencia é vertical, se é um peso, quanto menor é a inclinação do plano menor é a componente, que se precisa vencer; por isso quando é preciso subir uma certa altura multiplicam-se os planos inclinados para aproveitar a vantagem d'esta machina. É o que se faz quando se quer levar uma estrada ao cume de uma montanha, porque se lhe dá grande comprimento, formando-a de zig-zags, para que o seu declive seja suave.

80.—**Condições de equilibrio no plano inclinado.**—Seja o plano inclinado de comprimento AB, figs. 24 e 25, de base BC e de altura AC, e supponhamos que a resistencia a vencer é o peso gR de um corpo: a potencia empregada póde ser parallela ao plano ou horisontal. No 1.º caso, fig. 24, decompõe-se a resistencia em duas componentes, uma per-

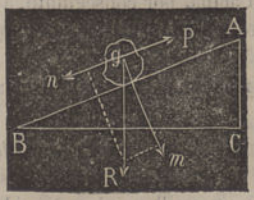


Fig. 24

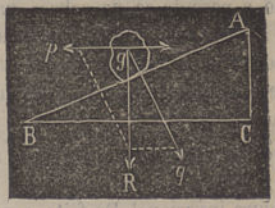


Fig. 25

pendicular e outra parallela ao plano; a primeira gm é destruida contra este e a segunda gn tende a arrastar o corpo; para evitar isto é preciso empregar uma potencia P egual e contraria. Como são semelhantes os triangulos gnR e ABC temos $\frac{gn}{gR} = \frac{AC}{AB}$: e como para haver equilibrio deve a potencia ser egual a gn, concluimos que, n'este caso, a condição de equilibrio no plano inclinado é a seguinte: *a potencia está para a resistencia como a altura do plano para o seu comprimento.*

No caso da potencia ser horisontal, fig. 25, a resistencia decompõe-se em gq, perpendicular ao plano e gp, horisontal, e esta ultima é que se deve destruir: a semelhança dos triangulos gpR e ABC dá $\frac{gp}{gR} = \frac{AC}{BC}$. Assim, n'este caso, a condição de equilibrio é: *a potencia para a resistencia como a altura do plano para a sua base.* Como BC é menor que AB, segue-se que gp é maior que gn; por conseguinte o primeiro caso é mais vantajoso.

Em ambos os casos faz-se abstracção completa do attrito contra o plano.

81.—**Parafuso.**—No *parafuso* encontra-se a applicação do plano

inclinado. Consta de um cylindro revestido por um filete ou rosca, mais ou menos saliente, contornado em helice, movel dentro de uma peça excavada em espiral egual á rosca, denominada *porca*. Umas vezes é fixa a porca e movel o parafuso, outras vezes é este fixo e aquella movel.

Denomina-se *passo do parafuso* a distancia constante entre duas voltas consecutivas da rosca, contada na direcção do comprimento do cylindro: é esta a distancia que o parafuso ou a porca caminha por cada volta completa.

82. — **Cunha.** — A *cunha* é uma peça de madeira ou de metal adelgaçada n'uma das extremidades, denominada o *gume*, e mais larga para a parte opposta, denomina-se a *cabeça;* serve esta machina para separar um corpo em duas porções. Para este fim introduz-se no corpo pelo gume e percute-se na cabeça, na qual actua, por conseguinte, a potencia: a resistencia actua nas duas faces em contacto com as porções do corpo que se querem separar.

Reconhece-se e aproveita-se n'esta machina o principio do plano inclinado.

83. — Estabelecemos apenas as condições de equilibrio na *alavanca* e no *plano inclinado*, porque são estas as verdadeiras machinas simples de figura invariavel. De feito, a roldana e o sarilho podem considerar-se como systemas de alavancas, e o parafuso e a cunha como systemas de planos inclinados.

CAPITULO III

GRAVIDADE

I.—Noções geraes

84.—**Attracção universal: suas leis.**—Sabe-se que os planetas e os cometas giram em torno do sol, assim como os satellites em torno dos seus planetas: Newton explicou este movimento admittindo que os corpos do systema solar se attraem mutuamente, e que na origem do universo o Creador lançou em linha recta, no espaço, cada um dos planetas com uma força proporcional á sua massa e á sua distancia ao sol. A combinação d'esta força instantanea de projecção com a força continua de attracção originou o movimento curvilineo.

A attracção exerce-se tambem entre a terra e os corpos collocados sobre ella, a qualquer altura; e é por este motivo que elles caem para a sua superficie: esta força de attracção denomina-se *gravidade*, e a força de attracção entre os astros denomina-se *gravidade universal* ou *gravitação*.

Dissemos no num. 19 que para explicar a constituição physica dos corpos, se admitte uma força de attracção entre as moleculas; parece pois que a attracção é uma *força universal*. Nós não podemos acreditar que ella exista, por que isso seria contrario á lei geral da inercia da materia, só podemos dizer, como fez o proprio Newton, que as coisas se passam como se ella existisse.

As leis da attracção universal, descobertas por Newton para a gravitação e para a gravidade, são as seguintes: 1.ª *Os corpos attraem-se com uma força proporcional ás suas*

massas; 2.ª a attracção é inversamente proporcional ao quadrado das distancias.

Como consequencia d'estas leis demonstra-se em mechanica que, *uma esphera composta de camadas concentricas homogeneas attrae como se toda a sua massa estivesse reunida no centro.*

$F = \frac{mm'}{r^2}$

85.—**Gravidade: sua direcção.—Fio de prumo.**—Recorrendo a este ultimo principio, e considerando a terra como espherica, podemos dizer que a resultante das attracções de todos os seus pontos sobre qualquer corpo sub-lunar passa pelo seu centro; d'aqui vem a definição seguinte: *gravidade é a força que faz tender constantemente os corpos para o centro da terra.* Esta força é mutua, isto é, os corpos tambem attraem a terra; porém este effeito não é apreciavel, porque a massa d'esta é infinitamente grande comparativamente com a dos corpos sub-lunares.

As leis da gravidade são as indicadas no num. antecedente.

A *direcção da gravidade* é, segundo a definição do num. 46, a linha que um corpo segue no seu movimento quando abandonado sobre a terra. Se o corpo não póde cair, por estar ligado a um fio que se suspende por uma das extremidades, desenvolve uma tensão e determina n'elle a direcção da gravidade.

O fio ligado a uma pequena massa metallica, para determinar a direcção da gravidade, tem a denominação de *fio de prumo.*

86.—**Linha e plano vertical.—Linha e plano horisontal.**—Chama-se *linha vertical* a direcção da gravidade, isto é, a linha recta que os corpos descrevem quando se abandonam sobre a terra á acção d'esta força: determina-se com o fio de prumo.

As diversas verticaes convergem no centro da terra; formam por conseguinte um angulo, que é inapreciavel no mesmo logar em virtude da grande distancia áquelle ponto:

é por este motivo que praticamente se reconhece serem parallelas as verticaes no mesmo logar. Como a um quarto de circumferencia terrestre, isto é, a 90°, correspondem 10 milhões de metros, o angulo das verticaes situadas a 100 metros é apenas de $\frac{90^{\circ} \times 100}{10000000} = 3'',24$.

O plano que passa por uma linha vertical diz-se *plano vertical*: qualquer recta ou plano perpendicular á linha vertical diz-se *linha* ou *plano horisontal*.

Os pedreiros para collocarem as pedras *de nivel* —horisontalmente— empregam uma regua de madeira, ligada perpendicularmente a uma outra com uma linha de prumo; quando esta coincide com uma linha traçada na segunda regua, a primeira está horisontal: este instrumento é o *nivel de pedreiro*.

Em physica emprega-se com o fim de determinar uma linha ou um plano horisontal o *nivel de bolha d'ar*, de que adiante damos noticia.

87.—**Peso absoluto.**—A tendencia de cada uma das moleculas de um corpo para a terra, póde considerar-se como sendo o resultado da attracção resultante de todos os pontos da terra sobre a molecula. Admitte-se, como já dissemos (85), que esta resultante passa pelo centro da terra, e, como a distancia d'este ponto ás moleculas é muito grande[1] em relação á distancia d'estas, póde-se suppor que a tendencia final de um corpo para a terra é a somma de todas as acções da terra sobre cada uma das suas moleculas, visto que estas acções são parallelas. Esta tendencia denomina-se *peso absoluto do corpo*.

Assim, *peso absoluto de um corpo é a resultante ou a somma de todas as acções da gravidade sobre cada uma das moleculas*. Faz-se idéa do peso absoluto pela tensão ou pela pressão que o corpo exerce sobre aquelle que obsta á sua

[1] O raio médio da terra é de 6367520 metros.

queda. Já dissemos (51) que sendo P o peso de um corpo, m a sua massa e g a acceleração da queda é $P = mg$.

A tendencia dos corpos para a terra é geral; se alguns, como as nuvens, o fumo, etc., parecem subtrair-se a ella, elevando-se no ar, veremos que isso mesmo é uma consequencia da gravidade.

Os gazes, não obstante a sua expansibillidade, teem peso; demonstra-se isto com um grande balão de vidro, que se pesa cheio de um gaz, e depois completamente vasio; para este fim tem uma virola com rosca e torneira, que permitte pol-o em communicação com a machina pneumatica, e que depois evita a communicação com o exterior.

88.—**Peso especifico.**—Denomina-se *peso especifico* de um corpo homogeneo o peso absoluto da unidade de volume: sendo P o peso do corpo de volume V, o peso especifico p é egual a $\frac{P}{V}$; por tanto $P = Vp$.

Se o corpo não é homogeneo a relação entre o peso e o volume é o *peso especifico médio.*

89.—**Pesos relativos.**—**Densidade.**—Para fazer idéa do peso dos differentes corpos, é preciso considerar o de um como unidade e comparar com elle os pesos dos outros; obteem-se assim os *pesos relativos.* O corpo cujo peso se toma para unidade é um centimetro cubico de agua pura na temperatura de 4°; o seu peso, que se denomina *gramma*, serve de base para a formação das medidas de peso.

Para avaliar os pesos especificos e as densidades é preciso tambem comparal-as com o peso especifico, ou com a densidade da agua.

Assim, para um corpo qualquer, cujo volume representamos por V, temos as relações seguintes:

$$P = Vp \quad \text{e} \quad m = Vd.$$

Para um volume egual de agua temos

$$P' = Vp' \quad \text{e} \quad m' = Vd':$$

Gazes

$$\frac{P}{P'} = \delta \quad \Big\} \quad P = P'\delta \quad \Big\} \quad P' = V p' \quad \Big\}$$

litro
1 d'air pesa = 1,293 gr
c.c
1 " " = 0,001293 gr

$$P' = V \times 1{,}293 \text{ gr}$$

$$P = P' \times \delta = V \times 1{,}293 \text{ gr} \times \delta$$

dividindo ordenadamente as primeiras relações por estas vem

$$\frac{P}{P'}=\frac{p}{p'}=\pi \quad \text{e} \quad \frac{m}{m'}=\frac{d}{d'}=\delta.$$

O quociente $\frac{p}{p'}$, que representamos por π, é o *peso especifico relativo;* e o quociente $\frac{d}{d'}$, que designamos por δ, é a densidade relativa.

Como é $P=mg$ e $P'=m'g$, temos $\frac{P}{P'}=\frac{m}{m'}$; por conseguinte $\pi=\delta$. Assim, *os numeros que exprimem os pesos especificos relativos e as densidades relativas de um corpo são os mesmos:* é a esses numeros que damos, d'aqui para diante, a denominação de *densidade.*

O numero π obtem-se, como se vê, dividindo P por P'; d'aqui vem a definição seguinte: *densidade de um corpo é a relação entre o seu peso e o de egual volume de agua pura a 4.°*

90—Da expressão $\frac{P}{P'}=\pi$, tira-se $P=P'\pi$, e substituindo o valor de P' vem

$$P=Vp'\pi.$$

Como o peso especifico p' da agua se toma para unidade, temos $P=V\pi$: isto quer dizer que o peso de um corpo é egual ao producto do seu volume pela sua densidade: quando dissermos isto não deve esquecer que no segundo membro se subentende a unidade de peso, o gramma: e que o volume V é expresso em centimetros cubicos.

II.—Centro de gravidade.—Equilibrio dos corpos submettidos á acção de gravidade

91.—**Centro de gravidade.**—O ponto de applicação do peso de um corpo denomina-se *centro de gravidade:* é propriamente o centro de forças parallelas (54) devidas á gravidade; por tanto goza das propriedades d'este ponto. D'aqui vem est'outra definição: *centro de gravidade de um corpo é o ponto sobre o qual elle está em equilibrio em todas as posições.*

92.—**Posição do centro de gravidade.**—Se o corpo é homogeneo e tem centro de figura, o centro de gravidade é este ponto; porque de cada lado de uma recta conduzida por elle ha o mesmo numero de pontos semelhantemente collocados e submettidos a forças eguaes.

Suppondo todos os pontos de quaesquer linhas, superficies ou volumes, substituidos por moleculas pesadas, achase o centro de gravidade:

1.º de uma recta, no meio;

2.º de uma circumferencia, de um circulo, de uma esphera, de uma ellipse, de um ellipsoide, etc., no centro;

3.º do perimetro ou da superficie de um parallelogrammo, no ponto de crusamento das diagonaes;

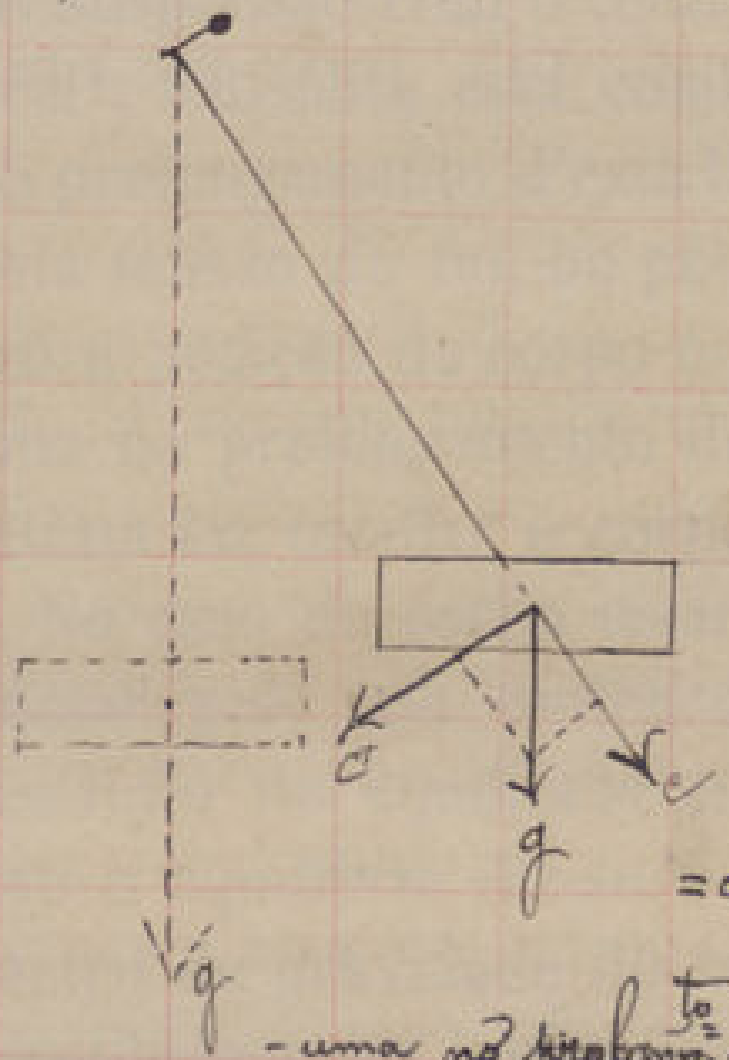
4.º de um cylindro, no meio do eixo;

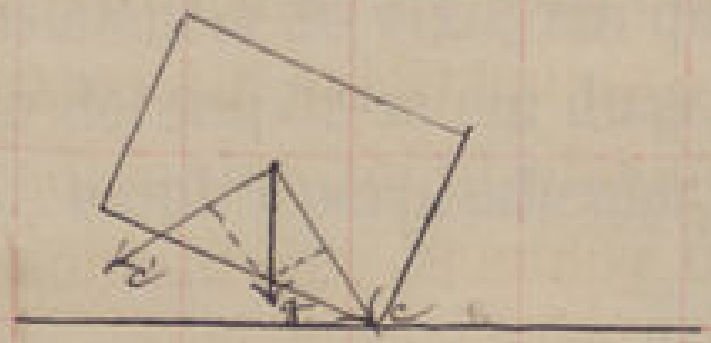
5.º da superficie de um triangulo, no ponto de encontro das rectas que unem os vertices dos angulos aos pontos médios dos lados oppostos;

6.º do perimetro de um triangulo, no centro do circulo inscripto.

Determina-se praticamente o centro de gravidade de um corpo, suspendendo-o por um fio em duas posições dif-

— Corpos suspensos e apoiados.





= A gravidade decompõe-se em duas forças

- uma no prolongamento do fio, outra na da perpendicular ao fio.

ferentes; o ponto de intersecção dos prolongamentos do fio é o centro de gravidade.

A consideração do centro de gravidade é muito importante para determinar as condições de equilibrio dos corpos submettidos á acção da gravidade: este equilibrio realisa-se suspendendo o corpo ou apoiando-o.

93.—**Condição de equilibrio dos corpos suspensos.—Equilibrio indifferente, estavel e instavel.**—Para que um corpo não cáia, póde suspender-se por um fio, ou por um eixo: damos o nome de *centro de suspensão* ao extremo opposto do fio, ou ao ponto de intersecção do plano vertical conduzido pelo centro de gravidade do corpo com o eixo de suspensão.

Para que o corpo esteja em equilibrio em qualquer dos casos mencionados é preciso que a recta, que une o centro de suspensão com o centro de gravidade do corpo, seja vertical[1]: satisfeita esta condição, o peso do corpo, actuando no prolongamento d'esta linha, é completamente neutralisado pela tensão do fio, ou pela resistencia do eixo; em qualquer outra posição do corpo o peso decompõe-se em duas forças, uma no prolongamento do fio, e outra perpendicular; e esta ultima faz oscillar o corpo.

No caso do corpo estar suspenso por um eixo, este póde passar pelo seu centro de gravidade, e então realisa-se a condição do equilibrio em qualquer posição; por este motivo o equilibrio diz-se *indifferente*. Se o eixo é superior ao centro de gravidade do corpo, desviando este da posição de equilibrio volta a adquiril-a no fim de algum tempo, depois de ter oscillado para um e outro lado; o equilibrio diz-se *estavel*. Se o centro de gravidade do corpo é superior ao eixo de suspensão, o equilibrio diz-se *instavel;* porque desviando o corpo d'esta posição não volta a ella.

94.—**Condição de equilibrio dos corpos apoiados.**—Para que um

[1] N'isto se funda o processo da determinação pratica do centro de gravidade de um corpo, indicado no numero antecedente.

corpo apoiado sobre outro ou sobre a superficie da terra esteja em equilibrio, é preciso que a vertical baixada do centro de gravidade caia na *base de apoio*, isto é, no polygono convexo determinado pelas linhas que passam pelos pontos d'apoio: quando ha só um ponto d'apoio é preciso que a vertical do centro de gravidade passe por elle.

No caso do corpo apoiado sobre um plano podemos considerar tambem tres especies de equilibrio: 1.º *indifferente*, quando o seu centro de gravidade não póde elevar-se nem abaixar-se nas differentes posições que se lhe podem dar; é o que succede a uma esphera homogenea assente sobre um plano horisontal; 2.º *estavel*, quando o centro de gravidade está mais baixo do que em qualquer outra posição; como succede com uma pyramide collocada sobre a base; 3.º *instavel*, se o centro de gravidade está mais alto do que em qualquer outra posição; é o que tem logar em uma pyramide regular apoiada pelo vertice.

Havendo só um ponto de apoio, o equilibrio é necessariamente instavel: porém póde tornar-se estavel addicionando ao corpo massas *M*, *M*, fig. 26, que fazem com que o centro de gravidade fique inferior ao ponto de apoio.

Fig. 26

Podemos dizer que um corpo apoiado tem, em geral, tanta mais estabilidade quanto maior é a sua base, e quanto mais baixo está o seu centro de gravidade. Por esta razão os carros de quatro rodas são mais seguros que os de duas, e convém carregal-os por fórma que as mallas e bagagens fiquem o mais baixas possivel, para que não se eleve o centro de gravidade.

É em consequencia dos mesmos principios que um homem está mais firme sobre dois pés que sobre um, e tanto mais quanto mais afastados estão; que um homem carregado inclina o corpo para o lado opposto á carga; que um qua-

drupede quando caminha não levanta ao mesmo tempo os dois pés do mesmo lado, etc.

95.—**Condição geral da estabilidade ou instabilidade do equilibrio.**—Como o centro de gravidade de um corpo tende sempre a descer, porque elle é o ponto de applicação da gravidade, podemos dizer que o equilibrio é *estavel*, ou *instavel*, sempre que a altura do centro de gravidade, em relação ás posições proximas que toma, quando se desvia um pouco o corpo da posição de equilibrio, é *minima* ou *maxima*.

É pela descida do centro de gravidade que se explica a subida sobre um plano inclinado de um cylindro de madeira carregado lateralmente com um pedaço de chumbo, fig. 27; porque o seu centro de gravidade desce segundo

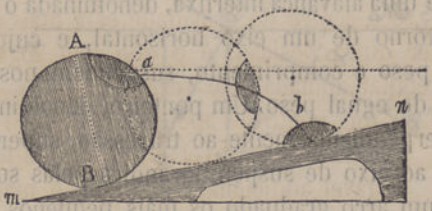


Fig. 27

a linha *ab*. Do mesmo modo se explica a subida de um duplo cone sobre duas barras que teem mais altura nos pontos mais distantes, fig. 28.

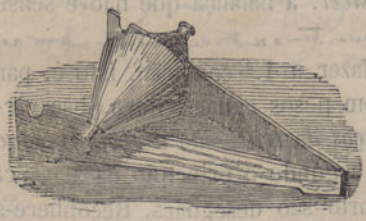


Fig. 28

III.—Balanças

96.—**Definição.**—Denominam-se *balanças* os instrumentos com os quaes se mede o peso relativo dos corpos. Fundam-se nas condições de equilibrio das forças applicadas aos extremos de uma alavanca interfixa.

As balanças podem ser de *braços eguaes* ou de *braços deseguaes*.

97.—**Balança ordinaria.**—A balança ordinaria consta essencialmente de uma alavanca interfixa, denominada o *travessão*, movel em torno de um eixo horisontal, e cujos braços, eguaes em peso e comprimento, suspendem nos extremos dois pratos de egual peso. Um ponteiro, denominado o *fiel*, collocado perpendicularmente ao travessão, superior ou inferiormente ao eixo de suspensão, indica pelas suas oscillações sobre um arco graduado os mais pequenos movimentos do travessão.

98.—**Condições de exactidão das balanças**[1].—Uma balança boa deve equilibrar-se perfeitamente com dois pesos eguaes, e além d'isso deve oscillar sob a influencia de um pequeno peso collocado em um dos pratos, isto é, além de *rigorosa* deve ser *sensivel:* a balança que não é sensivel diz-se *preguiçosa*. (Preguiçosas têm o centro de gravidade inferior ao de suspensão).

Para satisfazer a 1.ª condição, isto é, para a balança se equilibrar com pesos eguaes, deve observar-se o seguinte:

1.º *Os braços do travessão devem ser eguaes;* porque de outro modo, segundo o principio da alavanca, os pesos que fazem equilibrio são deseguaes. Reconhece-se se a balança

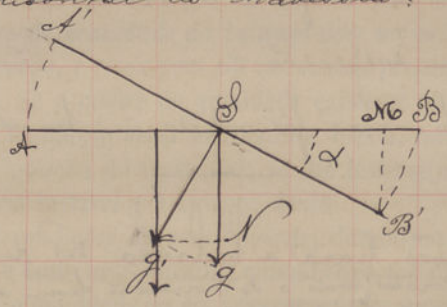
[1] Estas condições referem-se ás *balanças de braços eguaes*, como são todas as de *precisão*.

— 98 a. — Condições de sensibilidade. —

— Uma balança é tanto mais sensivel quanto menor é a differença de pesos dos dois pratos, que ella accusa.

Para deduzirmos as condições de sensibilidade supporemos que os tres pontos de suspensão dos pratos e da balança estão em linha recta.

Sejam A, B e S estes tres pontos na posição horisontal do travessão:



supponhamos que os pesos applicados a A e B são P e $P+p$, e que é π o peso do travessão applicado no centro de gravidade g. A balança inclina-se para o lado de B cedendo ao excesso p de pesos, e o centro de gravidade sóbe para g': o equilibrio dá-se-ha na posição indicada $A'B'$, que satisfaz a seguinte egualdade de momentos

$$p \times SM = \pi \times g'N$$

Dónde $$p = \frac{\pi \times g'N}{SM}$$

portanto: p decresce com π, com $g'N$ e na razão inversa de SM; e como para a mesma inclinação do travessão, $g'N$ será tanto menor quanto menor fôr Sg, e SM será tanto maior quanto maior fôr SB' ou SB; conclue-se que uma balança será tanto mais sensivel:

1º.— Quanto mais compridos forem os braços do travessão;

2º.— Quanto menor fôr a distancia do centro de gravidade ao eixo de suspensão;

3º.— Quanto menor fôr o peso do travessão.

Condições para a balança ser rigorosa.—

1ª.— Os pesos dos pratos mais o do travessão devem ser eguaes;

1ª.— Os braços do travessão devem ser eguaes;

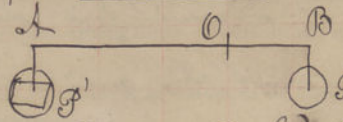
2ª.— A balança deve equilibrar-se com os pratos vazios;

3ª.— O centro de gravidade deve ser inferior ao eixo de suspensão;

4ª.— O centro de gravidade deve estar com o eixo de suspensão na mesma perpendicular ao travessão.

(Pelos momentos)

(§99)



$AO = a \}\ OB = b \}$ $\quad Pc \times a = P \times b$, $\quad Pc \times b = P' \times a$ $\quad \Big\}\ Pc^2 \times ab = P \times P' \times ab$; $\quad Pc^2 = PP' \}\ Pc = \sqrt{PP'}$

satisfaz a esta condição equilibrando-a horisontalmente com dois pesos, e depois trocando estes dos seus pratos: se os braços são eguaes os pesos tambem o são e o equilibrio presiste, aliás a balança inclina-se.

Esta egualdade de braços deve observar-se em todas as posições do travessão, o que se consegue suspendendo os pratos sobre ~~as arestas vivas~~ o gume dos prismas triangulares collocados nas suas extremidades.

Para que o equilibrio, de que se trata, seja estavel e na posição horisontal do travessão, é preciso que se realise a condição seguinte:

2.ª *O centro de gravidade da balança deve ser inferior ao eixo de suspensão, e estar com elle na mesma perpendicular ao travessão.* Se o centro de gravidade existisse no eixo de suspensão, o equilibrio seria indifferente, isto é, teria logar em qualquer posição do travessão; se lhe fosse superior, o equilibrio seria instavel e a balança *doida*.

Quanto ás *condições de sensibilidade*, demonstra-se que uma balança é tanto mais sensivel quanto mais proximo está o seu centro de gravidade do eixo de suspensão; quanto mais leve é o travessão, e quanto maiores são os seus braços. Estas condições suppõem que os attritos são muito pequenos, o que se consegue, na suspensão do travessão, empregando na sua parte média um prisma triangular de aço, denominado *o cutello*, com o gume assente sobre chapas polidas tambem de aço ou de agatha. Os pequenos attritos na suspensão dos pratos conseguem-se com a disposição já descripta.

99.—**Methodo de Bordá, ou de pesagem dobrada.**—Póde determinar-se o peso de um corpo com uma balança não muito rigorosa, e cujos braços não são perfeitamente eguaes, empregando o *methodo de pesagem dobrada*, que consiste em equilibrar o corpo com grãos de chumbo ou de areia, e em substituil-o depois por pesos graduados. Estes pesos representam rigorosamente o peso do corpo; porque, actuando

como elle sobre o mesmo braço d'alavanca, equilibram a mesma resistencia, que é o peso do chumbo ou da areia.

100.—**Balança romana.**—Como primeiro exemplo de balanças de braços deseguaes, descreveremos a *balança romana.* Consta esta balança de um travessão *BC*, fig. 29,

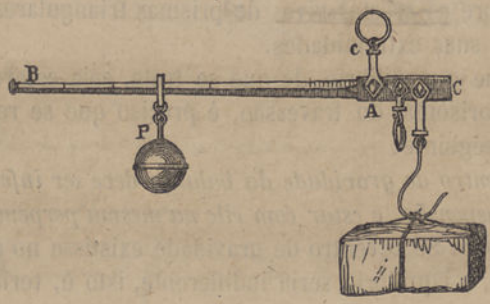


Fig. 29

suspenso em *A* por um cutello, tendo os braços *AC* e *BC* muito deseguaes. O maior *AB* é graduado e percorrido por um annel, do qual pende um peso *P;* o mais pequeno *AC* tem dois cutellos, aos quaes se suspendem ganchos ou estrados que hão de receber os corpos: a graduação de um dos lados do braço maior serve para os corpos suspensos a um cutello, a do outro lado refere-se aos corpos suspensos no outro cutello; e assim se consegue, fazendo mui pequeno um dos braços da alavanca, medir grandes pesos sempre com o peso *P*.

101.—**Balança decimal.**—A *balança decimal*, ou de Quintenz, geralmente emprega-se sempre que é preciso pesar grandes fardos; por isso se vê nas estações e armazens dos caminhos de ferro, nas alfandegas, nos grandes depositos commerciaes, etc.

O travessão *ACB*, d'esta balança fig. 30, é movel em torno de um cutello *C*: na extremidade do braço *BC* suspende o prato *p*, que recebe os pesos padrões; os corpos que se que-

rem pesar assentam-se n'um estrado, que a figura omitte para deixar ver o systema inferior. Este estrado apeia-se em

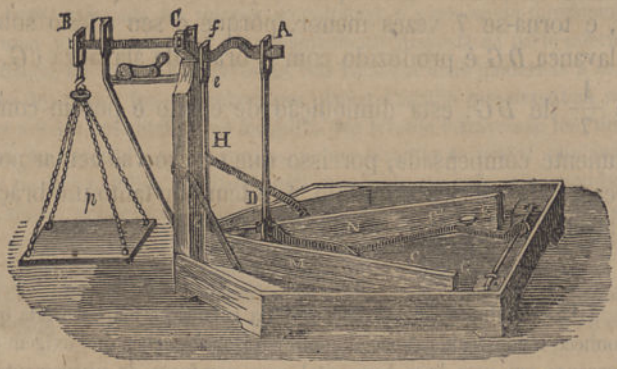


Fig. 30

duas reguas de madeira *M* e *N*, assentes por um lado sobre cutellos *c e c'* e ligadas pelo outro ao ponto *f* do braço *AC* por intermedio da haste *ee'*. Os cutellos *c* e *c'*, fazem prate de duas alavancas moveis em torno do eixo *EG* e reunidas em *D*, onde se ligam ao travessão pela haste *AD*.

A fig. 31 faz comprehender melhor a theoria d'esta ba-

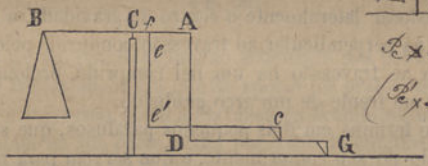


Fig. 31

lança. Por construcção é *Cf* a decima parte de *BC*: por conseguinte para que a balança seja decimal é preciso que todo o peso collocado sobre o estrado se possa considerar applicado no ponto *f*. Realisa-se esta condição fazendo por construcção eguaes as relações $\frac{AC}{Cf}$ e $\frac{DG}{cG}$; para fixar as idéas

supporemos estas relações eguaes a 7. Assim uma parte do peso do estrado vae actuar directamente em *f*, por intermedio da haste *ee'*; em quanto que a outra parte actua em *c*, e torna-se 7 vezes menor, porque o seu effeito sobre a alavanca *DG* é produzido com o braço de alavanca *cG*, que é $\frac{1}{7}$ de *DG*: esta diminuição de effeito é porém completamente compensada, por isso que o peso vae actuar no travessão da balança no ponto *A*, e tem por tanto um braço de alavanca *AC* 7 vezes maior que *Cf*.

102.—**Balança de precisão.**—Esta balança, a mais perfeita que se conhece e construida especialmente para observações que exigem rigor, descança em uma base horisontal, com parafusos de nivelamento, por intermedio de uma columna vertical ôca, terminando superiormente em um plano d'aço ou d'agatha: n'este plano assenta o travessão da balança pela aresta um pouco arredondada de um cutello d'aço aguçado, fixo na sua parte média.

O travessão com a fórma de losango muito alongado e aberto para que tenha o menor peso possivel com a necessaria solidez, tem na parte superior e média um parafuso com dois discos: um é symetrico em relação ao eixo do parafuso e serve para se fazer subir ou descer o centro de gravidade, a fim de se modificar á vontade a sensibilidade da balança; o outro é dissymetrico, porque tem uma lacuna de um lado, e serve para deslocar lateralmente o centro de gravidade, a fim de o collocar sempre na perpendicular ao travessão conduzida pelo eixo de suspensão. Preso ao travessão ha um fiel comprido, prolongando para a parte inferior em frente de um arco graduado.

O travessão termina em dois pequenos parafusos, que se podem mover no sentido do seu comprimento, e que servem para regular á vontade a condição da egualdade dos braços, condição que o experimentador não deve confiar absolutamente do fabricante.

Com o fim de diminuir quanto possivel os attritos e conseguir que os braços do travessão sejam sempre eguaes, a suspensão dos pratos faz-se com ganchos, que se apoiam em cutellos collocados nas extremidades do travessão e cujas arestas estão voltadas para a parte superior. A estes ganchos prendem-se fios de prata que suspendem os pratos, os quaes teem mui pouca massa. Por construcção devem estar no mesmo plano as arestas dos tres cutellos; ou então, o que é melhor, o cutello

médio póde deslocar-se para que o experimentador regule aquella condição.

Para que este cutello não esteja constantemente descançado sobre o plano d'aço, um systema, constituido por uma forquilha e por uma haste collocada no interior da columna, e a que se dá movimento com uma pequena alavanca convenientemente disposta na parte inferior da balança, faz levantar o travessão. Nas balanças mais modernas a suspensão dos pratos faz-se tambem por planos d'agatha que assentam sobre as arestas dos cutellos, e a forquilha que levanta o travessão tem uma disposição especial para ao mesmo tempo levantar os pratos, aliviando assim os dois cutellos. A balança está encerrada em uma caixa envidraçada, que a preserva da influencia da atmosphera, pela sua agitação ou pela humidade que contém. Além d'isso uma substancia ávida da humidade, collocada no interior da caixa, absorve os vapores aquosos.

103.—Balança de Roberval.—A balança de Roberval, fig. 32, muito empregada no commercio, porque tem os pratos desembaraçados de ca-

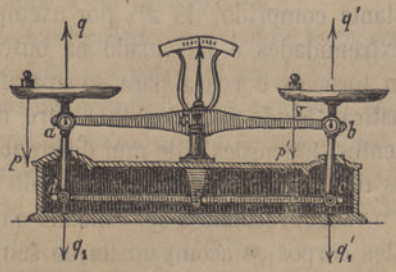


Fig. 32

deias, consta de um parallelogrammo articulado nos pontos *a, b, c, d,* de modo que as hastes *ad, bc* em que se apoiam os pratos são sempre verticaes: tanto o travessão, como a alavanca *dc* occulta na base do instrumento, assentam na sua parte média por meio de cutellos *o* e *e*.

É facil verificar que dois pesos eguaes se equilibram sempre n'esta balança, quaesquer que sejam as suas posições nos pratos: porque estando por exemplo nas posições p e p', como a figura representa, podemos considerar em cada um dos pontos *a, b* duas forças eguaes e contrarias áquelles pesos, as quaes não destroem o equilibrio do systema; e temos assim as forças q_1 e q'_1 eguaes a p e p', actuando a distancias eguaes do fulcro, e dois binarios pq, $p'q'$, cuja acção é destruida pela resistencia dos pontos fixos *o, e,* que existem no seu plano.

IV.—Queda dos corpos.—Intensidade da gravidade

104.—Os corpos abandonados só á acção da gravidade, isto é, livres de outra influencia, e até da resistencia do meio, entram em movimento rectilineo regido pelas tres leis dos numeros seguintes, que, por este motivo, são conhecidas pela denominação de *leis da queda dos corpos no vacuo.*

105.—1.ª Lei.— *Todos os corpos caem no vacuo com a mesma velocidade.*

Demonstra-se experimentalmente esta lei com um tubo de vidro bastante comprido, de 2^m, por exemplo, fechado n'uma das extremidades e terminado na outra em virola metallica com torneira e rosca para se aparafusar na machina pneumatica. Tendo introduzido dentro do tubo corpos de differentes dimensões e de mui differente densidade, como pedaços de papel, de metaes, barbas de pennas etc., e fazendo-lhe o vacuo, reconhece-se, voltando-o rapidamente, que todos estes corpos se acompanham no seu movimento, isto é, *caem com a mesma velocidade.*

Deixando entrar uma pequena quantidade d'ar, vê-se que os corpos menos densos são retardados em relação aos outros, e tanto mais quanto maior é a quantidade d'ar introduzido. No ar livre reconhece-se isto mesmo; os corpos não se acompanham na queda: o ar oppõe, por conseguinte, uma resistencia ao movimento, que é tanto menos intensa quanto mais denso é o corpo. Uma experiencia muito simples mostra a influencia da resistencia do ar: deixando cair da mesma altura dois discos eguaes, um de metal outro de papel, este leva muito mais tempo a chegar ao chão; collocando-o sobre o outro, e abandonando-os juntos, acompanham-se na queda.

106.—**Martello d'agua.**—É tambem a resistencia do ar que divide os liquidos na sua queda: no vacuo elles caem em massa como acontece aos solidos. Demonstra-se isto com o *martello d'agua*: é um tubo de vidro *m*, fig. 33, tendo no extremo aberto uma esphera *e*, que se fecha á lampada depois de ter introduzido uma porção d'agua e de a ter feito ferver para expulsar o ar. Reunindo o liquido na esphera e voltando o tubo rapidamente, a agua cae em massa, porque não encontra ar que a divida, e percute o fundo do tubo produzindo uma pancada como a de um martello.

Fig. 33

107.—2.ª **Lei.**—*Os espaços percorridos por um corpo na sua queda são proporcionaes ao quadrado dos tempos gastos em percorrel-os.*

3.ª Lei.—*A velocidade adquirida é porporcional ao tempo que decorre desde o começo da queda*[1].

Estas duas leis com difficuldade se verificam directamente; porque a rapidez do movimento obsta á observação rigorosa da 1.ª, e porque é preciso, para verificar a 2.ª, supprimir em um certo instante a acção da força para observar o movimento uniforme, que se segue.

Para retardar a queda sem alteração das suas leis, emprega-se a *machina de Atwood:* não se opera no vacuo, como conviria, mas empregam-se os corpos que menos embaraçados são pelo ar no seu movimento, isto é, os metaes.

108.—**Machina de Atwood.**—Consta esta machina, fig. 34, de uma columna de madeira de 2^m proximamente de altura, terminada superiormente por uma caixa de vidro, no interior da qual está uma roldana de cobre *a*, onde

[1] Mostram estas leis que o movimento dos graves é uniformemente variado (38), e por tanto que a gravidade é uma força constante. Isto não é exacto (85), porém admitte-se em attenção ás pequenas distancias verticaes que se consideram sobre a terra.

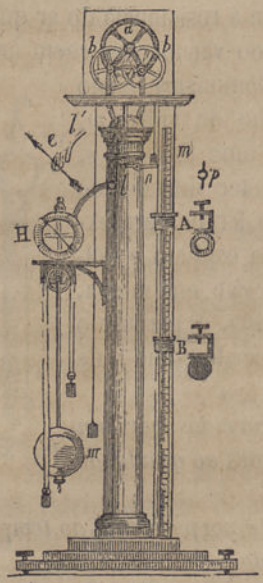


Fig. 34

passa um fio de seda muito fino, para que o seu peso possa ser despresado, e que sustenta nos seus extremos dois pesos eguaes *m*, *m*.

O eixo da roldana está apoiado sobre as pinas crusadas de 4 rodas moveis, *b*, *b*, isto com o fim de diminuir muito o attrito no eixo do movimento. Uma pendula *H* ligada á columna da machina serve para marcar os segundos.

Parallela á columna está uma escala de madeira dividida em centimetros e millimetros, na qual se medem os espaços percorridos pelo corpo que cáe. Sobre esta escala podem fixar-se em qualquer altura dois cursores munidos de chapas horisontaes, uma das quaes *A* é furada, com o fim de deixar passar o corpo em movimento.

Os dois pesos eguaes, presos nas extremidades do fio, equilibram-se: para os pôr em movimento addiciona-se a um d'elles *m* um outro peso *p*, o qual faz descer este e subir o outro, repartindo com elles a sua força descencional; por este motivo diminue-se a velocidade da queda sem alterar as suas leis[1].

[1] Representando por g a acceleração da gravidade e por g' a acceleração do movimento das massas m, m sobrecarregadas com o peso addicional p de massa M; é claro que este mesmo peso póde ser avaliado por Mg e por $(M+2m)g'$; logo

$$Mg=(M+2m)g' \quad \text{e} \quad g'=\frac{M}{M+2m}g.$$

Assim, g' é uma fracção constante de g; por tanto as leis não

Para verificar com esta machina a segunda lei *(lei dos espaços)* colloca-se no zero da escala o peso *m* sobrecarregado com o peso addicional *p*, e abandona-se no momento em que a pendula começa a contar os segundos. Para mais exactidão é o proprio peso que, passando pelo zero, põe a pendula em movimento por meio d'um systema de alavancas. Emprega-se só o cursor cheio *B*, e colloca-se por tentativas a uma distancia tal que seja attingido pelo corpo no fim de 1″, e lê-se na escala o espaço percorrido, que representamos por *a*. Colloca-se depois o cursor a uma distancia do zero da escala egual a 4*a*, e recomeçando o movimento reconhece-se que o corpo o toca no fim de 2″; collocando o cursor a uma distancia 9*a* é attingido no fim de 3″, e assim successivamente. Fica demonstrado que os espaços crescem proporcionalmente ao quadrado dos tempos.

Para demonstrar a terceira lei *(lei das velocidades)* lembraremos que, n'um movimento variado, entende-se por velocidade, em um instante dado, a velocidade do movimento uniforme que succederia ao movimento variado n'este instante, se este deixasse de ser variado. A substituição do movimento uniforme ao variado obtem-se por meio do curso annular *A*. Colloca-se este cursor no ponto onde chega o movel no fim de 1″, isto é, á distancia *a;* ahi fica retido o peso addicional, e o corpo continúa a mover-se com a velocidade adquirida, e por conseguinte com um movimento sensivelmente uniforme. Collocando pois, por tentativas, o cursor cheio *B* aonde chega o movel um segundo depois de ser abandonado pelo peso addicional, a distancia entre os dois cursores, que representamos por *b*, é a velocidade adquirida n'um segundo: o seu valor é egual a 2*a*. $V = gt$ $e = \frac{1}{2}gt^2$

Collocando o primeiro cursor á distancia 4*a*, e o segundo

são modificadas; e a velocidade da queda póde diminuir-se quanto se queira augmentando as massas *m* ou diminuindo *M*, ou fazendo uma e outra coisa.

a uma distancia d'este egual a $2b$, reconhece-se que aquelle é, como se sabe, alcançado no fim de $2''$, retem o peso addicional e o movel attinge o segundo cursor no fim do segundo immediato. Logo a velocidade adquirida em $2''$ é dupla da adquirida em um; e assim successivamente.

A quantidade b, que representa a velocidade adquirida no fim do primeiro segundo da queda, é egual ao acrescimo da velocidade em cada segundo; por tanto o movimento é uniformemente variado, e a acceleração é b.

109.—Intensidade da gravidade.—A acceleração da queda livre dos corpos costuma-se representar por g, e recebe o nome de *intensidade da gravidade:* é a velocidade adquirida no primeiro segundo da queda, ou o dobro do espaço percorrido n'este mesmo intervallo de tempo.

Podemos, por conseguinte, medir a *intensidade da gravidade* estudando o movimento da queda dos corpos; porém o meio mais rigoroso é o emprego do *pendulo,* de que vamos tratar.

110.—Definição de pendulo.—Um pendulo consiste, em geral, n'um corpo solido, movel em torno de um eixo horisontal, que não passa pelo seu centro de gravidade. Se a posição do corpo é tal que a vertical, que passa por este ponto, encontra o eixo de suspensão, o corpo está em equilibrio (93); desviado d'esta posição e abandonado a si mesmo executa sob a influencia da gravidade, e de cada lado da posição de equilibrio, movimentos de oscillação. Para estudar as propriedades d'esta especie de movimento, convém considerar primeiro um pendulo ideal chamado *pendulo simples.*

111.—Pendulo simples.—O pendulo simples consiste em um ponto material pesado, suspenso a um ponto fixo por meio de um fio inextensivel, sem massa e sem peso, oscillando no vacuo. Represente O, fig. 35, o ponto fixo, e M o ponto, material pesado. Na posição vertical OM a acção da gravidade é destruida pela fixidez do ponto O, e o pendulo con-

serva-se em equilibrio; desviado porém d'esta posição para OM' a gravidade, cuja intensidade representamos por $M'g$, é decomposta em duas forças, uma $M'p$ no prolongamento do fio e destruida pela resistencia d'este, e outra $M'a$ na direcção perpendicular a OM', que tende a levar o pendulo para a posição primitiva. Esta ultima componente diminue com o angulo MOM', isto é, á medida que o pendulo se aproxima da posição de equilibrio, para a qual o seu valor é zero. O movimento accelerado que se produz é, por tanto, devido a uma força continua, mas não constante em grandeza.

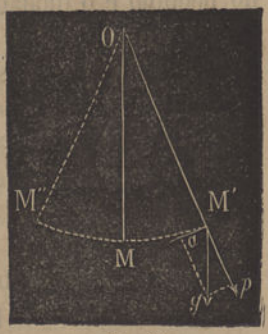


Fig. 33

Chegado á posição vertical o pendulo continúa a mover-se em consequencia da velocidade adquirida, e sobe de M a M'' com um movimento retardado; porque a componente da gravidade, tangente ao arco descripto, é então dirigida em sentido contrario ao do movimento. Como tudo é symetrico de um e outro lado da vertical, a diminuição que soffre a volocidade vae sendo em cada ponto egual ao accrescimo que tinha no primeiro caso, e a velocidade adquirida só tem sido aniquilada depois do pendulo ter descripto um arco MM'' egual a MM'. Depois, pela componente da gravidade, faz-se nova oscillação em sentido contrario, e assim sucessivamente.

Cada um dos movimentos de M' a M'' ou de M'' a M' chama-se uma *oscillação*, e o angulo $M'OM''$ ou o arco $M'MM''$, que o mede, chama-se *amplitude da oscillação*.

112.—**Leis do pendulo simples.**—Evidentemente as oscillações que acabamos de descrever executam-se todas no mesmo tempo; porém o que ha de mais notavel é que este tempo não varia quando se muda a amplitude, com tanto que esta seja infinitivamente pequena. Este resultado enuncia-se

dizendo que as oscillações são *isochronas:* esta propriedade do pendulo é o fundamento da sua applicação aos relogios para medir o tempo.

A propriedade do isochronismo e as outras propriedades do pendulo simples, no caso de amplitude infinitamente pequena, acham-se representadas na formula

$$t = \pi\sqrt{\frac{c}{g}} \quad \Big\} \quad n = \frac{1}{t} = \sqrt{\frac{g}{c}} \times \frac{1}{\pi}$$

na qual t representa o tempo de uma oscillação, π a relação da circumferencia para o diametro, c o comprimento do pendulo (distancia entre o ponto oscillante e aquelle em volta do qual gira) e g o valor da intensidade da gravidade.

As leis do pendulo tiradas d'esta formula, e que podem verificar-se experimentalmente, como veremos, são as seguintes:

1.ª—*As pequenas oscillações (não superiores a quatro graus) são isochronas;*

2.ª—*Em pendulos de comprimentos diversos, a duração das oscillações é proporcional á raiz quadrada do comprimento;* $\left(\begin{array}{l} 1 - 9 \\ 4 - 2 \\ 9 - 3 \end{array}\right\} \begin{array}{l} \frac{3}{n} = \frac{1}{3} \\ n = 9 \end{array}\Big\} \begin{array}{l} \frac{3}{n} = \frac{2}{3} \\ n = \frac{9}{2} \end{array}\Big\}\Big)$

3.ª—*Em pendulos do mesmo comprimento, oscillantes em differentes logares, a duração das oscillações está na razão inversa da raiz quadrada da intensidade da gravidade;*

4.ª—*Para pendulos do mesmo comprimento a duração das oscillações é a mesma, qualquer que seja a substancia do pendulo.*

113.—**Pendulo composto.**—Para verificar experimentalmente as leis do pendulo simples, como este não póde ser realisado, recorre-se a um *pendulo composto* ou *physico.* Este ultimo consta geralmente de uma haste ou de um fio metallico, sustentando um corpo em fórma de lente, para cortar mais facilmente o ar atmospherico. A suspensão póde ser feita por meio de um cutello, que assenta sobre um plano horisontal d'agatha ou de aço muito duro; porém geralmente

emprega-se uma lamina metallica mui flexivel, fixa superiormente e sustentando o pendulo inferiormente.

114.—Eixo d'oscillação.—Comprimento do pendulo.—O pendulo composto é um aggregado de pendulos simples de diversos comprimentos, e que fariam, por conseguinte, uma oscillação em differentes tempos, se oscillassem livremente; porém como estão ligados, os de menor comprimento são retardados, e os outros accelerados, havendo necessariamente entre uns e outros alguns que oscillam como se fossem livres: os pontos materiaes d'estes pendulos, devendo ser equidistantes do eixo de suspensão, então n'uma recta parallela a este eixo, a qual recebe o nome de *eixo de oscillação*. A distancia d'este eixo ao primeiro, que é o comprimento dos pendulos simples *synchronos* com o composto, isto é, que oscillam no mesmo tempo que este, denomina-se *comprimento do pendulo composto*.

Eixo d'oscillação é a linha imaginaria dos pontos que se adiantam ou atrasam no mesmo tempo, que o pendulo composto.

Conhecido o comprimento do pendulo, que se determina por processos especiaes, póde applicar-se a formula do pendulo simples, introduzindo o seu valor no logar de *c*.

115.—Verificação das leis do pendulo.—Para verificar as leis do pendulo simples, emprega-se um pendulo formado por uma esphera de metal e por um fio flexivel muito fino, para que se possa despresar o seu peso.

Verifica-se a lei do isochronismo fazendo oscillar este pendulo e contando o numero de oscillações que faz no mesmo tempo, quando a amplitude é successivamente de 3, 2 e 1 graus.

Para verificar a segunda lei fazem-se oscillar pendulos, cujos comprimentos estão entre si como 1 para 4 e para 9, e reconhece-se que os numeros das oscillações feitas no mesmo tempo estão entre si como $1 : \frac{1}{2} : \frac{1}{3}$; por tanto as durações de cada uma estão como $1 : 2 : 3$.

A terceira lei não póde verificar-se senão experimentando com o mesmo pendulo em differentes logares da terra.

A quarta lei demonstra-se empregando varios pendulos do mesmo comprimento, terminados por espheras do mesmo diametro, mas de substancias differentes, de chumbo, de latão, de marfim, etc. Esta lei confirma a primeira lei da queda dos corpos.

Advirta-se que algumas differenças que se encontrem proveem de não se experimentar no vacuo.

116.—Applicação do pendulo á determinação da intensidade da gravidade.—Da formula do pendulo tira-se $g=\frac{\pi^2 c}{t^2}$; valor que se calcula com facilidade determinando no pendulo o comprimento c e medindo o tempo t.

Na latitude de Lisboa é $g=9^m,80041$[1], o que significa que qualquer corpo caindo livremente no vacuo, e partindo do repouso, adquire no fim de 1″ uma velocidade egual áquelle numero, ou que este corpo percorre no primeiro segundo da sua queda um espaço egual a metade do mesmo numero.

Fig. 36

117.—Applicação do pendulo aos relogios.—O pendulo emprega-se como regulador nos relogios de parede, porque são isochronas as suas oscillações muito pequenas; porém como os attritos e a resistencia do ar fazem diminuir successivamente as oscillações até as tornarem nullas, é precisa uma disposição especial para perpetuar o movimento.

A fig. 36 representa o machinismo com o qual o pendulo regula o andamento dos relogios: o pendulo é suspenso por uma lamina muito flexivel A e é abraçado por uma forquilha C, que serve para transmittir o movi-

[1] *Memoria sobre a determinação do comprimento do pendulo*, por F. A. Brito Limpo.

mento á haste CD e ao eixo horisontal DE e afinal a um *escapo d'ancora*, isto é, a um arco de circulo FG terminado por duas palhetas recurvadas, que penetram nos intervallos dos dentes de uma roda R, denominada *roda de encontro*. Esta roda tende a girar para a direita, movida pelo peso P ou por uma mola; porém estando o pendulo na posição de equilibrio, um dos dentes da roda encosta na palheta F e não ha movimento. Oscillando o pendulo e elevando-se esta palheta a roda gira, mas como se abaixa então a outra palheta, elle pára immediatamente: na oscillação seguinte, eleva-se esta extremidade, a roda cede um pouco, porém abaixa-se a palheta F, que vae prender aquella n'um intervallo immediato; por tanto por cada oscillação dupla do pendulo a roda avança de um dente, e póde transmittir este movimento a um ponteiro movel sobre um mostrador. Os dentes e as palhetas do escapo teem uma fórma propria para aquelles imprimirem um certo impulso a estas na occasião de as deixarem, e são estes impulsos successivos que fazem perpetuar o movimento.

118.—Causas que modificam a intensidade da gravidade.—1.ª *Altitude* (altura vertical acima do nivel dos mares). Como a gravidade é uma força que varia na razão inversa do quadrado das distancias, é claro que a sua intensidade vae diminuindo, segundo esta lei, á medida que nos elevamos sobre o nivel dos mares. Como porém as distancias em que podemos experimentar sobre a terra são geralmente pequenas em relação ao raio d'esta, despreza-se quasi sempre esta causa de variação: é por este motivo que fomos levados a considerar uniformemente variado o movimento da queda dos corpos: porém em rigor não o é, porque a força que o produz não é constante.

2.ª *Latitude* (distancia ao equador). A gravidade augmenta com a latitude por duas circumstancias: por causa do achatamento da terra nos polos, e por causa da força centrifuga.

De feito, o raio da terra, maximo no equador, diminue successivamente até aos polos, onde é minimo; por conseguinte a intensidade da gravidade augmenta desde o equador até aos polos, segundo a lei das distancias.

Em quanto á força centrifuga, que resulta do movimento

diurno de rotação da terra em torno do seu eixo, já sabemos que ella é maxima no equador e diminue até aos polos, onde é nulla (62, 4.ª lei); porque os differentes pontos de um meridiano descrevem no mesmo tempo (um dia) circulos de raios differentes, maximo no equador e nullo nos polos.

A força centrifuga é no equador directamente opposta á gravidade; por isso emprega-se toda em annullar parte d'esta força. Nos outros logares, a força centrifuga *AF*, fig. 37, sempre perpendicular ao eixo da terra *PP'*, decompõe-se em duas, uma horisontal *An*, que não influe na gravidade, e outra *Am* opposta a esta e que destroe parte d'ella: esta ultima componente decresce do equador para os polos. Por todos estes motivos a gravidade é maxima nos polos e minima no equador.

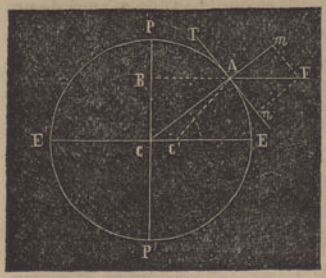


Fig. 37

Sabe-se que a força centrifuga no equador é egual a $\frac{1}{289} = \frac{1}{17^2}$ da gravidade; por tanto n'este circulo os corpos não teriam peso se a terra girasse sobre o seu eixo 17 vezes mais depressa; por isso que a força centrifuga augmenta proporcionalmente ao quadrado da velocidade.

119.—**Variação do peso absoluto dos corpos.**—Em consequencia da variação da gravidade, o peso absoluto dos corpos não é o mesmo nos differentes logares da terra; comtudo é constante o seu peso relativo que a balança dá, porque as causas da variação influem tanto no corpo, cujo peso se aprecia, como nos padrões de peso, que para este fim se empregam. Assim, o numero de grammas que representa o valor do peso de um corpo é sempre o mesmo; o que varia é o valor do gramma.

Forças moleculares

— Forças moleculares são as forças que se exercem entre as partículas d'um corpo.

CAPITULO IV

FORÇAS MOLECULARES

120.—Dissemos (19) que para explicar a constituição physica dos corpos nos tres estados, solido, liquido e gazoso, e para explicar um grande numero de propriedades, se tem recorrido á consideração de duas forças, actuando entre as moleculas, denominadas *forças moleculares*, uma attractiva, a *cohesão*, outra repulsiva denominada *força repulsiva do calor*.

A cohesão, que se manifesta entre as superficies dos corpos em contacto, recebe tambem o nome de *adhesão*.

Vamos descrever algumas experiencias que mostram a existencia d'estas forças nos differentes corpos.

121.—**Cohesão e adhesão nos solidos.**—A resistencia que os solidos oppõem á separação das suas moleculas, e o facto d'ellas, depois de separadas dentro de certos limites, retomarem as suas posições, prova a cohesão nos solidos. Os phenomenos da congelação dos liquidos, acompanhados da crystalisação, demonstram egualmente que as moleculas estão submettidas a uma attracção mutua.

A adhesão entre os solidos reconhece-se em muitas circumstancias differentes, e costuma demonstrar-se com dois discos de vidro ou de marmore P, P', fig. 38, que se levam ao contacto, de modo que não fique entre elles alguma bolha d'ar; suspendendo-os por um d'elles, o outro não cae, mesmo carregando-o com pesos p. Para que não se attribua o phenomeno á acção do ar, introduz-se o apparelho

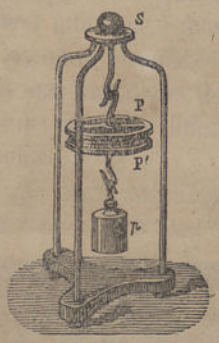


Fig. 38

debaixo do recipiente da machina pneumatica, faz-se o vacuo e os discos conservam-se adherentes.

O phenomeno é mais notavel tendo molhado as superficies que se levam ao contacto; porém é então devido principalmente á adhesão entre os solidos e o liquido.

122.—**Cohesão nos liquidos e sua adhesão para os solidos.**—A cohesão nos liquidos é quasi nulla, porque as moleculas cedem aos mais pequenos esforços; porém não é nulla, porque introduzindo uma vareta de vidro em agua, no alcool, azeite, etc., e retirando-a depois, observa-se que no extremo da vareta vem adherente um pequeno globulo liquido, proveniente sem duvida da attracção das moleculas liquidas que o constituem; ao mesmo tempo se reconhece a adhesão do liquido para o solido. Vê-se tambem, quando se lança um pouco de liquido, agua por exemplo, sobre uma superficie coberta de pó ou revestida de qualquer substancia gorda, a formação de gotas, que provam evidentemente a cohesão nos liquidos.

Mostra-se tambem a cohesão nos liquidos e a sua adhesão para os solidos, suspendendo horisontalmente a um dos pratos de uma balança um disco de vidro, que se applica sobre um liquido, agua ou mercurio, por exemplo; reconhece-se então que é preciso collocar pesos no outro prato para separar o disco da superficie do liquido, o qual antes da separação eleva-se um pouco adherente a este. Esta experiencia feita com o mercurio, que não molha o vidro, demonstra que ha tambem cohesão entre os liquidos e os solidos não molhados.

A experiencia que acabamos de descrever foi modificada por Dupré de uma maneira notavel. A fig. 39 representa a experiencia do sabio professor de Rennes: deitam-se algu-

mas gotas d'agua de sabão sobre uma lamina de cobre e sobre uma pequena haste apoiado sobre ella e muito movel em torno de um fulcro: afastando a haste o liquido estende-se, acompanhando-a; e abandonando-a é levada contra a lamina, como se o liquido fosse uma especie de mola tensa. Emprega-se n'esta experiencia um liquido de grande viscosidade para exagerar o phenomeno; porém este manifesta-se do mesmo modo com qualquer outro.

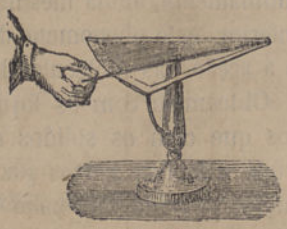


Fig. 39

123.—Cohesão nos gazes e entre os gazes e os solidos.—Não é facil demonstrar experimentalmente a cohesão entre as moleculas dos gazes, porque tendem sempre a afastar-se umas das outras; todavia não podemos deixar de a admittir depois de demonstrada entre as moleculas dos liquidos e sabendo que os gazes, em circumstancias determinadas passam ao estado liquido.

A cohesão entre os gazes e os solidos conhece-se e prova-se quando estes se mergulham em liquidos, porque levam bolhas adherentes, que se separam; prova-a tambem a condensação dos gazes no interior de corpos muito porosos, como o carvão vegetal, o pó muito fino, etc.

A absorpção dos gazes pelos solidos é um facto mais geral do que se tem supposto, e observa-se até nos metaes apparentemente mais compactos. Tem notavel applicação a absorpção do hydrogeneo pela esponja de platina.

124.—Dissolução.—Diffusão.—Nas dissoluções reconhece-se ainda a attracção entre moleculas de substancias differentes: assim o assucar, o sal, etc., desapparecem quando se deitam em agua; por tanto as suas moleculas, não obstante a cohesão, foram separadas, porque a agua exerceu sobre ellas uma acção preponderante.

Dois liquidos differentes justapostos misturam-se tambem

intimamente, ainda mesmo que o mais denso esteja na parte inferior: este phenomeno denomina-se *diffusão*, e a sua causa é a acção das moleculas liquidas postas em presença.

Obteem-se com os liquidos e os gazes os mesmos effeitos que com os solidos e os liquidos, isto é, um liquido póde dissolver certos gazes: a agua de Seltz é uma dissolução do acido carbonico na agua; a agua ordinaria tem em dissolução os gazes da atmosphera, e é por isso que podem respirar os animaes aquaticos.

A diffusão observa-se tambem entre os gazes: collocando dois balões de egual capacidade, um por cima do outro, contendo o inferior o acido carbonico, gaz muito pesado, e o superior o gaz hydrogeneo, o mais leve que se conhece, e estabelecendo communicação entre elles, reconhece-se no fim de algum tempo que os gazes estão intimamente misturados. Esta celebre experiencia é devida a Berthollet. Por analogia admitte-se que a diffusão dos gazes é o resultado da attracção mutua das suas moleculas.

Os phenomenos capillares e de osmose, de que adiante fallamos, são tambem o resultado das acções moleculares.

125.—**Força repulsiva.**—Não obstante a cohesão, as moleculas de um corpo não se tocam; por tanto existe uma *força repulsiva* que a contrabalança.

A existencia d'esta força repulsiva reconhece-se sempre que se exerce sobre um corpo uma compressão; porque se encontra resistencia e as moleculas são afastadas, quando cessa a compressão.

Esta força é muito notavel nos gazes, e demonstra-se com uma experiencia descripta adiante (176).

Como o calor tem por effeito, como veremos, augmentar a força repulsiva que actua sobre as moleculas, tem-se admittido, como dissemos (19), que esta força é devida á mesma causa do calor.

CAPITULO V

PROPRIEDADES PARTICULARES DOS SOLIDOS

126.—**Diversas propriedades particulares.**—Os solidos possuem propriedades particulares, que os tornam proprios para serem empregados nas artes: estas propriedades são, a *elasticidade, dureza, fragilidade, ductilidade,* e *tenacidade.* A primeira reconhece-se quando as moleculas não são desviadas da sua posição primitiva além de certo limite, que é o limite de elasticidade: as outras são todas dependentes de um desvio permanente das moleculas.

127.—**Differentes especies de elasticidade.**—Além da elasticidade de compressão, que é uma propriedade geral, os solidos teem outras especies de elasticidade, porque podem soffrer differentes esforços. Assim, prendendo uma barra por um dos extremos e carregando-a com pesos no outro, a barra allonga-se; mas dentro de certos limites adquire o comprimento primitivo, quando cessa o esforço: este esforço denomina-se *tracção* e a elasticidade *elasticidade de tracção.*

Prendendo uma barra por uma das extremidades e obrigando-a a dobrar, produz-se uma *flexão,* e o corpo manifesta a *elasticidade de flexão,* quando cessa o esforço que a dobrou.

Um fio, ou uma barra, que se torce, destorce depois e volta á posição primitiva no fim de algum tempo: houve uma *torsão* e desenvolveu-se a *elasticidade de torsão.*

Assim pois a elasticidade dos solidos póde ser de *compressão,* de *tracção* de *flexão* e de *torsão,* conforme o es-

forço a que se submettem. De todas estas especies de elasticidade faz-se frequente applicação.

128.—**Applicações da elasticidade dos solidos.**—Aproveita-se a elasticidade de compressão da crina, da lã, das pennas, etc., para fazer colchões, travesseiros, os estofos de alguns moveis, etc.

Serve a elasticidade de flexão do aço, por exemplo, como motor nos relogios e em outras machinas: nos relogios uma lamina de aço muito enrolada, a mola dos relogios, tende pela sua elasticidade a desenrolar-se, e assim communica um certo movimento, que é graduado pelas rodas dentadas, e regulado pela pendula, ou por uma mola muito fina—o cabello dos relogios de algibeira—o qual enrolando-se e desenrolando-se imprime a uma roda, denominada *balanceiro*, oscillações analogas ás do pendulo.

A força das molas aproveita-se em milhares de circumstancias differentes.

Aproveita-se a elasticidade das bandas de coiro, e dos arcos metallicos formados de laminas sobrepostas, para suspender as viaturas, tendo a vantagem de amortecerem os choques, porque mudam facilmente de fórma. Como se sabe, a commodidade de uma carruagem depende da boa qualidade das suas molas; se estas não são bem elasticas, não só incommodam, mas até se partem facilmente.

Os dynamometros, de que fallámos no numero 57, são outra applicação da elasticidade de flexão.

Tambem se aproveita a força das molas nas *valvulas* de mola espiral. Denominam-se *valvulas* certas peças que se empregam para fechar orificios, e que devem ceder n'um sentido, quando predomina a pressão do outro lado. Ás vezes são fixas por uma charneira a um dos bordos do orificio; porém outras vezes são applicadas contra este pela acção de uma mola espiral.

129.—**Dureza.**—A *dureza* é a propriedade que os corpos teem de se opporem a ser riscados, cortados ou gastos por

outros. Esta propriedade é relativa, porque um corpo duro em relação a outro póde ser molle em relação a um terceiro.

Distingue-se a dureza relativa de dois corpos determinando aquelle que risca o outro sem ser riscado por elle: assim se reconhece que o mais duro de todos os corpos é o diamante, porque risca todos e não é riscado por nenhum; por isso para o polir emprega-se o seu proprio pó.

O oiro, a prata, e, em geral, os metaes no estado de pureza, são muito molles; combinando uns com os outros formam-se o que se chama *ligas*, sempre mais duras que elles. É por esta razão que se liga o oiro e a prata com o cobre, para os empregar no fabrico das moedas e dos objectos de luxo.

130.—**Fragilidade.**—A *fragilidade* é a propriedade que certos corpos teem de se reduzirem a fragmentos, de se fracturarem, pelas acções mechanicas.

Em geral, os corpos mais frageis são os mais duros, e vice-versa; e tudo que altera uma d'estas propriedades altera a outra no mesmo sentido.

131.—**Recozimento.**—**Tempera.**—A dureza e a fragilidade de certos corpos, taes como o vidro, o aço, o ferro fundido, diminuem pelo *recosimento*, operação que consiste em os aquecer muito, deixando-os depois resfriar lentamente. Pelo contrario, a dureza e a fragilidade d'esses mesmos corpos augmenta consideravelmente pela *tempera*, que consiste em os aquecer muito, fazendo-os depois resfriar subitamente pela immersão em agua fria.

132.—**Ductilidade.**—**Malleabilidade.**—**Flexibilidade.**—Entende-se por *ductilidade* a propriedade que alguns corpos teem de serem reduzidos a fios, passando pela *fieira*. Dá-se este nome a uma grossa lamina de ferro crivada de orificios de differentes grandezas. Para reduzir um corpo a fio adelgaça-se uma das suas extremidades, introduz-se n'um dos orificios, e puxa-se com uma pinça; depois introduz-se n'um

furo de menor diametro, puxa-se de novo, e assim successivamente.

Entende-se por *malleabilidade* a propriedade que os corpos teem de serem reduzidos a laminas mais ou menos delgadas pela acção do martello ou do *laminador*. O laminador consiste em dois cylindros horisontaes moveis em torno do seu eixo em sentidos contrarios, entre os quaes se introduz a substancia, cuja espessura é superior á distancia das superficies dos cylindros. Dando a estes movimento de rotação, aquella é obrigada a passar entre elles, e assim se reduz a lamina, tanto mais delgada quanto mais se aproximam os cylindros. É assim que se preparam as folhas de ferro, de cobre, de zinco, etc. É com o auxilio do laminador e do martello que se fabricam as delgadas folhas de oiro, empregadas na doiradura.

A *flexibilidade* é a propriedade que os corpos teem de se deixarem curvar sem se quebrarem. Os corpos ducteis são ao mesmo tempo flexiveis; porém esta propriedade manifesta-se em subido grau quando o corpo se dobra lentamente, e póde ser quasi nulla quando se dobra subitamente. Todos sabem que, quando se quer partir um fio, uma lamina, etc., se dobra rapidamente, ora para um, ora para outro lado.

A ductilidade, malleabilidade e flexibilidade, recebem muitas vezes, a denominação generica de *ductilidade*, entendendo-se então por esta expressão a propriedade que os corpos teem de poderem tomar fórmas diversas, quando se sujeitam a esforços mais ou menos prolongados.

133.—**Tenacidade.**—A *tenacidade* é a propriedade que os corpos teem de resistir á ruptura pela tracção.

Estuda-se esta propriedade reduzindo os corpos a hastes cylindricas ou prismaticas do mesmo comprimento e secção, prendendo-as por uma das extremidades e carregando-as com pesos na outra. O corpo mais tenaz é aquelle que supporta maior peso antes de se romper.

Os metaes mais tenazes são, pela ordem decrescente: ferro, cobre, platina, prata, oiro, estanho, zinco e chumbo.

A tenacidade das madeiras é muito maior no sentido das fibras do que no sentido transversal.

CAPITULO VI

DOS LIQUIDOS

I.—Caracteres geraes

134.—**Caracteres dos liquidos.**—Os liquidos, em quanto se mantem constante a pressão sobre elles, conservam o seu volume; porém a sua fórma é essencialmente variavel, porque em virtude da sua quasi nulla cohesão, as moleculas escorregam com muita facilidade umas sobre outras, e amoldam-se perfeitamente á fórma dos vasos.

Apesar d'isto ha sempre alguma adherencia entre as moleculas liquidas, como já dissemos (109), a qual oppõe uma certa difficuldade ao seu movimento, e recebe o nome de *viscosidade*. A viscosidade é muito pequena em alguns liquidos, como o ether e o alcool; é muito grande em outros, como o acido sulfurico, os oleos gordos, etc.

135.—**Compressibilidade e elasticidade dos liquidos.**—Durante muito tempo acreditou-se que os liquidos eram distituidos de compressibilidade; e por isso se denominaram *fluidos incompressiveis*, por opposição aos gazes, que se chamaram *fluidos compresiveis*.

Hoje porém está plenamente demonstrada a *compressibi-*

lidade dos liquidos, posto que muito pequena, e até a sua *elasticidade perfeita;* porque se reconhece sempre que depois de comprimidos, os liquidos retomam o seu volume primitivo, quando cessa o exforço de compressão.

Os instrumentos empregados para medir a compressibilidade dos liquidos denominam-se *piezometros*.

Os liquidos são muito pouco compressiveis porque são muito elasticos.

II.—Equilibrio dos liquidos

Fluidos são corpos que não têm forma propria.

136.—Hydrostatica.—Dá-se este nome á sciencia que trata das condições de equilibrio dos fluidos, e das pressões que elles exercem sobre si mesmos, e sobre as paredes dos vasos que os conteem.

A palavra designa propriamente a *estatica da agua*, ou a sciencia do equilibrio das aguas; porém applica-se hoje ao equilibrio de todos os fluidos —liquidos e gazes— apesar de se empregar tambem a palavra *pneumostatica* para designar o equilibrio d'estes ultimos.

137.—Principio de egualdade de pressão.—Considerando os liquidos como perfeitamente elasticos, dotados de completa mobilidade nas suas moleculas, e subtraidos á acção da gravidade, chegou-se ao resultado seguinte, conhecido pelo nome de *principio de egualdade de pressão*, ou da *egual transmissão das pressões*, e tambem pelo de *principio de Pascal*, porque foi este physico quem primeiramente o estabeleceu:

Uma pressão exercida em qualquer ponto da massa de um liquido transmitte-se em todos os sentidos, com a mesma intensidade, sobre qualquer superficie egual á que recebe a pressão.

Este principio demonstra-se pelo raciocinio, attendendo á grande mobilidade das moleculas dos liquidos. De feito, quando qualquer d'estas recebe uma pressão tende immediatamente a ir sobre outras e a deslocal-as, o que não póde

fazer em consequencia da impenetrabilidade, mas assim transmitte a pressão que recebeu.

Demonstra-se experimentalmente este principio com o apparelho da fig. 40: é um cylindro ligado a um balão com

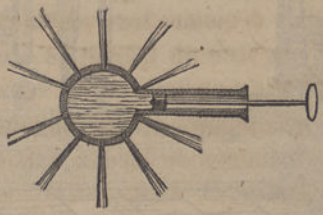


Fig. 40

aberturas em todos os sentidos: enchendo o apparelho d'agua e introduzindo um embolo no cylindro, vê-se sair a agua por todos os orificios, e sensivelmente com a mesma rapidez.

Recebendo a pressão exercida n'uma superficie em outra superficie duas, tres, etc., vezes maior, a pressão torna-se tambem duas, tres, etc., vezes maior; porque é egual á primeira em cada porção de superficie egual áquella em que se exerceu.

138. —**Prensa hydraulica.**—A prensa hydraulica, fig. 41, imaginada por Pascal, como applicação importante do seu principio de egualdade de pressão, é machina muito empregada hoje em todos os trabalhos que necessitam de grandes pressões.

Consta principalmente de dois cylindros muito resistentes *B* e *c* de diametros deseguaes, communicando entre si por um tubo *t*: no interior do maior caminha um cylindro massiço *E*, que faz as vezes de embolo, ligado a um prato *P*, onde se collocam os corpos, que hão de soffrer a pressão contra outro prato superior *P'* fixo a columnas metallicas. O cylindro menor tem tambem um embolo *e*, cuja haste *h*, guiada n'um orificio *o*, é movida pela alavanca in-

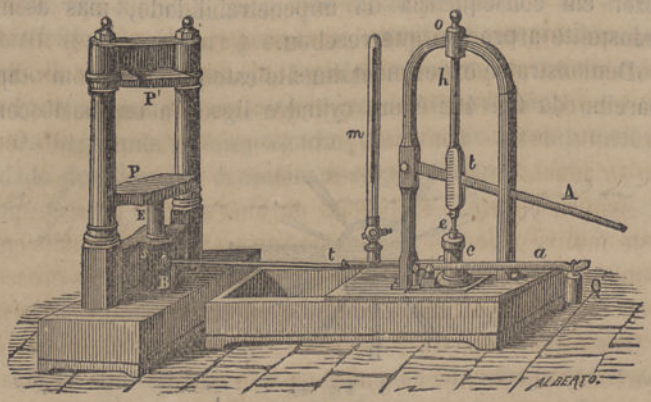


Fig. 41

ter-resistente *A* e pelo tirante articulado *t*: no fundo d'este cylindro ha uma valvula, que se abre debaixo para cima, e que interrompe ou estabelece a communicação com o tubo que se abre no fundo de uma tina com agua collocada por baixo do cylindro; no tubo *t*, a pequéna distancia d'este ha tambem uma valvula disposta do mesmo modo[1]. Assim, quando se eleva o embolo *e*, a agua é aspirada do reservatorio inferior, abre a valvula e penetra no cylindro; quando se abaixa o embolo esta agua fecha a valvula, levanta a valvula do tubo *t*, e entra no cylindro maior *B*; tornando a elevar o embolo a agua fecha pelo seu peso esta valvula, e não volta para o cylindro menor, o qual aspira nova porção d'agua, que é depois levada para o cylindro *B*; e assim successivamente. N'esta manobra, a pressão exercida pelo embolo *e* transmitte-se ao embolo *E* com a mesma intensidade sobre cada porção da sua superficie egual á da base do primeiro.

Sendo de 1:5 a relação entre os braços da alavanca *A*, o

[1] Este systema constitue uma *bomba aspirante-premente*, de que adiante tratamos (214).

esforço empregado no seu extremo torna-se 5 vezes maior no embolo menor; e sendo de 1:3 a relação entre os diametros dos dois embolos, a relação das superficies das bases é de 1:9, e por conseguinte o esforço empregado torna-se afinal $5 \times 9 = 45$ vezes maior.

Ao principio não se precisa de uma grande pressão; por este motivo algumas prensas podem trabalhar com dois embolos no cylindro *c*: trabalha primeiramente o mais grosso, que é furado em toda a sua altura e atravessado pela haste *e* fixa a *t*; depois fixa-se a parte externa d'este embolo ás paredes do cylindro *c* e emprega-se o embolo interior, mais delgado; por conseguinte augmenta-se o esforço transmittido ao embolo *E*.

A figura representa um tubo *m*, que se póde pôr em communicação com o tubo *t*, e que serve para medir a pressão da agua: é um *manometro*. A alavanca *a*, movel em torno de um extremo, e carregada no outro com o peso *Q*, fecha um orificio aberto no tubo *t*, junto ao cylindro *c*, e levanta-se dando saida ao liquido, quando a pressão attinge um limite que não convém exceder; esta disposição constitue uma *valvula de segurança*.

Uma parte importantissima da machina, sem a qual ella não seria susceptivel de grandes pressões, é a *sola imprensada s*, disposta na parte superior do cylindro *B*, com a fórma de um *U* invertido, e que sendo fortemente premida pela agua ajusta as suas paredes contra o cylindro e contra o embolo, evitando d'este modo a saida do liquido. Na fig. 42 está representada uma parte da sola.

Fig. 42

139.—**Condicção geral do equilibrio dos liquidos.**—Considera-se hoje como consequencia do principio de Pascal o seguinte principio estabelecido por Archimedes muitos seculos antes: *para que um liquido esteja em equilibrio é necessario e sufficiente que cada molecula seja egualmente pre-*

mida em todos os sentidos. Esta condição é *necessaria*, porque de outro modo a molecula mover-se-hia no sentido da pressão maior, e não haveria equilibrio; é *sufficiente*, porque estando cada molecula em equilibrio está toda a massa.

140.—**Principio fundamental do equilibrio dos liquidos pesados.** —Como consequencia do principio antecedente estabelece-se o seguinte, que é considerado o *principio fundamental do equilibrio dos liquidos pesados: Em um liquido em equilibrio, submettido apenas á acção da gravidade, todos os pontos da mesma camada horisontal teem a mesma pressão.*

Para demonstrar este principio consideremos dois pontos *A* e *B* da mesma camada horisontal, e imaginemos que elles são os centros de dois pequenos circulos eguaes, verticaes e parallelos, os quaes podemos suppor bases de um cylindro liquido. Este cylindro está em equilibrio, porque por hypothese o está todo o liquido; por tanto as pressões exercidas na direcção do seu eixo pelo liquido exterior devem ser eguaes e contrarias, porque as outras pressões perpendiculares ás geratrizes não podem influir sobre o equilibrio no sentido horisontal. Assim, os pontos *A* e *B* teem n'um certo sentido a mesma pressão; logo tem-n'a em todos, porque, em virtude do principio de Archimedes, a pressão em cada ponto é a mesma em todos os sentidos.

141.—Generalisando o principio do numero antecedente e applicando um raciocinio identico a um liquido submettido á acção de quaesquer forças, conclue-se que para haver equilibrio deve ser constante a pressão em todos os pontos de uma camada perpendicular á sua resultante.

142.—**Variação da pressão com a profundidade.**—*A pressão em um elemento plano qualquer é egual á pressão em outro egual, superior ou inferior, angmentada ou diminuida do peso do cylindro liquido, que tem por base aquelle elemento e por altura a differença de nivel entre ambos.*

Para demonstrarmos este principio, começaremos por considerar dois elementos *m*, *m'*, fig. 43, collocados na mes-

ma vertical: é claro que o elemento inferior m recebe além da pressão transmittida ao elemento m' todo o peso do cylindro liquido mm': se os elementos fossem m' e m'' chegariamos ao mesmo resultado substituindo o segundo por m, collocado na vertical do primeiro e na horisontal do segundo, e como todos os pontos da mesma camada horisoltal teem a mesma pressão, o que concluimos para m é applicavel a m''.

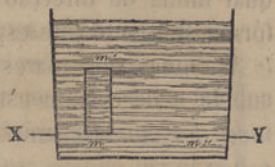


Fig 43

Este principio é, de mais, de mui facil demonstração experimental.

Representando por s a area dos elementos planos, por h a differença de nivel entre elles e por d a densidade do liquido, a differença das pressões é representada por shd.

143.—**Superficies de nivel.—Superficie livre dos liquidos.**—Em um fluido dá-se o nome de *camadas* ou *superficies de nivel* ás camadas da mesma pressão: assim, n'um liquido submettido apenas á acção da gravidade, as superficies de nivel são horisontaes; n'um liquido submettido a quaesquer forças, as superficies de nivel são perpendiculares á resultante d'estas forças.

A superficie livre de um liquido em equilibrio é uma superficie de nivel, porque todos os seus pontos teem a mesma pressão; por tanto deve ser em cada ponto perpendicular á direcção da resultante das forças que actuam o liquido: se este está submittido apenas á acção da gravidade, a superficie livre é horisontal.

144.—**Nivel dos mares.**—Como, n'uma pequena extensão, podemos considerar parallelas as differentes verticaes, segue-se que, nas massas liquidas em equilibrio contidas em vasos, ou em reservatorios de pequena secção, a superficie livre é plana e horisontal. Não succede o mesmo n'uma superficie liquida de grande extensão, como a dos mares, a

qual muda de direcção de um para outro logar e toma a fórma sensivelmente espherica.

As aguas dos mares estão em continuo movimento de subida e descida, constituindo o phenomeno das *marés; o nivel dos mares* é uma superficie media entre o preamar e o baixamar.

Sempre que não dissermos o contrario supporemos que os liquidos estão submettidos apenas á acção da gravidade.

145.—Liquidos sobrepostos.—Para que se dê o equilibrio entre liquidos heterogeneos contidos no mesmo vaso, suppondo que elles não exercem acção chimica nem dissolvente uns sobre os outros, é preciso que as superficies de separação sejam horisontaes; porque só assim é constante a pressão em todos os pontos de qualquer camada horisontal.

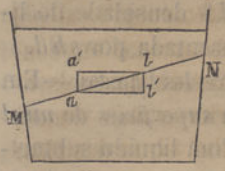


Fig. 44

De feito, suppondo que a superficie *MN*, fig. 44, de separação de dois liquidos, agua e mercurio, por ex., é inclinada; conduzindo as horisontaes e verticaes por quaesquer dois dos seus pontos *a* e *b*, vemos que a pressão em *b* é egual á pressão em *a'*; porém a pressão em *a* é egual á pressão em *a'* augmentada do peso da columna d'agua *aa'*; em quanto que a pressão em *b'* é egual á pressão em *b* mais o peso da columna de mercurio *bb'*: como as duas columnas *aa'* e *bb'* teem a mesma altura e densidades differentes, conclue-se que a pressão nos pontos *a* e *b'*, de nivel, não é a mesma, o que é contrario ao principio fundamental do equilibrio (140).

Para que o equilibrio seja estavel, é preciso mais que os liquidos se disponham pela ordem das suas densidades decrescentes de baixo para cima.

Demonstram-se experimentalmente estas condições de equilibrio com o apparelho da fig. 45, denominado impropriamente *o frasco dos quatro elementos*. É um tubo de vidro fechado á lampada em ambos os extremos, e contendo

quatro liquidos não susceptiveis de se combinarem nem de se dissolverem; como, por ex., o mercurio, agua saturada de carbonato de potassa, o alcool córado de vermelho e o oleo de naphta. Agitando o tubo os liquidos misturam-se; porém, passado pouco tempo, estão em equilibrio, apresentando superficies de separação horisontaes, e estando pela ordem das suas densidades, isto é, o oleo em cima, depois o alcool, em seguida a dissolução salina, e por ultimo o mercurio.


Fig. 45

146.—O que dizemos no numero antecedente suppõe evidentemente que os liquidos não podem misturar-se; porque de outro modo manifesta-se a *diffusão* (124), que se observa, por ex., deitando com muito cuidado alcool córado de vermelho sobre agua pura: nas camadas em contacto reconhece-se em pouco tempo a mistura dos dois liquidos, não obstante estar na parte inferior o mais denso. Observa-se um phenomeno identico na embocadura dos rios: a agua doce d'estes constitue uma camada sobre a agua salgada do mar, tendo a base em parte misturada com esta.

147.—**Equilibrio d'um liquido em vasos communicantes.**—A condição de equilibrio de um liquido contido em differentes vasos communicantes é a seguinte: *as superficies livres em todos os vasos estão á mesma altura, isto é, no mesmo plano horisontal.*

Isto é uma consequencia immediata do principio fundamental do equilibrio dos liquidos pesados (140); porque só elevando-se o liquido á mesma altura em todos os vasos é que a pressão é a mesma n'uma camada horisontal.

Verifica-se esta condição experimentalmente com um vaso de vidro *A*, fig. 46, posto em communicação com varios tubos por meio de um canal *BC* com torneira *C*: deitando um liquido no vaso

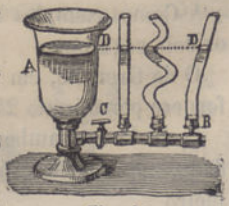


Fig. 46

e abrindo a communicação com os tubos, reconhece-se que o liquido sóbe em todos á mesma altura.

148.—**Repuxos.—Poços Artesianos.**—É em virtude do principio dos vasos communicantes, que as aguas, partindo de reservatorios muito elevados, e saindo por aberturas de um canal, tendem a subir muito; esta força ascencional aproveita-se nos *repuxos* para produzir vistas mais ou menos apparatosas. Se a agua não sóbe ao nivel que tem no reservatorio, é por causa da fricção no orificio da saida, por causa da resistencia do ar, e porque as particulas que caem chocam as que se elevam.

Os *poços artesianos* são outro exemplo do principio dos vasos communicantes. Imaginemos que a agua das chuvas, infiltrando-se pelas camadas permeaveis da superficie do globo, corre por entre duas camadas impermeaveis: se com uma sonda furamos o terreno até encontrar a agua, esta sóbe a uma altura tanto maior, quanto mais elevado a respeito do furo está o seu nivel no ponto mais alto da camada. Estes furos são conhecidos pela denominação de *poços artesianos*, do nome da antiga provincia Artois, em França, onde são usados ha muito tempo[1].

É ainda o principio dos vasos communicantes que se aproveita na distribuição das aguas em uma cidade, como actualmente se faz em Lisboa. Accumulam-se as aguas em reservatorios elevados e espalham-se depois por differentes canos nos diversos edificios da cidade. Se os reservatorios precisam, para alimentar alguns bairros, ser superiores á nascente d'onde provém a agua, esta eleva-se por meio de

[1] Como exemplos de *poços artesianos* notaveis mencionaremos os dois seguintes:

O de Grenelle, em Paris, que tem 548^{m} de profundidade, e que fornece por minuto 2400 litros d'agua na temperatura de 27°.

O de Passy, tambem em Paris, que tem 587^{m},6 de profundidade, e que fornece agua a 28° em maior quantidade que o primeiro.

machinas de vapor. Temos um exemplo d'esta disposição, em Lisboa, no reservatorio da Veronica, para o qual as aguas são elevadas pelas machinas estabelecidas no Terreiro do Trigo.

149.—**Equilibrio dos liquidos heterogeneos em vasos communicantes.**—A condição d'este equilibrio é a seguinte: *os liquidos sobem a alturas inversamente proporcionaes ás suas densidades.*

Verifica-se experimentalmente esta condição com dois tubos communicantes, nos quaes se deita mercurio, que sóbe em ambos á mesma altura, e em um dos quaes se deita depois agua: este liquido faz descer o mercurio n'este tubo e eleval-o no outro, e a differença de altura das duas columnas de mercurio está para a altura da agua, como a densidade d'este liquido para a densidade d'aquelle.

Esta condição é ainda consequencia do principio fundamental do equilibrio dos liquidos pesados. De feito seja *MN*, fig. 47, a superficie de separação dos liquidos de densidades *d* e *d'*: e sejam *h* e *h'* as alturas a que sobem sobre esta superficie. Os pesos d'estas columnas liquidas em cada unidade de superficie são *hd* e *h'd'*; por tanto para haver egualdade de pressão em *MN* deve ser $hd = h'd'$; isto é, as alturas na razão inversa das densidades.

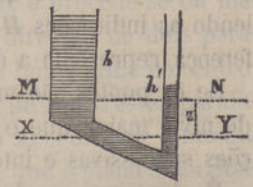


Fig. 47

150.—**Nivel d'agua.**—Este instrumento é uma applicação do principio dos vasos communicantes. Consta de um tubo metallico *AB*, fig. 48, de um metro proximamente de comprimento, recurvado em angulo recto em ambas as extremidades e terminado por dois cylindros de vidro: apoia-se este tubo sobre um tripé; dá-se-lhe a posição sensivelmente hori-

Fig. 48

sontal, e deita-se-lhe agua até que suba um pouco além do meio dos copos de vidro. Feito isto temos a certeza que as duas superficies livres da agua estão no plano horisontal; por tanto olhando tangencialmente a ellas determina-se uma linha de nivel.

Applica-se este instrumento nas operações de *nivelamento*, que tem por fim determinar a differença de altura de dois logares distantes: collocam-se em ambos os logares reguas graduadas verticaes, denominadas *miras*, ao longo das quaes póde correr um rectangulo de folha, cujo centro é o ponto de referencia; e entre os dois logares assenta-se o nivel d'agua, como representa a figura. Dirige-se um raio visual por este instrumento, e faz-se signal aos individuos que acompanham as miras para que elles levem os pontos de referencia á horisontal xy, determinada para ambos os lados pelo individuo que trabalha com o nivel. Feito isto, e lendo as indicações H e h das reguas graduadas, a sua differença representa a differença de altura dos dois logares.

Se os pontos são muito distantes, e teem uma differença de nivel maior que o comprimento da mira, fazem-se estações successivas e intermedias.

É claro que o nivel determinado é *apparente;* porque corresponde a pontos contidos no plano tangente á superficie da terra, considerada como espherica: o *nivel verdadeiro* é o que corresponde a pontos equidistantes do centro da terra.

151.—Nivel de bolha d'ar.—O *nivel de bolha d'ar*, muito mais sensivel que o antecedente, serve não só para tomar nivelamentos, como tambem para verificar a horisontalidade dos planos: a sua construcção funda-se na lei da sobreposição dos fluidos em equilibrio.

Consta, fig. 49, de um tubo de vidro fechado em ambos os extremos, ligeiramente curvo e quasi completamente cheio de um liquido muito fluido,

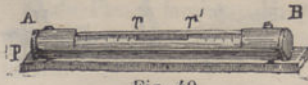


Fig. 49

como o alcool e o ether, sendo o espaço restante occupado por uma bolha d'ar, ou melhor ainda pelo vapor do liquido. Este tubo é introduzido n'um estojo de metal *AB* aberto superiormente na parte média, a fim de deixar a descoberto a sua parte convexa, e ligado a uma regua tambem metallica *PP*, invariavelmente por um dos extremos, e no outro por intermedio de um parafuso, que permitte o movimento de rotação em torno do primeiro. Deve dispor-se de modo que assentando o instrumento n'um plano horisontal a bolha fique no centro entre dois traços *r*, *r'*, abertos no vidro. —Verifica-se se esta condição tem logar collocando o nivel n'um plano, que se dispõe por fórma que a bolha venha ao centro, e invertendo-o sem alterar a posição do plano; se a bolha não muda de logar conclue-se que o nivel está bom; aliás é preciso mover o parafuso até que, por tentativas, se consiga este resultado.

Para dar com este instrumento a posição horisontal a um plano, deve este ser munido de tres parafusos, que por este motivo se denominam de *nivelamento;* e procede-se da maneira seguinte: colloca-se o nivel na direcção de dois parafusos e move-se um d'elles até que a bolha fique no centro; depois colloca-se o nivel na direcção de um d'estes parafusos e do terceiro, e move-se este até se conseguir o mesmo resultado. Feito isto temos a certeza que o plano é horisontal; porque, como sabemos, bastam duas linhas crusadas para determinar um plano.

Para usar d'este instrumento nos nivelamentos, no que é muito superior ao nivel d'agua, fixa-se a um oculo, a que se dá a posição horisontal por meio d'elle.

III.—Pressões exercidas pelos liquidos

152—Pressões exercidas pelos liquidos.—A pressão exercida sobre a superficie livre de um liquido é apenas a que provém do peso do ar: nas camadas inferiores, além d'esta pressão, exerce-se tambem o peso das camadas superiores. Em virtude do principio de Pascal, a pressão transmitte-se em todos os sentidos com a mesma intensidade; d'aqui vem a consideração de tres especies de pressões exercidas pelos liquidos: 1.ª *pressão vertical de cima para baixo;* 2.ª *pressão vertical de baixo para cima;* 3.ª *pressão sobre as paredes lateraes dos vasos.* Esta ultima pressão considera-se sempre normal; porque uma pressão obliqua á parede decompõe-se em duas, uma normal e outra parallela, e esta não tem effeito sobre a parede.

No que se segue abstrae-se da pressão que o ar exerce sobre a superficie livre do liquido.

153.—Pressão vertical de cima para baixo.—Pressão no fundo dos vasos.—Em um liquido apenas submettido ao seu peso, a pressão em uma superficie horisontal é evidentemente egual ao peso de um cylindro liquido, que tem por base esta superficie e por altura a distancia que a separa da superficie livre do liquido.

A pressão de um liquido sobre o fundo horisontal do vaso, que o contém, é, por conseguinte, egual ao peso de uma columna liquida cuja base é o fundo do vaso, e cuja altura é a sua distancia á superficie livre do liquido. Qualquer que seja, pois, a configuração dos vasos, qualquer que seja a quantidade de liquido contida, a pressão é sempre a mesma, sendo constante a altura do liquido e a superficie do fundo.

Costuma-se demonstrar este principio com o apparelho

de Haldat, fig. 50, o qual é formado por um tubo de vidro *abc* duas vezes recurvado em angulo recto, tendo um dos

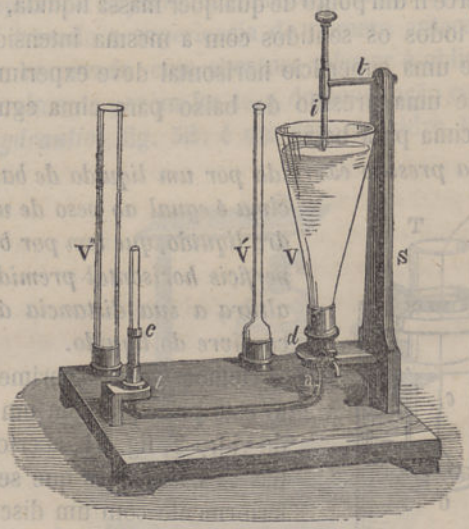


Fig. 50

ramos verticaes *a* uma virola metallica *d*, a que se podem atarrachar successivamente differentes vasos *V*, *V'*, *V''*, com fórmas mui differentes. Faz-se a experiencia deitando mercurio no tubo, atarrachando-lhe um vaso *V*, e deitando agua n'este até uma certa altura, que se marca com um estilete *i*: em consequencia da pressão da agua no fundo do vaso o mercurio eleva-se no outro ramo vertical até uma altura, que se marca com um annel *c*. Fazendo sair a agua pela torneira da virola *d* e repetindo a experiencia com qualquer dos outros vasos, que levam differentes quantidades de liquido, tendo o cuidado de lhes deitar agua até á altura marcada com o estilete, reconhece-se que o mercurio sóbe sempre á mesma altura; o que demonstra que a pressão é sempre a mesma, isto é independente da fórma do vaso,

e só dependente da superficie do fundo e da altura do liquido.

154.—**Pressão vertical de baixo para cima.**—Como a pressão, que se exerce n'um ponto de qualquer massa liquida, se transmitte em todos os sentidos com a mesma intensidade, segue-se que uma superficie horisontal deve experimentar inferiormente uma pressão de baixo para cima egual á que soffre de cima para baixo.

Assim, *a pressão exercida por um liquido de baixo para cima é egual ao peso de um cylindro liquido, que tem por base a superficie horisontal premida, e por altura a sua distancia á superficie livre do liquido.*

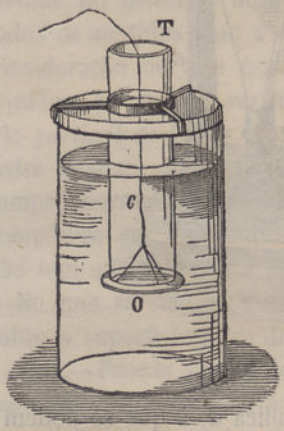


Fig. 51

Demonstra-se experimentalmente este principio com um cylindro de vidro *T*, fig. 51, aberto em ambas as bases, mas que se tapa inferiormente com um disco *O* sustentado por um fio *c*.

Introduzindo o tubo na agua, póde-se largar o fio, porque o disco não cae, o que prova a existencia da pressão de baixo para cima; deitando agua no cylindro, o disco cae quando o nivel da agua coincide sensivelmente com o nivel exterior, o que prova a grandeza da pressão.

155.—**Pressão lateral.—Torniquete hydraulico.**—Partindo do principio de Pascal demonstra-se que, *a pressão exercida por um liquido n'uma superficie lateral de um vaso é egual ao peso de uma columna liquida, que tem por base essa superficie, e por altura a distancia do seu centro de gravidade á superficie livre do liquido.*

O ponto de applicação d'esta força denomina-se *centro de pressão*, e fica sempre um pouco abaixo do centro de gra-

vidade da superficie premida; por isso que as pressões parciaes, que constituem a pressão total, augmentam com a profundidade.

Demonstra-se experimentalmente a existencia das pressões lateraes fazendo a experiencia do numero antecedente com um tubo recurvado, cuja abertura inferior é obliqua ou vertical; geralmente porém faz-se a demonstração com o *torniquete hydraulico*, fig. 52: é um vaso de vidro *V* movel em

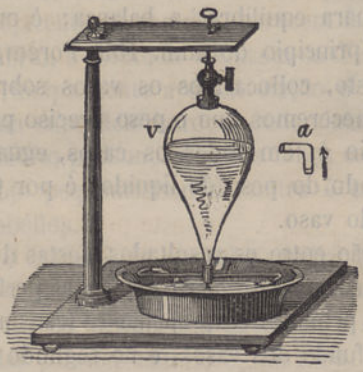


Fig. 52

torno de um eixo vertical, communicando inferiormente com um tubo horisontal *t*, aberto e recurvado em ambas as extremidades em sentidos contrarios. Enchendo o vaso com agua, o liquido esgota-se pelas duas aberturas do tubo horisontal, imprimindo ao apparelho movimento de rotação em sentido contrario ao do esgoto. Este phenomeno, conhecido pela denominação de *reacção* dos liquidos que se esgotam, é produzido pelas pressões que o liquido exerce nas partes lateraes oppostas ás aberturas, como se vê em *a*, e que não são equilibradas pelas pressões contrarias em consequencia d'estas aberturas, que deixam sair o liquido.

156.—**Paradoxo hydrostatico.**—O principio do num. 153 deu logar ao celebre *paradoxo hydrostatico;* porque parece pa-

radoxal o facto de ser a pressão exercida no fundo de um vaso umas vezes maior, outras menor e até egual ao peso do liquido, conforme o vaso estreita para cima, ou alarga ou é cylindrico.

Suspendendo a um dos braços de uma balança um disco metallico, que se applica successivamente ao fundo dos vasos que figuram no apparelho de Haldat, e que se apoiam n'um supporte independente da balança, e deitando-lhes liquido até á mesma altura, vemos que é preciso sempre o mesmo peso para equilibrar a balança: é outro modo de demonstrar o principio do num. 153. Porém, se em logar de fazermos isto, collocarmos os vasos sobre o prato da balança, reconheceremos que o peso preciso para restabelecer o equilibrio é, em todos os casos, egual ao peso do vaso augmentado do peso do liquido; é por tanto variavel com a fórma do vaso.

A contradicção entre os resultados d'estas duas experiencias, no que consiste o *paradoxo*, explica-se perfeitamente notando que, no primeiro caso apenas se transmitte á balança a pressão no fundo dos vasos, e no segundo transmitte-se toda a pressão vertical que o vaso soffre do liquido, a qual é composta da pressão no fundo e mais ou menos as componentes verticaes das pressões nas paredes lateraes; mais no caso do vaso ser alargado para a parte superior, menos no caso contrario[1]. Se o vaso é cylindrico a resultante das pressões lateraes é nulla, e por isso, n'este caso, o peso do liquido é egual á pressão exercida no fundo.

[1] Demonstra-se mui facilmente que as pressões exercidas por um liquido sobre as paredes d'um vaso teem uma resultante unica egual ao peso do liquido.

IV.—Capillaridade e osmose

157.—Phenomenos capillares.—Os phenomenos observados quando os liquidos estão contidos em espaços muito apertados, ou quando se considera, em vasos de qualquer secção, a porção adjacente ás paredes, parecem fazer excepção ás leis do equilibrio, e comtudo deduzem-se d'ellas. Os phenomenos são principalmente a desnivelação do liquido e a curvatura da sua superficie livre; e denominam-se *capillares*, por serem muito pronunciados nos tubos capillares, isto é, nos tubos cujo pequenissimo diametro é comparavel á grossura dos cabellos.

Mergulhando o extremo de um tubo capillar n'um liquido, nota-se umas vezes elevação e outras depressão do liquido interior a respeito do nivel geral exterior; e o mesmo se observa junto das paredes exteriores do tubo: na agua, por exemplo, o nivel dentro do tubo e junto das paredes é mais elevado, fig. 53, e no mercurio menos, fig. 54. A ascenção

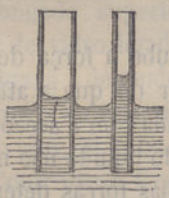


Fig. 53

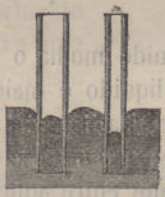


Fig. 54

tem logar sempre que o liquido molha o tubo, e a depressão quando o não molha: no primeiro vaso o vertice toma a fórma de um *menisco concavo*, e no segundo a de um *me-*

nisco convexo: as ascensões e depressões, são tanto maiores quanto menor é o diametro dos tubos[1].

A experiencia póde fazer-se tambem com dois tubos communicantes de diametros muito deseguaes: com a agua o liquido eleva-se mais no tubo mais estreito; com o mercurio acontece o contrario.

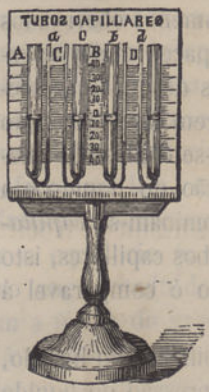


Fig. 55

O apparelho representado na fig. 55, serve para demonstrar estes phenomenos; sobre uma prancha de madeira estão quatro tubos capillares *a, b, c, d*, em communicação com tubos mais grossos *A, B, C, D; a* tem o mesmo diametro que *c, b* o mesmo que *d;* porém o diametro d'estes ultimos é menor que o dos primeiros. Na parte média da prancha ha uma escala de divisões arbitrarias com o zero no meio. Deitando mercurio nos tubos *A* e *B*, e agua em *C* e *D*, até que o nivel em todos suba ao zero da escala, reconhece-se que nos dois primeiros tubos capillares o liquido fica abaixo do zero, e nos dois ultimos acima; a depressão e a elevação é maior nos tubos *b* e *d* de menor diametro.

Entre laminas bastante proximas notam-se resultados identicos.

Quando o liquido molha o tubo a força de attracção do solido sobre o liquido é maior do que a attracção mutua das moleculas liquidas, combinada com a acção da gravidade; o contrario tem logar no caso do liquido não molhar o tubo: a relação existente entre aquellas forças determina os phenomenos capillares.

158.—**Exemplos.**—É pela acção capillar que o azeite sóbe

[1] Se este diametro não excede dois millimetros, as *ascensões e depressões estão na razão inversa dos diametros* (lei de Jurin).

pelas torcidas dos candieiros, já pelos poros do algodão, já pelos pequenissimos canaes formados pela torsão dada a esta substancia. Nas velas succede o mesmo; a acção do calor derrete a cera, a stearina, etc., e estas substancias no estado liquido sobem até aos extremos da torcida pela acção capillar.

A ascenção dos liquidos no interior dos animaes e dos vegetaes é, em grande parte, devida á acção capillar; porque os vasos dos seres organisados na sua grande maioria são effectivamente capillares.

159.—**Osmose: endosmose e exosmose.**—Attribuiu-se n'outro tempo ás acções capillares a troca de liquidos, que se effectua em circumstancias particulares, através de membranas mais ou menos porosas, e a que se dá o nome de *osmose*. Estuda-se este phenomeno com um pequeno apparelho denominado *endosmometro*, fig. 56, e que consta de um vaso de vidro *V'* fechado inferiormente por uma membrana porosa, e prolongado superiormente por um tubo de vidro ligado a uma prancha graduada: deitando n'este vaso agua gomada ou assucarada até uma certa divisão do tubo, e mergulhando-o n'outro vaso *V* com agua pura, reconhece-se passado certo tempo a subida do liquido no tubo, e a existencia de gomma ou assucar na agua exterior; o que prova que houve através da menbrana duas correntes, sendo mais intensa a do liquido menos denso para o mais denso: a primeira recebeu o nome de *endosmose* e a segunda de *exosmose*.

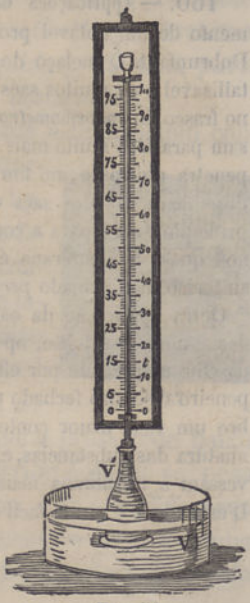


Fig. 56

Reconhece-se ainda o mesmo phenomeno com outros li-

quidos e mesmo entre os gazes; e tambem substituindo a menbrana por uma lamina de madeira, d'argila ou de terra porosa.

Parece fóra de duvida que os phenomenos da *osmose* são o resultado da diffusão (124) entre os liquidos ou entre os gazes, modificada pela cohesão desegual da membrana para os dois fluidos que separa.

Muitos phenomenos, que teem logar na vida animal e vegetal, estão intimamente ligados com os phenomenos da *osmose*.

160. — Applicações da osmose. — Dialyse. — A osmose é o fundamento de um notavel processo de purificação dos assucares, devido a Dubrunfaut. O melaço de betterraba é uma mistura de assucar crystallisavel e de muitos saes organicos e mineraes dissolvidos: introduzido no frasco do *endosmometro* e mergulhado este em agua pura, os saes passam para fóra muito mais depressa que o assucar, em quanto que a agua penetra no frasco; no fim de algum tempo a dissolução de assucar está desembaraçada dos saes e dá pela crystallisação o assucar puro. Este principio serve para a construcção de grandes apparelhos industriaes, nos quaes a membrana é substituida por papel modificado pelo acido sulfurico, denominado *pergaminho vegetal*.

Outra applicação da osmose é a separação das substancias misturadas n'uma dissolução, operação que Graham denominou *dialyse:* o apparelho empregado por elle, e denominado *dialysador*, é uma especie de peneiro de vidro fechado por uma membrana porosa, e que descança sobre um vaso maior contendo agua distillada. No primeiro colloca-se a mistura das substancias, e aquellas que teem maior poder diffusivo atravessam a membrana mais depressa e concentram-se na agua exterior. D'este modo é muito facil separar o acido arcenioso de qualquer mistura.

V.—Equilibrio dos corpos mergulhados e fluctuantes nos liquidos

161.—Principio de Archimedes.—Um corpo mergulhado n'um liquido soffre em todos os pontos pressões eguaes ás pressões do liquido nas camadas horisontaes d'esses pontos: a sua resultante é uma força vertical actuando de baixo para cima, egual ao peso do liquido deslocado: denomina-se *impulsão do liquido* e é directamente opposta á gravidade.

D'aqui vem o principio seguinte descoberto por Archimedes: *um corpo mergulhado n'um liquido perde uma parte de seu peso egual ao peso do liquido deslocado.*

Costuma-se demonstrar theoricamente este principio considerando um cubo mergulhado, tendo quatro faces verticaes e duas horisontaes, fig. 57: é claro que as pressões sobre duas faces verticaes oppostas são eguaes e contrarias (155), (por isso elle não caminha lateralmente); a pressão de cima para baixo sobre a face horisontal superior é egual ao peso do parallelipipedo rectangulo de base *c d* e de altura *b c*, em quanto que a pressão de baixo para cima sobre a face horisontal inferior é egual ao peso do parallelipipedo de base *a e* e altura *a b:* e a differença entre estas duas pressões é evidentemente o peso do cubo de liquido *a d*, isto é, do volume de liquido deslocado pelo corpo.

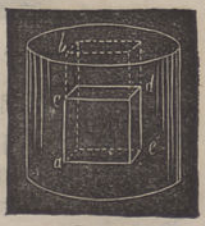


Fig. 57

Demonstra-se experimentalmente este principio com a *balança hydrostatica*, fig. 58: é uma balança ordinaria cujos pratos, suspensos por estribos mui curtos, são munidos de ganchos na parte inferior: as hastes *a, b*, reunidas pela regua *e*, constituem um systema, que as faz subir ou descer

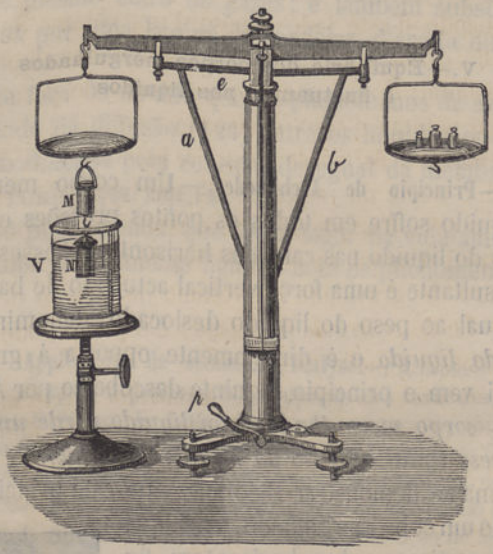


Fig. 58

movendo para a direita ou esquerda o cabo *p*, e serve, como nas balanças de precisão, para elevar o travessão e poupar o cutello. Algumas balanças hydrostaticas teem o travessão ligado a uma haste dentada, e assim por meio de um carreta faz-se elevar ou abaixar a balança, isto com o fim de fazer mergulhar na agua de um vaso o corpo suspenso a um dos pratos. As balanças mais modernas construidas por Salleron, como é a que a fig. representa, não teem esta disposição, que apresenta o inconveniente de as desnivelar: o vaso de vidro *V* é que assenta sobre um supporte munido de haste dentada para poder descer ou subir.

Suspende-se a um dos pratos um cylindro ôco *M* e a este um massiço *N* de volume egual á capacidade do primeiro, e tara-se a balança; faz-se depois descer esta ou subir o vaso *V* até que o cylindro inferior mergulhe na agua, e reconhece-se que o travessão inclina-se e indica uma perda de peso

do lado dos cylindros: enchendo d'agua o cylindro ôco, isto é addicionando d'este lado o peso d'um volume de liquido egual ao do cylindro mergulhado, a balança readquire a posição horisontal, o que prova que a perda de peso é egual ao peso do volume d'agua deslocado.

162.—**Impulsão do liquido: centro de impulsão.**—Já dissemos que se dá o nome de *impulsão* de um liquido á resultante de todas as pressões que elle exerce sobre um corpo mergulhado, a qual é egual ao peso do liquido deslocado.

Ao centro de gravidade do volume de liquido deslocado dá-se o nome de *centro de impulsão;* é o ponto onde se considera actuando aquella força.

163.—**Applicação do principio de Archimedes á determinação de volumes.**—O principio de Archimedes permitte determinar de uma maneira muito simples o volume de qualquer corpo, comtanto que não seja soluvel na agua e seja mais denso que ella. Suspende-se o corpo por um fio a um dos pratos da balança hydrostatica e tara-se esta; depois mergulha-se o corpo em agua distillada a 4°, e collocam-se n'aquelle prato da balança os pesos necessarios para dar a esta a posição horisontal. Estes pesos representam a perda de peso do corpo na agua, e por tanto o peso do liquido deslocado; o seu numero de grammas é o numero de centimetros cubicos do volume d'este liquido, que é egual ao volume do corpo.

164.—**Condições de equilibrio dos corpos mergulhados e fluctuantes.**—Um corpo mergulhado em um liquido está submettido á acção de duas forças; uma, o seu peso, actuando de cima para baixo e applicada no seu centro de gravidade; outra, a impulsão do liquido, actuando debaixo para cima e applicada no centro de impulsão.

Se o peso do corpo é maior que a impulsão, não póde haver equilibrio no interior do liquido, e o corpo precipita-se para o fundo do vaso.

Se o peso do corpo é egual á impulsão do liquido, o corpo

póde ficar em equilibrio mergulhado n'este. Se é homogeneo, o seu centro de gravidade confunde-se com o de impulsão, e o equilibrio manifesta-se em qualquer posição, isto é, é *indifferente*. Se não é homogeneo, o equilibrio só tem logar quando o centro de gravidade e de impulsão estão na mesma vertical, e é *estavel* quando este é superior áquelle, e *instavel* no caso contrario.

Finalmente, se o peso do corpo é menor que a impulsão, esta faz subir o corpo até mergulhar apenas de uma porção tal que o peso do liquido deslocado seja egual ao seu; e o corpo *fluctua*. Para haver equilibrio é preciso ainda que o centro de gravidade do corpo fluctuante e o centro de impulsão estejam na mesma vertical: o equilibrio é *estavel* sempre que este ponto é superior ao outro, póde porém ser estavel estando o centro de gravidade acima do centro de impulsão, com tanto que esteja abaixo de um outro ponto denominado *metacentro*, cuja determinação pertence á mechanica.

É para tornar estavel o equilibrio dos navios que se emprega o *lastro* no porão; porém a carga póde levantar um pouco o centro de gravidade, e é preciso sabel-a arrumar para que o equilibrio se conserve estavel.

Resumindo diremos que são duas as condições de equilibrio dos corpos mergulhados e fluctuantes: 1.ª *é preciso que estes corpos desloquem um peso de liquido egual ao seu*[1];

[1] Ha factos que parecem estar em contradicção com este principio. Assim um fio de platina fluctua sobre o mercurio, que é menos denso que elle, e as agulhas d'aço podem fluctuar na agua. Explica-se este phenomeno pela depressão do liquido junto do corpo fluctuante não molhado, a qual faz o mesmo effeito que augmentar o volume do liquido deslocado pelo corpo.

É por um phenomeno semelhante que alguns insectos caminham sobre as aguas sem se molharem; porque uma substancia gorda das suas patas determina a depressão, que importa uma maior deslocação de volume.

Metacentro

— Metacentro é a intersecção da recta que une o centro de gravidade ao d'impulsão na posição d'equilibrio com a vertical, que passa pelo novo centro d'impulsão.

2.ª *que o seu centro de gravidade e o de impulsão estejam na mesma vertical.*

Com um ovo e um vaso cylindrico de vidro faz-se uma experiencia simples que realisa os tres casos mencionados: Deitando agua no vaso e introduzindo-lhe o ovo, este desce até ao fundo, porque a sua densidade média é maior que a da agua. Fazendo a experiencia com agua salgada, o ovo fluctua, porque é menos denso que ella. Deitando com cuidado a agua commum sobre a agua salgada, os liquidos misturam-se nas camadas em contacto, e introduzindo o ovo superiormente elle desce até encontrar estas camadas, onde fica em equilibrio.

165.—**Ludion.**—O *ludion* é um pequeno apparelho com o qual se costumam mostrar os differentes casos, que se podem dar na immersão de um corpo. É um cylindro de vidro, fig. 59, quasi completamente cheio d'agua, e fechado superiormente com uma membrana elastica: no liquido mergulha uma esphera de vidro contendo alguma agua, e tendo um orificio na parte inferior: da esphera pende uma figura de esmalte. Carregando com o dedo sobre a membrana, o ar é comprimido, exerce pressão sobre a agua, que se transmitte através de todo o liquido obrigando-o a entrar em parte para dentro da esphera: esta adquire maior peso e desce com a figura de esmalte. Alliviando a pressão, este systema sóbe; porque sae uma porção d'agua de dentro da esphera.

Fig. 59

Nos ludions mais aperfeiçoados o cylindro de vidro é terminado por uma virola metallica, a que se adapta um outro cylindro metallico munido de embolo de parafuso. D'este modo póde-se graduar á vontade a pressão transmittida ao liquido e mantel-a o tempo que se quer.

166.—**Bexiga natatoria dos peixes.**—A maior parte dos peixes tem no abdomen abaixo da espinha dorsal uma bexiga

cheia d'ar, que se chama *bexiga natatoria*. Por um esforço muscular o peixe comprime-a quando quer descer, e dilata-a para subir dentro d'agua, porque no primeiro caso torna-se mais denso, visto que sem mudar de peso diminue de volume, e no segundo acontece o contrario.

167.—**Natação.**—Os animaes são, em geral, especificamente mais leves que a agua, por isso fluctuam naturalmente quando mergulham, e melhor ainda se a agua é salgada; porém a difficuldade da natação está em poderem conservar a cabeça fóra do liquido para respirarem livremente. Como no homem a cabeça tem um grande peso em relação aos membros inferiores, tende a mergulhar, o que faz com que a natação seja uma arte que elle precisa cultivar. Nos quadrupedes succede o contrario; a cabeça pesa menos que a parte posterior do corpo, e por isso elles conservam-n'a fóra d'agua sem esforço e nadam naturalmente.

Para nadar não basta conservar o corpo ao de cima d'agua, é preciso saber avançar; para este fim toma-se com os pés e mãos pontos d'apoio na agua, e corta-se esta apresentando-lhe pequena superficie, isto é, de lado. Os peixes servem-se das barbatanas e da cauda para se moverem dentro d'agua.

As boias e colletes de salvação, etc., servem aos principiantes para lhes facilitar a fluctuação e poderem mover-se.

VI.—Determinação da densidades dos solidos e dos liquidos

168.—**Methodos geraes para a determinação da densidade dos solidos e dos liquidos.**—*A densidade de um corpo solido ou liquido é a relação entre o peso de volumes eguaes do corpo e da agua pura a 4°* (89). São tres os methodos geraes empregados na determinação d'estes pesos, e por tanto das

densidades: 1.º *methodo da balança hydrostatica;* 2.º *methodo do frasco;* 3.º *methodo dos areometros.*

169.—**Methodo da balança hydrostatica.**—1.º *Corpos solidos.* —Suspende-se o corpo por um fio a um dos pratos da balança e mede-se o seu peso P; mergulha-se depois em agua e restabelece-se o equilibrio da balança com os pesos P', que representam a perda de peso do corpo, isto é, o peso de um volume d'agua egual ao seu. O quociente $\frac{P}{P'}$ é a densidade procurada.

2.º *Corpos líquidos.*—Suspende-se a um dos pratos da balança um corpo não atacado pelos liquidos, uma esphera de vidro, por ex., e tara-se a balança; depois mergulha-se este corpo no liquido cuja densidade se quer conhecer, e compensa-se a perda de peso com os pesos P: tira-se o corpo do liquido, equilibra-se novamente no ar, tirando estes pesos, e mergulha-se na agua: representando por P' os pesos que é preciso empregar para compensar a impulsão d'este liquido, $\frac{P}{P'}$ é a densidade do primeiro.

170.—**Methodo do frasco**[1].—1.º *Corpos solidos.*—Para os solidos emprega-se um frasco de boca larga, fig. 60, com rolha esmerillada, ôca, prolongada por um tubo delgado. Começa-se por determinar o peso P do corpo; depois colloca-se n'um dos pratos de uma balança, ao lado do frasco cheio d'agua até um nivel determinado t, e tara-se a balança com areia ou grãos de chumbo.

Introduz-se o corpo dentro do frasco, limpa-se este, tendo o cuidado de deixar o liquido no mesmo nivel que precedentemente, e colloca-se na balança, addicionando-lhe os pesos P' necessarios para restabelecer o equilibrio: estes pe-

[1] Este methodo é o unico que se póde empregar com os gazes, cuja densidade, por ser muito pequena, costuma-se referir ao ar.

sos representam o peso de um volume d'agua egual ao do corpo, por conseguinte $\frac{P}{P'}$ é a densidade d'este.

Com o corpos reduzidos a pó emprega-se exclusivamente este methodo.

Fig. 60

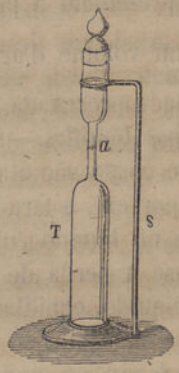


Fig. 61

2.º *Corpos liquidos.*—O frasco para os liquidos é de paredes mui delgadas e de boca estreita: a fig. 61 representa o frasco de Regnault, que permitte operar n'uma temperatura bem definida. Equilibra-se o frasco na balança; depois enche-se do liquido e determina-se um augmento de peso P; faz-se o mesmo com a agua e acha-se um peso P': a densidade é dada pela relação $\frac{P}{P'}$.

171.—**Methodo dos areometros.**—Dá-se o nome de *areometro* a um fluctuador de vidro ou de metal, de certa configuração, lastrado com chumbo ou mercurio, para que seja estavel o equilibrio quando mergulhado nos liquidos.

1.º *Corpos solidos.*—Na medição da densidade dos solidos emprega-se o *areometro de Nicholson*, fig. 62, cujo corpo principal é um cylindro ôco de latão terminado em

cones: o inferior suspende uma pyramide conica lastrada com a base concava e voltada para cima; o superior tem uma haste com um prato na extremidade e um traço a certa altura, denominado *ponto de afflora-mento*. Faz-se fluctuar o areometro na agua e collocam-se no prato os pesos A necessarios para que o instrumento mergulhe até ao traço; depois tiram-se os pesos, colloca-se um fragmento do corpo no mesmo prato e os pesos P necessarios para que o areometro mergulhe da mesma quantidade: é claro que a differença $A-P$ é o peso do corpo.

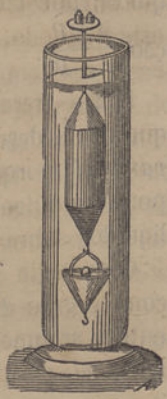


Fig. 62

Por este motivo, isto é, porque o apparelho mede os pesos dos corpos, recebeu o nome de *areometro-balança*.

Para determinar a perda de peso do corpo na agua, isto é, o peso de um volume d'este liquido egual ao volume do corpo, colloca-se este sobre a base do cone inferior, o que faz com que o instrumento mergulhe menos, e collocam-se no prato superior os pesos P' necessarios para o areometro mergulhar até ao traço: a relação $\frac{A-P}{P'}$ é a densidade do corpo solido.

O instrumento permitte tambem a determinação da densidade dos corpos menos densos que a agua; para isso inverte-se a pyramide conica inferior, e colloca-se o corpo debaixo da sua base concava.

2.º *Corpos liquidos.*—Na determinação da densidade dos liquidos emprega-se o *areometro de Fahrenheit*, que só differe do antecedente em ser de vidro, para não ser atacado pelos liquidos.—Pesa-se o areometro n'uma balança e acha-se o peso A: mergulha-se no liquido cuja densidade se pretende determinar, e collocam-se no prato os pesos P necessarios para o fazer mergulhar até ao traço; é claro que $A+P$

é o peso do systema fluctuante, e portante do volume de liquido deslocado: faz-se a mesma operação na agua e acha-se o peso P'; $A+P'$ é o peso de um egual volume d'este liquido; por tanto a densidade do primeiro é egual á relação $\frac{A+P}{A+P'}$.

172.—**Areometros de volume variavel.**—Os dois areometros que ficam descriptos chamam-se *de volume constante e peso variavel;* porque se fazem mergulhar sempre até ao mesmo ponto, ajuntando-lhes pesos, que variam com os solidos e liquidos sobre que se opera.

Com o fim não só de medir a densidade dos liquidos, como o grau de concentração das dissoluções, empregam-se outros areometros denominados de *peso constante e volume variavel;* porque não se sobrecarregam de pesos nos liquidos de diversas densidades. São completamente de vidro, e constam geralmente de um tubo estreito ligado a um corpo cylindrico ou espherico, e este terminado por uma esphera lastrada. A fig. 63 representa duas fórmas d'estes areometros.

Fig. 63

O seu nome varia com o seu destino: assim o *lactometro* ou *pesa-leite*, serve para apreciar a qualidade do leite e a quantidade d'agua que tem; o *pesa-mosto* serve para os vinhos, etc.

Como exemplos d'esta especie de areometros descrevemos *os areométros de Baumé e o alcoometro de Gay-Lussac.*

173.—**Areometros de Baumé.**—Os areometros de Baumé graduam-se de differente modo, conforme se destinam para avaliar o grau de concentração das dissoluções mais densas que a agua, ou menos densas. Os primeiros, conhecidos pelas denominações de *pesa-acidos*, ou *pesa-saes*, lastram-se de modo que introduzidos em agua pura mergulhem até a

parte superior da haste, e ahi marca-se o zero da escala; mergulham-se depois em uma dissolução de 15 partes de sal marinho e 85 d'agua, e marca-se 15 no ponto de affloramento; divide-se o intervallo em 15 partes eguaes e continuam-se as divisões até á extremidade inferior da haste.

Os outros areometros de Baumé, conhecidos pela denominação de *pesa-espiritos*, ou *pesa-licôres*, lastram-se de modo que só mergulhem até á parte inferior da haste n'uma dissolução de 10 partes de sal marinho e 90 d'agua, e no ponto de affloramento marca-se zero; introduzem-se depois em agua pura e no ponto de affloramento marca-se 10; divide-se o intervallo em 10 partes eguaes, e prolongam-se as divisões até á extremidade superior da haste.

174.—**Alcoometro centesimal de Gay-Lussac.**—Este instrumento tem a fórma dos areometros de Baumé, e de qualquer areometro de volume variavel, com a differença de ser a haste mais comprida e de menor diametro. É destinado especialmente para determinar a porção de alcool absoluto contido n'um liquido composto de agua e alcool, e para este fim não se póde graduar como os outros areometros, porque da mistura d'aquelles liquidos resulta sempre uma contracção (18).

O alcoometro, denominado *centesimal*, porque indica quantos por cento de alcool existe no liquido, gradua-se da maneira seguinte: lastra-se de modo que mergulhado em alcool absoluto o ponto de affloramento fique na extremidade superior da haste, e ahi marca-se 100, e que em agua pura mergulhe só até á extremidade inferior, onde se marca 0; mergulha-se depois successivamente em liquidos contendo, em volume, 10, 20, 30,... por cento de alcool, e marca-se 10, 20, 30,... nos pontos de affloramento; e dividem-se, por ultimo, os intervallos entre cada dois pontos em 10 partes eguaes.

Feito isto na temperatura de 15°, o instrumento dá, n'esta temperatura, a quantidade em volume de alcool puro con-

tido em volumes conhecidos da mistura de agua e alcool. Em outras temperaturas não serve directamente o instrumento, porque variam muito os volumes, e é preciso fazer correcções; as quaes se dispensam porém usando das tabellas de duas entradas de Gay-Lussac, por meio das quaes dada a temperatura e lida a indicação do alcoometro, se acha o resultado que se pretende. Passar aos paragraphos 1 e 2 do Appendice.

CAPITULO VII

DOS GAZES

I.—Propriedades particulares dos gazes

175.—**Caracteres dos gazes.—Gazes permanentes e não permanentes.**—Os gazes são perfeitamente semelhantes aos liquidos, quanto á sua constituição, isto é, as suas moleculas são perfeitamente moveis; differem porém d'elles em serem dotados de *expansibilidade* e grande *compressibilidade*.

A grande compressibilidade dos gazes foi já demostrada com o *fusil d'ar* (24); a sua *tensão* ou *força elastica* demonstra-se com a experiencia descripta no numero seguinte.

Os gazes sendo fortemente comprimidos e resfriados passam ao estado liquido, e depois ao estado solido; póde-se dizer que esta lei é geral, porque ha apenas cinco gazes que não teem sido liquifeitos, e dos que se teem reduzido a liquidos apenas seis não se poderam solidificar: e isto provém sem duvida da imperfeição dos meios de que actual-

mente se dispõe. Já n'outro logar dissemos que os estados de aggregação não caracterisam os corpos (12); por tanto é impropria a classificação dos gazes em *permanentes* e *não permanentes*.

176.—**Expansibilidade dos gazes.**—Esta propriedade dos gazes manifesta-se pelo augmento successivo do seu volume, quando a isso não obsta uma pressão externa. Demonstra-se a existencia da *força elastica* ou *tensão* dos gazes com uma bexiga completamente fechada, contendo uma pequena porção d'ar ou de qualquer gaz, e alliviando a pressão atmospherica que se exerce sobre ella; porque se vê a bexiga inchar, tanto mais quanto mais se diminue a pressão. Allivia-se a pressão sobre a bexiga, collocando-a debaixo da campanula da machina pneumatica e rarefazendo o ar.

Deixando entrar o ar para a campanula, a bexiga readquire o volume primitivo.

Explica-se hoje a expansibilidade dos gazes, admittindo que as suas moleculas são perfeitamente elasticas e dotadas de movimento muito rapido em todas as direcções.

Apesar da expansibilidade os gazes são attraídos pela terra, isto é, são pesados (87); é em consequencia d'esta propriedade que elles se podem transvasar, como os liquidos. Os gazes exercem, por conseguinte, duas especies de pressões, umas devidas ao seu peso, outras á sua expansibilidade.

177.—**Principio de Pascal applicado aos gazes.**—O principio de Pascal applica-se aos gazes, por isso que estes corpos são compressiveis e elasticos e as suas moleculas gozam de perfeita mobilidade. Pelo mesmo motivo todas as consequencias do principio de Pascal são applicaveis aos gazes, com a pequena differença que resulta da sua pequena densidade e da sua expansibilidade. Assim, por ex., dois gazes contidos no mesmo espaço, ou em espaços communicantes, não satisfazem á condição do equilibrio dos liquidos sobrepostos; bem ao contrario, o equilibrio só tem logar quando os ga-

zes se teem misturado completamente até que a pressão da mistura seja em todos os pontos a mesma.

178.—**Principio de Archimedes applicado aos gazes.—Baroscopio.**—Conclue-se do que dizemos no numero antecedente que o principio de Archimedes é tambem applicavel aos gazes, isto é, que os corpos n'elles mergulhados soffrem uma impulsão debaixo para cima egual ao peso dos gazes deslocados.

Demonstra-se este principio com o *baroscopio*, fig. 64, que consta de um travessão de balança suspendendo nas extremidades duas espheras muito deseguaes, a maior ôca e a menor massiça, que se equilibram no ar. Introduzindo este apparelho debaixo da campanula da machina pneumatica e fazendo o vacuo, o travessão inclina-se para o lado da esphera maior, o que prova que é mais pesada; porém é equilibrada pela outra no ar, porque perde mais peso mergulhada n'este fluido.

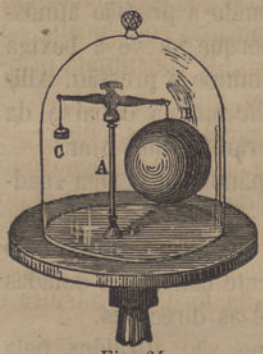


Fig. 64

Em consequencia da impulsão do ar, o peso determinado com a balança não é verdadeiro, nem constante; por isso que os corpos perdem uma parte do seu peso, a qual é variavel com todas as circumstancias que modificam a densidade do ar.

II.—Pressão atmospherica.—Barometros

179.—**Atmosphera: sua composição.**—A *atmosphera* é o envolucro gazoso em contacto com a terra, que acompanha em todos os seus movimentos, e cujas camadas sobrepostas se elevam além das mais altas montanhas. É constituida principalmente pela mistura de dois gazes, um —*o oxygenio*— proprio para a respiração e para as combustões, outro —*o azote*— improprio para estes phenomenos, desempenhando porém o importante mister de moderar a acção energica do primeiro; além d'estes dois gazes ha tambem na atmosphera pequenissimas porções de acido carbonico e de vapor d'agua e traços de outros gazes: o gaz resultante d'esta mistura é o *ar*.

As analyses mais exactas dão a seguinte composição á atmosphera, em volume representado por 100: oxygenio 20,8; azote 79,2; acido carbonico 4 a 6 decimas millesimas, e vapor d'agua 6 a 9 decimas millesimas.

180.—**Altura da atmosphera.**—A atmosphera acompanhando a terra nos seus movimentos é necessariamente limitada, e este limite deve depender da relação entre a força de attracção da terra, que diminue muito com a distancia, e a força centrifuga, que é proporcional a esta distancia; porém se culculassemos o limite por esta consideração, isto é, procurando a distancia em que estas duas forças são eguaes, achariamos um valor excessivamente grande, e muitissimo superior ao que é geralmente admittido por outra ordem de phenomenos.

O limite admittido é de 50 a 60 kilometros.

É claro que n'este limite o ar atmospherico deve ter uma camada sem força expansiva; aliás esta camada perder-se-hia no

espaço, deixando livre da pressão superior uma outra camada, que a seu turno se despersaria tambem, e o mesmo deveria acontecer a toda a atmosphera. Comprehende-se sem difficuldade a existencia de uma camada limite sem força expansiva, advirtindo que esta força expansiva decresce muito com a densidade, e que a densidade das camadas atmosphericas decresce tão rapidamente com a altura que de certo será pequenissima a 50 ou 60 kilometros: além d'isso a baixa temperatura dos espaços contribue tambem efficazmente para a quasi nulla força expansiva.

Sendo isto assim basta para que a ultima camada fique em equilibrio, limitando a atmosphera, que o seu pequeno peso contrabalance a fraca força repulsiva da camada immediatamente inferior.

181.—**Pressão atmospherica.**—Já demonstramos que o ar é attraído pela terra —é pesado—; por conseguinte exerce pressão sobre a superficie dos corpos.

Como consequencia do principio de Pascal podemos dizer que, no caso de equilibrio, a pressão é a mesma em todos os pontos da mesma camada horisontal: é por este motivo que a pressão sobre os corpos contidos em uma casa é egual á que se exerce sobre os que estão ao ar livre; porque ha sempre communicação entre o exterior e o interior.

Entende-se por *pressão atmospherica* o peso de um cylindro de ar com a altura da atmosphera e com a base egual a um centimetro quadrado.

182.—**Experiencias que demonstram a existencia da pressão atmospherica.**—As experiencias seguintes demonstram que a *pressão atmospherica* se exerce em todos os sentidos.

I.—*Pressão de cima para baixo.*—Emprega-se uma manga de vidro tapada superiormente com uma membrana bem tensa, e assente pela parte inferior sobre a platina da machina pneumatica. Rarefazendo o ar no interior a pressão atmospherica faz deprimir fortemente a membrana, a qual,

não podendo estender-se mais, rompe-se com um grande estampido, produzido pelo ar que se precipita rapidamente dentro do vaso. Demonstra-se tambem esta pressão com o *corta-fructas:* é um tubo metallico de bordo cortante, que se ajusta sobre a platina da machina e que se tapa com um fructo carnoso: extraindo o ar do interior, a pressão exterior obriga a descer o fructo, que assim é cortado. Reconhece-se ainda esta pressão com um tubo de bordo não cortante, a que se applica a palma da mão. N'esta experiencia os fluidos da mão dilatando-se por faltar a pressão externa, fazem inchar a mão, e o sangue tende a sair pelos poros. É este o effeito das ventosas.

II.—*Pressão lateral.*—Toma-se um frasco de vidro com uma ou mais aberturas lateraes, que se tapam para o encher d'agua; depois tapa-se a boca e abre-se uma d'estas aberturas, e vê-se que o liquido não sae. Isto não se póde attribuir senão á pressão que o ar exerce lateralmente sobre a agua. Destapando a boca do frasco, o liquido obedece ao seu peso e sae, porque a pressão atmospherica exercida na parte superior equilibra a pressão lateral.

III.—*Pressão de baixo para cima.*—Enche-se d'agua um copo, e tapa-se com um pedaço de papel, de modo que não fique bolha alguma d'ar na parte interior; volta-se o copo e a agua não cáe, não obstante o seu peso. Isto demonstra a pressão do ar de baixo para cima. Se tivesse ficado alguma porção d'ar dentro do copo, a sua força elastica neutralisaria a pressão atmospherica, e a agua cairia.

IV.—*Pressão em todos os sentidos.*—Para mostrar finalmente que o ar atmospherico exerce pressão em todos os sentidos, empregam-se dois hemispherios ôcos de latão, conhecidos pelo nome de *hemispherios de Magdeburg*, fig. 65, que se podem applicar pelos seus bordos, con-

Fig. 65

servando o vacuo no interior. Um d'elles tem um tubo com torneira, que se ajusta na machina pneumatica, e o outro termina por um annel. Em quanto os dois hemispherios, postos em contacto e ajustados um no outro, conteem ar, podem facilmente separar-se; fazendo-lhe o vacuo no interior é preciso para os separar empregar um grande esforço, porque é preciso vencer a pressão atmospherica exercida em todos os pontos da sua superficie.

É por causa da pressão atmospherica que um liquido não póde sair de um vaso por uma pequena abertura, ainda mesmo que esta se volte para o chão. É para facilitar o esgoto da agua das bilhas e dos barris, que estes teem o suspiro, e os moringues duas aberturas, para que o ar entre por uma d'ellas em quanto a agua sae pela outra. É por este motivo que as rolhas das bilhas são atravessadas por dois tubos de canna, etc.

183.—**Medição da pressão atmospherica.—Experiencia de Torricelli.**—Mergulhando em uma tina d'agua ou de mercurio um copo com a boca para baixo, e inclinando-o de modo que possa sair todo o ar, póde-se levantar o copo, sem comtudo descobrir a boca, que a agua conserva-se elevada dentro d'elle.

Fazendo esta mesma experiencia com um tubo bastante comprido, fechado em um dos extremos, e empregando o mercurio, vemos que o tubo deixa de ficar cheio, e que o liquido se conserva dentro d'elle em uma altura, que é independente do comprimento do tubo.

Esta experiencia, feita em 1643 por Torricelli, demonstra perfeitamente a existencia da pressão atmospherica, porque só ella póde equilibrar o peso do liquido elevado dentro do tubo: serviu tambem esta experiencia para nos indicar o meio de medirmos aquella pressão.

Tome-se um tubo de vidro de 90 centimetros de comprimento, fechado em uma das extremidades; encha-se de mercurio; tape-se com o dedo pollegar a extremidade aberta;

volte-se, e introduza-se aquella extremidade no mercurio de uma tina: tirando o dedo, observa-se que o liquido desce até uma certa altura, na qual se conserva. Esta altura é, termo médio, de 76 centimetros. O tubo assim disposto, fig. 66, é conhecido pela denominação de *tubo de Torricelli*.

A pressão atmospherica, ou o peso do ar sobre um centimetro quadrado, deve por tanto ser egual ao peso de uma columna de mercurio de 76 centimetros de altura e de um centimetro quadrado de base. Este peso é de $1^{k},033$[1]. Nas applicações despresa-se a fracção e considera-se a pressão atmospherica egual a um kilogramma.

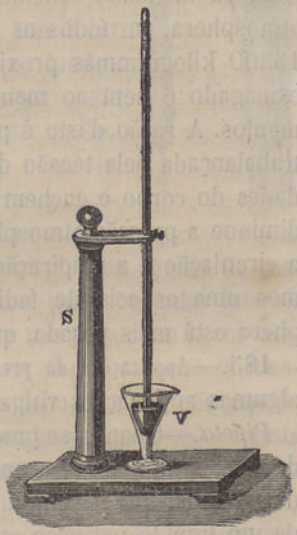


Fig. 66

A este peso dá-se o nome de *atmosphera*, e toma-se para unidade na comparação das pressões dos gazes.

Sendo a densidade da agua 13,6 vezes menor que a do mercurio, segue-se que a altura da columna d'agua capaz de equilibrar a pressão atmospherica deve ser egual a $0^{m},76 \times 13,6$, isto é, $10^{m},336$. Isto foi verificado experimentalmente por Pascal, invertendo sobre uma tina com agua um tubo de 33 pés[2].

[1] Acha-se este numero multiplicando o volume, que é 76 centimetros cubicos, pela densidade do mercurio, que é 13,59.

[2] Os fonteneiros de Florença, querendo aspirar a agua com as bombas a uma grande altura, reconheceram que ella se recusava a subir além de 32 pés: n'essa época explicava-se a subida da agua nas bombas dizendo que a natureza tinha horror ao vacuo; *non datur vacuum in rerum naturâ*. Descartes, em 1638,

184.—**Pressão sobre o corpo humano.**—Sendo de metro e meio quadrado proximamente a superficie do homem de estatura mediana, concluimos que a pressão exercida pela atmosphera, em todos os sentidos, sobre o seu corpo é de 15500 kilogrammas proximamente; e comtudo elle não é esmagado e nem ao menos incommodado nos seus movimentos. A razão d'isto é porque esta enorme pressão é contrabalançada pela tensão dos fluidos, que occupam as cavidades do corpo e enchem os tecidos. É assim que, quando diminue a pressão atmospherica, estes fluidos expandem-se, a circulação e a respiração tornam-se mais rapidas e sentimos uma especie de fadiga; dizemos então que a atmosphera está mais pesada, quando é exactamente o contrario.

185.—**Applicações da pressão atmospherica.**—Vamos indicar algumas applicações vulgares da pressão atmospherica.

Pipeta.—Quando se precisa empregar pequena quantidade de um liquido, como acontece na preparação de alguns medicamentos, que levam um numero determinado de gottas de um liquido perigoso, como o iode, o laudano, etc., serve um tubo de vidro adelgaçado n'uma extremidade e mais largo na outra, o qual se introduz por aquella no liquido, se tapa na extremidade mais larga com o dedo e se retira depois do liquido. Em consequencia da pressão atmospherica o liquido não cae, porém alliviando um pouco a pressão do dedo escapa-se uma gotta: se levantamos o dedo cae todo o liquido. Este tubo denomina-se *pipeta*.

Bomba das adegas.—A *bomba das adegas*, fig. 67, é fundada nos mesmos principios; é um tubo com um orificio

regeitou esta explicação, e attribuiu o effeito das bombas ao peso do ar. Torricelli fez a sua experiencia muitos annos depois, em 1643: no anno seguinte Pascal enchendo tubos muito compridos com diversos liquidos, agua, vinho, azeite, etc., reconheceu que elles se mantinham em alturas inversamente proporcionaes ás suas densidades.

estreito *a* na parte inferior e outro maior *o* na parte superior: aquelle introduz-se pela abertura dos toneis para tirar amostras de vinho.

O *regador magico*, fig. 68, é um tubo mais grosso com muitos orificios no fundo.

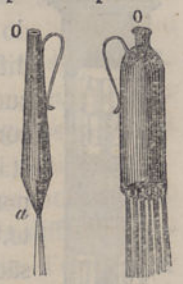


Fig. 67 Fig. 68

Tinteiros syphoides.—Nos tinteiros ordinarios a tinta gasta-se muito e estraga-se, porque está completamente em contacto com o ar e a poeira. Nos *tinteiros-syphoides* a tinta do reservatorio não está em contacto com o ar, e a pressão atmospherica regula da maneira seguinte a sua saida para um pequeno tubo lateral. A tinta gasta-se n'este tubo; baixa um pouco no reservatorio, o ar contido no seu interior rarefaz-se e torna-se incapaz de fazer sair o liquido para o tubo, porque não equilibra a pressão do ar exterior. Quando se gasta toda a tinta do tubo, penetra uma porção d'ar no reservatorio, desce o liquido d'este e sóbe no tubo.

É por um systema perfeitamente semelhante, que são alimentadas de azeite as torcidas dos candieiros de reservatorio superior e de bomba.

186.—**Barometros.**—Denominam-se *barometros* os instrumentos que medem a pressão atmospherica: esta póde ser contrabalançada pelo peso de uma columna de mercurio ou pela elasticidade de laminas metallicas; d'aqui vem a distincção de *barometros de mercurio* e *barometros metallicos:* os primeiros podem ser de *tina* ou de *syphão.*

187.—**Barometros de tina.**—Um *barometro de tina*, fig. 69, é um tubo de Torricelli (183) ligado a uma prancha de madeira sobre a qual está uma escala de centimetros e millimetros munida de nonio: o zero da escala deve corresponder á superficie livre do mercurio da tina, o qual varia com a pressão atmospherica. Para evitar os erros que d'aqui resultam basta, nos instrumentos ordinarios, empregar uma tina bastante larga.

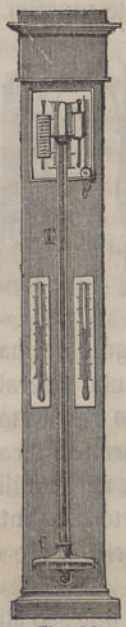


Fig. 69

O espaço vasio que fica acima do mercurio do tubo denomina-se *camara barometrica*, e a differença de nivel entre as superficies do mercurio da tina e do tubo *altura barometrica:* como a pressão se refere a uma superficie constante, o centimetro quadrado, o seu valor é proporcional ao d'esta altura, a qual, por conseguinte, a representa. D'aqui vem o dizer-se que a pressão atmospherica é de 753^{mm}, por exemplo.

188.—**Barometro de Fortin.**—O barometro ordinario de tina além de ter o inconveniente de o zero de escala não corresponder sempre á superficie do mercurio da tina, não é portatil nem commodo para se transportar sem risco de fracturar o tubo com a pancada do mercurio, e de entrar algum ar para a camara barometrica, o que é sufficiente para falsear as indicações do instrumento.

Todos estes inconvenientes estão remediados no *barometro de Fortin.* O tubo d'este barometro está protegido por um estojo metallico, que tem a escala e uma fenda longitudinal na parte superior, para se ver a extremidade da columna mercurial. A fig. 70 representa a tina e a parte inferior do tubo *T* terminando quasi capillar e ligado á tina por um pedaço de camurça. A tina é um cylindro de vidro *C*, cujo fundo está ligado a um saco de camurça *S* apoiado sobre o parafuso *V*: contra a parte superior da tina está fixa a ponta de marfim *O*, que corresponde exactamente ao zero da escala gravada no estojo do tubo. Para lêr a altura barometrica move-se o parafuso *V*, cuja porca existe no fundo do tubo *B* ligado á tina, até que a superficie do mercurio toque a ponta de marfim, o que tem logar quando a

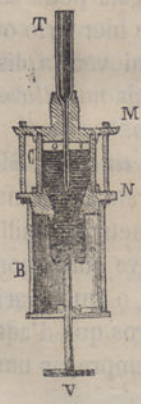


Fig. 70

sua imagem a toca; depois lê-se a escala pela maneira ordinaria. Para transportar o instrumento faz-se subir o parafuso até que o mercurio encha o tubo.

189.—**Barometros de syphão.**—Os *barometros de syphão* differem dos antecedentes na disposição do tubo, que é recurvado e composto de duas partes muito deseguaes; a maior é fechada e representa o tubo dos barometros de tina; a menor substitue esta, e por conseguinte communica com a atmosphera: a pressão atmospherica é medida pela differença de nivel do mercurio nos dois ramos. Cada um d'estes tem uma escala, cujo zero é commum e fica entre as duas superficies livres do mercurio: a somma das duas leituras dá a altura barometrica. Evita-se d'este modo a causa de erro resultante da instabilidade do nivel, e por tanto do zero das escalas dos barometros de tina.

190.—**Barometro de Gay-Lussac.**—O *barometro de Gay-Lussac* é um barometro de syphão disposto de modo que se póde transportar: para este fim é preciso invertel-o e encher completamente o tubo maior; e para evitar que, n'esta operação, passe algum ar para este tubo, os dois tubos do mesmo diametro são reunidos por uma porção capillar, que fica tambem cheia de mercurio e não deixa passar as bolhas d'ar. Este meio não é completamente seguro; porque a columna de mercurio do tubo capillar póde dividir-se por um choque violento e deixar passar o ar.

A modificação de Bunten evita completamente o risco d'esta eventualidade: o tubo maior termina por uma porção capillar *o*, fig. 71, abraçada por um alargamento *r* do tubo capillar recurvado: d'este modo se passa qualquer bolha d'ar para a dilatação d'este tubo fica ahi retida quando se inverte o instrumento.

Fig. 71

Este barometro é ainda mais commodo que o de Fortin; porque pesa muito menos; porém os viajantes preferem este porque é menos fragil e mais

sensivel, visto que nos barometros de syphão os deslocamentos dos niveis de mercurio são apenas metade das variações da altura barometrica.

191.—**Condições a que devem satisfazer os barometros de mercurio.**—Para que estes barometros deem indicações exactas devem satisfazer ás condições seguintes:

1.ª *O mercurio deve ser puro;* porque se contém algumas impurezas, a altura da columna barometrica não indica o valor da pressão do ar.

2.ª *A camara barometrica deve ser vacuo perfeito;* porque existindo n'ella qualquer porção de gaz, a sua tensão equilibra parte da pressão atmospherica.

3.ª *A escala deve ser vertical,* aliás não mede a differença de nivel das superficies do mercurio na tina e no tubo.

As duas primeiras condições realisam-se na preparação do tubo, o qual é lavado com acido azotico e depois com agua, e afinal bem dessecado e fechado á lampada n'um dos extremos. O tubo assim preparado enche-se pouco a pouco de mercurio purificado, que se faz ferver para expulsar a humidade e as bolhas d'ar, adherentes ás suas paredes.

A ultima condição consegue-se com a suspensão do instrumento.

192.— **Correcção das alturas barometricas.**—O mercurio, assim como todos os corpos, dilata-se quando augmenta o calor, contrae-se quando diminue; por tanto a mesma pressão é dada no primeiro caso por uma altura maior que no segundo: d'aqui vem a necessidade de referir todas as pressões a uma temperatura fixa, que é a de zero de graus, a qual adiante definimos.

O effeito da variação de temperatura faz-se sentir tambem sobre a substancia da escala, cujas divisões mudam de extensão, variando, por conseguinte, o numero comprehendido n'uma altura dada. Este numero diminue quando a temperatura augmenta, e vice-versa: por tanto esta correcção é contraria á primeira.

É para fazer com mais rigor a *correcção da temperatura* que os barometros são sempre acompanhados de *thermometros*, isto é, de instrumentos que dão a temperatura.

Além d'esta correcção é preciso attender ao effeito da capillaridade, que faz deprimir o mercurio, e por tanto diminuir a columna barometrica. Foi para evitar esta correcção que se imaginaram os barometros de syphão; porém como o mercurio está em um dos ramos em presença do ar, a depressão não é a mesma em ambos, e a correcção não deve dispensar-se: melhor é empregar tubos de grande diametro, para que a depressão seja inapreciavel.

Ha tabellas que permittem fazer promptamente as duas correcções.

193.—**Barometros metallicos.**—Tem-se construido barometros sem mercurio, fundados na elasticidade dos metaes: descrevemos o barometro de *Bourdon* e o *barometro aneroide*.

O *barometro metallico de Bourdon*, fig. 72, consta de um tubo *a m b* hermeticamente fechado e sem ar, cuja secção se

Fig. 72

Fig. 73

vê em *R*, dobrado em circulo e preso pela parte média no interior de uma caixa: os extremos estão articulados com

uma alavanca, presa a um sector dentado *r*; nos dentes d'este prendem os de uma pequena roda, que é o meio de um ponteiro *e*.

D'esta fórma, faltando o ar no interior do tubo, a pressão atmospherica equilibra a elasticidade d'este; quando a pressão diminue, o tubo desdobra-se um pouco, os seus extremos afastam-se e fazem mover o ponteiro para a esquerda; o contrario acontece quando a pressão augmenta. O ponteiro caminha sobre um arco graduado por comparação com um barometro de mercurio.

O *barometro aneroide* ou *holosterico*, fig. 73, é analogo ao precedente quanto ao fundamento; porém differe d'elle porque em logar do tubo é uma caixa circular *B* de paredes delgadas, e de faces canneladas para serem muito flexiveis, que cede á pressão atmospherica; porque se lhe fez o vacuo no interior: esta caixa transmitte os seus movimentos ao ponteiro por meio da mola de aço *R* e das alavancas *l*, *l'*. O barometro indica 750^{mm}: o ponteiro que marca 757^{mm} é movido á mão e serve para regular a variação de pressão durante certo tempo, collocando-se para esse fim sobre o primeiro ponteiro no principio d'este intervallo de tempo. Este instrumento é de grande sensibilidade e proprio para gabinete.

194.—**Variações da pressão atmospherica.**—A pressão atmospherica n'um logar não apresenta sempre o mesmo valor; não só este valor varía de dia para dia, mas varía tambem durante o dia. Estas variações são de duas especies; umas *irregulares* ou *accidentaes*, porque não seguem lei conhecida; outras perfeitamente *regulares*, observadas no decurso de cada dia, e por isso mesmo conhecidas pelo nome de *variações diurnas*. Estas parece dependerem da marcha do sol. No mesmo dia ha, em geral, dois maximos e dois minimos a horas determinadas e invariaveis.

Em Lisboa, na altitude de $94^{m},3$ a pressão atmospherica média de 17 annos (1856 a 1872) é de $755^{mm},41$. Ao ni-

vel do mar é de $764^{mm},32$, média de 8 annos (1856 a 1863).

Costuma-se tomar para *altura normal do barometro* 760^{mm}; com tudo a média geral das pressões ao nivel do mar em todas as latitudes é um pouco superior a este numero.

195.—**Usos do barometro.—Indicação do tempo.**—O barometro, além de ser indispensavel em um grande numero de experiencias em que se precisa do valor da pressão atmospherica, serve muitas vezes com vantagem para medir a differença de nivel de dois logares, e as altitudes, com o auxilio de formulas apropriadas.

Serve tambem o barometro para indicar as mudanças provaveis do tempo: é com este fim que ao lado da escala estão as expressões *muito secco, seguro, bom tempo, variavel, chuva ou vento, muita chuva e tempestade.*

Pretende-se justificar o emprego d'estas expressões, porque, nos nossos climas, o barometro marca mais de 758 millimetro durante o bom tempo, e menos durante a chuva; e porque quando, durante certo numero de dias, indica 758 millimetros ha, termo médio, tantos dias bons quantos maus. Baseada n'esta correspondencia observada entre a altura do barometro e o estado do ceu, fez-se a escala seguinte, contando de nove em nove millimetros acima e abaixo de 758:

Altura em millimetros	Estado da atmosphera
785.....	Muito secco
776.....	Seguro
767.....	Bom tempo
758.....	Variavel
749.....	Chuva ou vento
740.....	Muita chuva
731.....	Temporal

Note-se porém que esta escala é o resultado de antigas observações feitas em Paris, e que as coincidencias geralmente observadas entre as mudanças de tempo e as variações do barometro dependem da posição especial do continente europeu, como adiante explicamos.

Só podemos certificar que as indicações do barometro são muito provaveis quando sóbe ou desce lentamente, isto é, durante dois ou tres dias; no primeiro caso indica bom tempo, e no segundo chuva: os movimentos rapidos, tanto de descida como de subida, presagiam mau tempo.

III.—Compressibilidade dos gazes—Manometros

196.—**Lei de Mariotte.**—A lei que regula a compressibilidade dos gazes, devida a Mariotte, enuncia-se da maneira seguinte: *os volumes que um gaz apresenta a uma temperatura constante, quando se submette a differentes pressões, estão na razão inversa das pressões.*

Assim sendo V e V' os volumes do mesmo gaz sob as pressões P e P', temos $\frac{V}{V'}=\frac{P'}{P}$. D'esta proporção tira-se $PV=P'V'$, o que permitte enunciar a lei dizendo que, *é constante o producto do volume de um gaz pela pressão que supporta.*

E como para as mesmas massas os volumes estão na razão inversa das densidades (23), sendo d e d' as densidades correspondentes aos volumes V e V', temos $\frac{d}{d'}=\frac{V'}{V}$. Combinando esta proporção com a primeira conclue-se $\frac{P}{P'}=\frac{d}{d'}$. Assim, como consequencia da lei de Mariotte,

póde-se dizer que, *as densidades de um gaz submettido a differentes pressões são directamente proporcionaes a estas pressões.*

197.—**Demonstração da lei de Mariotte.** —Mariotte demonstrou a lei para pressões maiores que uma atmosphera com um tubo recurvado de ramos muito deseguaes fig. 74, sendo o menor fechado e o maior aberto: este tubo é ligado a uma prancha de madeira; a partir de um traço commum o ramo menor está dividido em partes de egual capacidade, e o maior está graduado em centimetros e millimetros. Faz-se a demonstração deitando mercurio pelo ramo aberto até subir em ambos ao traço commum, o que se consegue com algumas tentativas: d'este modo fica encerrada no ramo menor uma porção de ar, que soffre a pressão da atmosphera. Deitando mais mercurio até que a differença de nivel nos dois ramos seja de 76 centimetros, reconhece-se que o volume do ar se reduziu a metade, e n'este caso soffre evidentemente a pressão de duas atmospheras, uma da atmosphera outra da columna de mercurio. Se o tubo tem dimensões sufficientes póde-se reduzir o volume do ar a um terço, deitando o mercurio até estabelecer uma differença de nivel egual a duas vezes 76 centimetros. E assim fica demonstrada a lei para este caso.

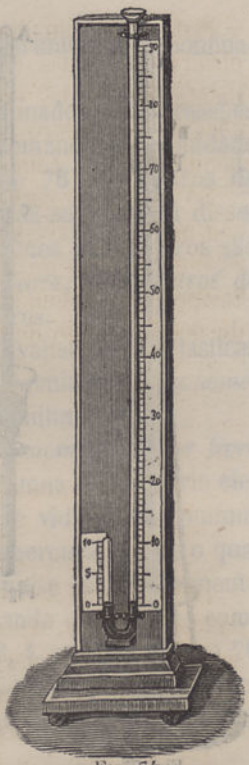


Fig. 74

Para fazer a demonstração no caso em que o ar se dilata, isto é, para pressões menores que uma atmosphera, emprega-se o apparelho representado na fig. 75: é uma tina *PM*, ou vaso de vidro prolongado no fundo em fórma de tubo, que se

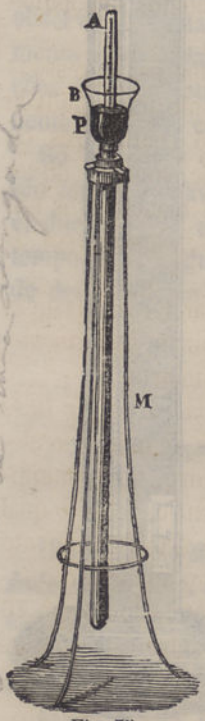


Fig. 75

Fig. 76

enche de mercurio, no qual se mergulha um tubo recto graduado. Este tubo recebe mercurio e uma pequena porção de ar, e volve-se sobre a tina. Elevando-o ou baixando-o até que o nivel do mercurio n'elle contido coincida com a superficie livre do mercurio da tina, temos a certeza que o ar soffre a pressão da atmosphera: feito isto nota-se o seu volume *AB*. Depois eleva-se o tubo, fig. 76, para que o ar possa occupar maior volume; vê-se elevar-se tambem o mercurio dentro do tubo, e quando a columna levantada *CD* é egual a metade de 76 centimetros, reconhece-se que o volume *AC* do ar é duplo do primitivo, e a pressão que soffre é de meia atmosphera; porque esta columna de mercurio equilibra a outra meia. Levantando mais o tubo até que a columna de mercurio attinja a altura de dois terços de 76 centimetros, a pressão que soffre o ar é apenas de um terço de atmosphera, e o seu volume é triplo do primitivo, etc.

Esta lei, assim demostrada grosseiramente, foi durante muito tempo julgada absolutamente verdadeira; hoje está provado, por experiencias muito rigorosas, que ella se afasta um pouco da verdade, porém tão pouco, que se continúa a aceitar e a applicar na pratica.

198.—**Manometros.**—Os barometros empregam-se na determinação das pressões do ar livre: quando se quer medir a força elastica do ar, ou de qualquer gaz contido em es-

paço fechado, empregam-se outros instrumentos denominados *manometros*.

A graduação dos manometros, destinados para pressões superiores á da atmosphera, é feita tomando para unidade a pressão correspondente á altura de 76 centimetros de mercurio, ou $1^k,033$: a esta unidade dá-se, como já dissemos (183), o nome de *atmosphera*. Estes manometros são de tres especies: *manometros de ar livre; manometros de ar comprimido, e manometros metallicos*.

Os manometros, que servem para avaliar forças elasticas inferiores á pressão atmospherica, denominam-se *manometros de rarefação*, e graduam-se em millimetros.

199.—**Manometro de ar livre.**—O *manometro de ar livre* mede a pressão pelo peso de uma columna de mercurio elevada dentro de um comprido tubo de vidro, que communica com uma tina de ferro cheia de mercurio, sobre o qual actua directamente a pressão. Gradua-se este instrumento marcando 1 no nivel do mercurio, quando o apparelho communica com o ar livre, e depois 2, 3, 4, etc., de 76 em 76 centimetros. Os espaços comprehendidos entre estes numeros dividem-se em 10 partes eguaes, e representam decimas de uma atmosphera.

Este instrumento não serve para grandes pressões, superiores a 5 ou 6 atmospheras; porque exige um tão grande comprimento de tubo, que o torna incommodo e fragil.

200.—**Manometro de ar comprimido.**—Os manometros de ar comprimido podem ser rectos ou de syphão. Os primeiros fig. 77, constam essencialmente de um vaso de vidro com mercurio, no qual mergulha um tubo *T* não muito comprido fechado superiormente e contendo uma certa porção d'ar secco. O vaso de vidro, que é a tina do manometro, protege-se com um cylindro de bronze *C*, e é posto em communicação com o espaço onde existe o gaz, por intermedio de um tubo *a* com torneira *r*: o tubo manometrico é tambem protegido por um envolucro metallico.

Os manometros de syphão constam de um tubo curvo, posto em communicação com o gaz por uma torneira estabelecida na extremidade aberta: este tubo tem uma porção de mercurio em ambos os ramos e ar secco no ramo fechado.

Graduam-se os manometros de ar comprimido pelo calculo, partindo da lei de Mariotte, ou praticamente por comparação com um manometro d'ar livre.

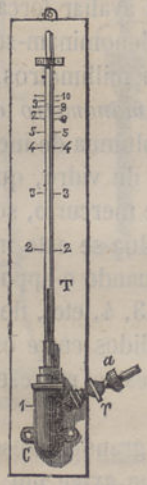


Fig. 77

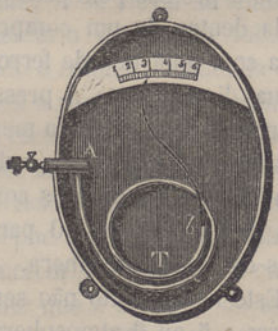


Fig. 78

201.—**Manometres metallicos.**—D'entre os differentes manometros metallicos, todos fundados na elasticidade de flexão, descrevemos apenas o de Bourdon, por ser o mais geralmente empregado. Consta, fig. 78, de um tubo de latão *T* de secção elliptica, enrolado em espiral, fixo por uma das extremidades *A*, que se põe em communicação com o espaço ende está o gaz, por intermedio de um pequeno canal e nma torneira, e livre na outra extremidade *b*, prolongada em fórma de ponteiro e movel sobre um arco gra-

duado, em atmospheras, por comparação com um manometro de mercurio.

Este instrumento tem pequeno volume e é pouco fragil; por isso se emprega nas machinas de vapor.

202.—**Manometro de rarefação.**—O *manometro de rarefação* é um tubo de vidro em fórma de *U*, com um ramo fechado e o outro aberto, contendo mercurio que, em virtude das pequenas dimensões do tubo, enche o primeiro, em quanto a pressão exercida no outro não é muito pequena. A differença de nivel do mercurio nos dois ramos do manometro, quando o liquido desce no ramo fechado, mede a tensão do gaz contido no espaço em communicação com o instrumento. Se esta tensão é inferior a um millimetro não se póde apreciar com o mercurio, e substitue-se este liquido por acido sulfurico concentrado.

IV.—Machinas de rarefazer e comprimir os gazes

203.—**Machina pneumatica ordinaria.**—As *machinas pneumaticas*, fundadas na elasticidade e espansibilidade do ar, são apparelhos cujo fim é extrair o ar de um vaso ou de qualquer espaço fechado.

As machinas ordinarias, fig. 79, constam de dois cylindros *C*, *C*, ou corpos de bomba, assentes n'uma base metallica, postos em communicação entre si por canaes que partem da sua base e vão reunir-se no centro em um canal que lhes é perpendicular, conhecido pela denominação de *canal de aspiração;* este canal termina em rôsca e abre-se no centro de um disco *P*, a que se dá o nome de *platina* da machina, sobre a qual se ajusta uma campanula *R* que é o *recipiente*. Em cada um dos cylindros move-se um embolo, for-

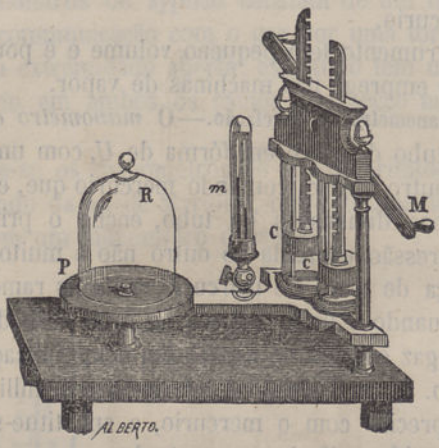


Fig. 79

mado de muitas rodelas de coiro, fortemente apertadas e muito justas ao cylindro, como se vê na fig. 80, que representa um córte vertical segundo o eixo dos cylindros: o seu centro é aberto e munido de valvula de mola *i*, que se abre de baixo para cima; os dois embolos movem-se em sentido contrario, por meio de uma manivella *MN*, que dá movimento alternativo a um carrete dentado *x*, a que prendem as suas hastes dentadas *H* e *K*: d'este modo quando um desce sóbe o outro.

Os orificios das bases dos cylindros são de fórma conica, e n'elles ajustam perfeitamente uns cones *s*, *s*, ligados aos extremos de hastes metallicas *a*, que atravessam os embolos com grande attrito; estas hastes saem pela parte superior dos cylindros, mas teem no interior d'estes um engrossamento que lhes limita o movimento. Esta disposição de *valvulas* tem por fim abrir a communicação com o recipiente, quando o embolo começa a subir, e fechal-a tão depressa começa a descer.

No canal de aspiração ha uma torneira *R*, representada

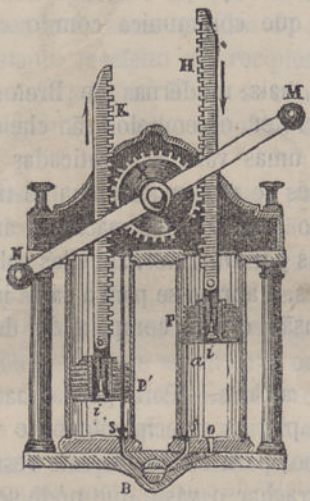


Fig. 80

na fig. 81, e que é notavel; por isso que permitte estabelecer ou interceptar a communicação dos cylindros com o recipiente, e, além d'isso, póde estabelecer a communicação da atmosphera com qualquer d'estas capacidades. Tem um canal rectilineo *C* perpendicular ao plano da figura, e um outro curvo *ob*, que se póde fechar com a rolha metallica *b*. Com a posição da figura, a torneira intercepta todas as communicações; porém tirando a rolha *b*, estabelece-se a communicação do recipiente com a atmosphera. Dando á torneira uma rotação de 90°, o canal *C* põe em communicação o recipiente com os cylindros: fazendo-a girar no mesmo sentido de outros 90°, e tirando a rolha, fazem-se communicar os cylindros com a atmosphera.

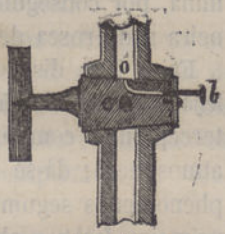


Fig. 81

O grau de rarefacção do ar no recipiente aprecia-se com um *manometro de rarefacção* encerrado n'um tubo de vidro *m*, fig. 79, que communica com o canal de aspiração.

Nas machinas mais modernas de Breton fréres, assim como nas de Ducrétet, os embolos são cheios e a expulsão do ar faz-se por umas valvulas praticadas nos fundos dos cylindros, as quaes se podem examinar e tirar muito facilmente, o que não acontece nas machinas antigas. Nas machinas construidas por Ducrétet, aquellas valvulas fecham-se por molas espiraes, e abrem-se para a parte inferior, cedendo estas molas á tensão do ar comprimido debaixo dos embolos.

204.—**Jogo da machina.**—Para pôr a machina em acção ajusta-se sobre a platina o recipiente ou o vaso em que se quer fazer o vacuo; para conseguir este resultado é preciso muitas vezes atarrachar o vaso, que póde ser tubular, á extremidade do canal de aspiração, e então não serve nem a platina nem o recipiente da machina: o vaso ou tubo termina, por conseguinte, em virola metallica munida de torneira e de rosca de parafuso.

Feito isto, dispõe-se a torneira *R* de modo que estabeleça a communicação entre os cylindros e o recipiente, interceptando com a rolha *b* toda a communicação com a atmosphera; dá-se movimento á manivella e passam-se os phenomenos seguintes: desce um embolo, sóbe o outro; o primeiro fecha a abertura inferior, e por conseguinte o ar que está debaixo d'elle não póde ir para o recipiente, é fortemente comprimido, levanta a valvula do embolo e perde-se na atmosphera; pelo contrario, o segundo embolo abre a communicação inferior e permitte que o ar do recipiente se espalhe no espaço, que elle deixa debaixo de si. Dando movimento á manivella em sentido contrario, o primeiro embolo sóbe e o segundo desce; por conseguinte passam-se os mesmos phenomenos, porém em corpos de

bomba diversos: o 1.º recebe ar do recipiente, o 2.º expulsa para a atmosphera o ar que tinha recebido. D'este modo comprehende-se como no fim de algum tempo o ar tenha sido bastante rarefeito no recipiente: o calculo demonstra que jámais por esta fórma se consegue extrair todo o ar; por conseguinte o vacuo absoluto não se póde assim alcançar.

205.—As machinas ordinarias mais perfeitas, com o fim de levar mais longe o grau de rarefacção do ar, teem uma torneira entre os dois cylindros e em correspondencia com o canal de aspiração: esta torneira tem dois canaes differentes, um dos quaes permitte a communicação dos cylindros, quando ella não deve servir, e o outro permitte, movendo a torneira de 90º, estabelecer a communicação dos cylindros entre si, interceptando porém a communicação de um d'elles com o recipiente: d'este modo o ar é accumulado n'este cylindro até adquirir tensão sufficiente para levantar a valvula do embolo e perder-se na atmosphera.

Esta disposição é devida a Babinet, por isso a torneira é conhecida pelo nome de *torneira de Babinet.*

206.—**Machina de Bianchi.**—As machinas pneumaticas ordinarias são substituidas com vantagem pelas machinas de Bianchi, as quaes, completamente fabricadas de ferro fundido, se tornam susceptiveis de terem maiores dimensões, e de serem empregadas para fazer promptamente o vacuo em apparelhos de grande capacidade.

As machinas de Bianchi teem só um cylindro; porém disposto de modo que desempenha o papel dos dois cylindros das machinas ordinarias, porque exgota o ar tanto na subida como na descida do embolo. A fig. 82 indica a disposição do cylindro, do embolo, das valvulas e do canal de aspiração. A haste do embolo é articulada a uma manivela, que recebe movimento de rotação de uma grande roda, que se move á mão: d'este modo, para ceder aos movimentos lateraes da manivella, o cylindro é oscillante em

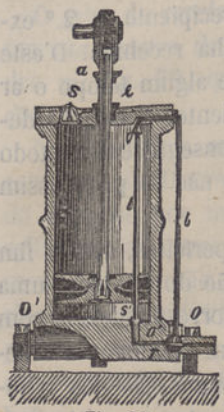


Fig. 82

torno dos munhões *O* e *O'* collocados na base. O primeiro d'estes munhões *O* é furado e põe o cylindro em communicação com o recipiente, por intermedio do tubo *l* e de uma das aberturas *o* e *o'*, fechadas e abertas alternadamente pela haste *t* movida pelo embolo. O embolo tem a valvula *s'*, que se abre de baixo para cima e que permitte a saída do ar inferior por um tubo praticado na sua haste: a valvula *s*, que se abre tambem de baixo para cima, serve para dar saída ao ar superior ao embolo. N'uma pequena tina *a* deita-se azeite, que desce por um espaço annelar da haste do embolo, espalha-se n'um tubo praticado na massa d'este e chega a uma gola do seu contorno.

É muito facil comprehender agora o jogo d'esta machina: quando o embolo desce, desce a haste *t*, que fecha o orificio *o'* abrindo o orificio *o*; por tanto o ar do recipiente espalha-se sobre o embolo; ao mesmo tempo que este comprime o ar inferior, o qual levanta a valvula *s'* e perde-se na atmosphera: quando o embolo sóbe, fecha-se o orificio *o* e abre-se *o'*, o ar do recipiente entra para a parte inferior do embolo e o que está em cima, sendo comprimido, levanta a valvula *s* e sae para a atmosphera.

Em *r* póde collocar-se uma torneira de Babinet, que estabeleça a communicação do recipiente apenas com a parte inferior do corpo de bomba, ao mesmo tempo que communique esta com a parte superior. D'este modo leva-se muito mais longe a rarefacção.

207. —**Experiencias feitas com a machina pneumatica.—Applicações d'esta machina.**—Temos já descripto muitas experiencias em que se torna indispensavel a machina pneumatica: taes são por ex. as que se fazem para demonstrar a porosidade

(18); para demonstrar que os gazes são pesados (87): para demonstrar que todos os corpos caem no vacuo com a mesma velocidade (105); para tornar evidente a expansibilidade dos gazes (176), finalmente para mostrar que o ar exerce pressão em todos os sentidos (182).

Serve a machina pneumatica para demonstrar que o ar é preciso para as combustões e para a vida: assim introduzindo uma véla accesa debaixo do recipiente da machina e extraindo o ar, a vela apaga-se, e o fumo em logar de subir, desce immediatamente. Introduzindo um pequeno animal asphixia-se e morre, etc.

A experiencia do *repuxo no vacuo* póde fazer-se collocando debaixo de um recipiente de fórma especial, isto é, muito alto e estreito, um pequeno vaso contendo alguma agua, e sendo a sua bôca rolhada e atravessada por um tubo que mergulhe no liquido. Fazendo o vacuo vê-se repuxar a agua, o que se explica pela força elastica do ar contido no vaso, a qual, predominando sobre a do ar exterior, permitte a sua expansão e obriga o liquido a sair.

A industria faz frequentes applicações da machina pneumatica. Emprega-a, por ex.; para facilitar e activar a evaporação dos xaropes; para attrair e fazer passar através dos tecidos o gaz inflammado destinado a chamuscal-os; e para aproveitar a pressão atmospherica como motor nos *caminhos de ferro atmosphericos*. N'estes está estabelecido entre os rails um tubo em que se movem os embolos ligados a um wagon: fazendo o vacuo adiante d'aquelles, a pressão atmospherica exercida do lado opposto impelle os embolos e por tanto o wagon. Esta applicação apresenta, comtudo, varios inconvenientes que não a teem deixado desenvolver, e aproveitar a grande vantagem de se prestar a inclinações muito fortes e inadmissiveis para a locomotiva.

208.—**Machinas de compressão.**—As machinas de compressão teem por fim accumular o ar, ou qualquer outro gaz, em um espaço fechado. As machinas ordinarias teem o as-

pecto geral das machinas pneumaticas; porém differem d'ellas em que as valvulas se abrem em sentido contrario, em que o recipiente é muito resistente, está fortemente ligado á platina da machina e protegido por uma rede metallica, e em que o manometro de rarefacção é substituido por um manometro de ar comprimido.

N'estas machinas quando o embolo desce abre a valvula inferior, e o ar comprimido fecha a sua valvula; por conseguinte é levada uma porção de ar para o recipiente. Quando o embolo sóbe fecha a valvula inferior, a pressão atmospherica abre a sua valvula e o ar penetra no cylindro.

209.—**Bombas de compressão.**—As machinas de compressão propriamente ditas são perigosas e muito pouco empregadas nas experiencias de physica. São, pelo contrario, muito commodas e muito frequentemente empregadas as *bombas de compressão*, tambem denominadas *bombas de mão*.

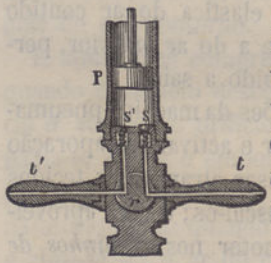


Fig. 83

Constam de um cylindro dentro do qual se move um embolo sem valvula: na base do cylindro ha duas valvulas *S*, *S'*, fig. 83, cada uma das quaes communica com um dos tubos *t* ou *t'*; a 1.ª abre-se de baixo para cima e aspira o gaz do reservatorio posto em communicação com o tubo *t*, ou o ar da atmosphera; a 2.ª abre-se de cima para baixo e leva o gaz aspirado para o recipiente com que communica o tubo *t'*. A manobra é facillima; porque o operador fixa a bomba com os pés sobre os rebordos da base, e com as duas mãos segura no cabo em que termina a haste do embolo.

Esta bomba serve tambem para fazer o vacuo em qualquer recipiente; basta para isso communical-o com o tubo *t* e pôr o tubo *t'* em communicação com a atmosphera.

Empregam-se frequentemente as bombas de compressão para fazer dissolver um gaz na agua; para este fim teem

a fórma propria para se ligarem ao vaso onde está o liquido.

Nas bombas mais simples dispensa-se a valvula de aspiração e substitue-se por um orificio praticado na parte superior do cylindro, pelo qual penetra o ar para este, quando o embolo passa para a parte superior, não podendo depois sair quando o embolo, na descida, attinge a sua altura.

210.—**Effeitos do ar comprimido.**—Costuma-se mostrar a grande tensão do ar comprimido adaptando uma bomba de compressão a um reservatorio metallico contendo agua, e que se póde fechar por uma torneira exterior ao vaso. Accumula-se n'este uma grande massa de ar, que a bomba aspira da atmosphera, e que entra pelo tubo, atravessa a agua e dirige-se para cima d'ella. Fechando a torneira para tirar a bomba, e abrindo-a depois, a agua repuxa a uma grande altura; e ajustando no extremo do tubo um torniquete, ou qualquer outra figura, a agua saindo com grande força imprime-lhe movimento.

211.—**Fonte de Herão.**—N'este apparelho o ar comprimido pelo peso de uma columna liquida obriga a repuxar a agua. Consta, fig. 84, de uma tina *C*, de dois balões *A* e *B*, e de tres tubos *t*, *t'* e *R* dispostos da maneira seguinte: o tubo *t'* abre-se em *o* no fundo da tina, atravessa o balão superior e termina junto do fundo do balão *B*; o tubo *t* communica entre si os dois balões abrindo-se na parte superior de ambos, finalmente, o tubo *R* abre-se no fundo do balão *A* e termina sobre a tina *C* em tubuladura com torneira. Para que a fonte funccione começa-se por introduzir em *A* uma porção de liquido, o que se faz tapando o orificio *o* e desapparafusando a tuboladura do tubo *R*; é por este tubo que a agua penetra para o balão *A*:

Fig. 84

feito isto, colloca-se a tubuladura *R*, abre-se a torneira, destapa-se o orificio *o* e deita-se agua na tina. Esta agua desce pelo tubo *t'* e cae no balão *B*, deslocando uma porção d'ar que se dirige para o balão *A* pelo tubo *t*, e que comprimindo o que ahi existe faz repuxar a agua pelo tubo *R*. Esta agua cae na tina e vae, por conseguinte, promover a continuação do repuxo; porque desce pelo tubo *t'*. A fonte repuxa em quanto existe agua no balão *A*.

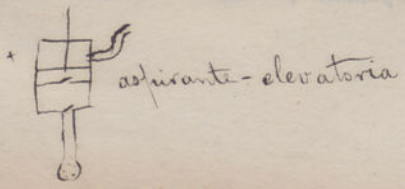
A torneira *r* serve para despejar o balão inferior.

V.—Exgoto dos fluidos

212.—Bombas.—As *bombas* são machinas destinadas a elevar a agua, o vinho, o azeite ou qualquer outro liquido, pela aspiração, pela pressão, ou por estas duas acções combinadas: d'aqui resultam tres typos differentes de bombas —*bomba aspirante, bomba premente* e *bomba aspirante-premente*.

213.—Bomba aspirante.—A *bomba aspirante* consta de um corpo cylindrico prolongado na parte inferior por um grande tubo de aspiração, e tendo na parte superior um canal de exgoto: a communicação com o tubo de aspiração é fechada por uma valvula, que se abre de baixo para cima. Dentro do cylindro move-se um embolo, pela acção de uma alavanca; no centro d'elle ha outra valvula que se abre tambem de baixo para cima, porém alternando com a valvula do cylindro.

Quando o embolo sóbe rarefaz-se o ar debaixo d'elle, e o ar do tubo de aspiração levanta a valvula do cylindro e penetra n'este; em quanto que a pressão atmospherica conserva fechada a valvula do embolo. Quando este desce o ar debaixo d'elle é comprimido, fecha a valvula do cylindro, abre a do embolo e escapa-se para a atmosphera. Ao mesmo tempo, alliviando a pressão do ar no tubo de aspira-



ção, a agua vae subindo n'este em virtude da pressão atmospherica exercida sobre a agua do reservatorio, e quando o liquido chega á parte inferior do cylindro é aspirado para dentro d'este, abre a valvula do embolo, quando este desce, e passa para a parte superior, sendo afinal levada pelo embolo até sair pelo canal d'exgoto.

Desde este momento a agua é constantemente aspirada do reservatorio; porém como a sua ascensão é devida á pressão atmospherica, que equivale ao peso de uma columna de mercurio de 76 centimetros, ou a uma columna d'agua de $10^{m},33$ (183), é claro que o tubo de aspiração não póde exceder este comprimento; e como o vacuo nunca é absoluto e ha sempre imperfeições impossiveis de evitar, não se deve dar ao tubo de aspiração mais de 8 a 9 metros.

214.—**Bomba premente.**—A *bomba premente* differe da antecedente em não ter tubo de aspiração e em o embolo não ter valvula. O corpo da bomba mergulha em parte no reservatorio d'agua, tem uma valvula no fundo, exactamente como a bomba aspirante, e communica pela parte inferior com um canal pelo qual a agua ha de subir, e que por isso recebe o nome de *canal de elevação*. Na base d'este canal ha uma valvula que se abre debaixo para cima. Quando se eleva o embolo, que não é furado, rarefaz-se o ar e entra a agua para o cylindro; quando desce comprime-se o ar e a agua, fecha-se a valvula inferior, levanta-se a lateral, e estes fluidos escapam-se para o canal de elevação. Quando o embolo torna a subir entra uma nova porção d'agua do reservatorio para o cylindro, e não volta para este a agua do canal, porque com o seu peso fecha a valvula lateral: quando torna a descer o embolo, comprime fortemente a agua, fecha a valvula inferior, abre a lateral e obriga a agua a subir no canal.

O liquido exgota-se quando chega á extremidade do canal; porém para que attinja esta altura, é preciso que a pressão exercida pelo embolo possa vencer o peso da val-

vula e da columna liquida contida no canal. É claro que esta circumstancia limita a altura do referido canal.

215.—**Bomba aspirante-premente.**—Esta bomba, como o seu nome o indica, é um mixto das duas que acabamos de descrever, e póde-se dizer que differe apenas da bomba premente em o corpo cylindrico não ser mergulhado e, pelo contrario, communicar com o reservatorio por um tubo de aspiração, exactamente como na bomba aspirante.

D'este modo a agua sóbe por aspiração para o corpo da bomba, e sóbe pela pressão no canal de elevação.

Ás vezes, nas bombas aspirantes-prementes, a pressão não é empregada para fazer subir a agua, mas para a encaminhar convenientemente transmittindo a pressão: é isto o que acontece na bomba da prensa hydraulica (138).

216.—**Bomba dos incendios.**—A bomba dos incendios é constituida por duas bombas prementes eguaes, que obrigam a agua do reservatorio em que mergulham a entrar para um corpo cylindrico intermedio, fechado e cheio d'ar.

Como o ar não póde sair, é comprimido pela agua que entra e obriga-a a sair por um canal, que se abre no fundo do corpo cylindrico, e se prolonga por um grande tubo de coiro, que é a *mangueira*.

As hastes dos embolos das duas bombas estão ligadas a uma alavanca de ferro, á qual os bombeiros dão movimento em torno de um eixo horisontal.

Quando um embolo sóbe desce o outro, por conseguinte é continua a injecção da agua no reservatorio d'ar, e é continuo tambem o jorro liquido, que sae com grande força pela extremidade da mangueira.

217.—**Syphão.**—O *syphão* é um tubo recurvado *A B C*, fig. 85, que serve para transvasar os liquidos; para este fim mergulha-se um dos ramos e aspira-se o liquido pelo outro[1].

[1] Aspira-se directamente pelo extremo *A* do tubo, se o liquido

A pressão que no extremo *A* do syphão se oppõe á saída do liquido é egual á pressão atmospherica menos o peso de uma columna liquida de altura *AA'*; a pressão que em *D* obriga o liquido a subir é a pressão atmospherica menos o peso da columna *DD'*; por conseguinte a condição para haver exgoto é que o extremo *A* do tubo seja inferior ao nivel do liquido, para que seja *AA'* maior que *DD'*, isto é, a pressão em *A* menor que em *D*.

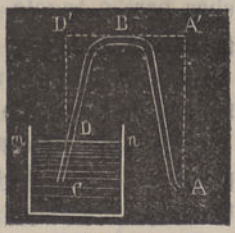


Fig. 85

A velocidade do exgoto diminue á medida que o liquido se exgota; porque vae diminuindo a differença entre *AA'* e *DD'*. Póde-se conseguir o exgoto constante fazendo com que esta differença não varie, o que se obtem ligando o syphão a um fluctuador de cortiça e equilibrando-o com um peso. D'este modo o syphão desce com o liquido á medida que este se exgota.

Mostra a theoria do syphão que este apparelho não póde funccionar no vacuo, nem quando a altura *DD'* é maior que a altura da columna liquida que equilibra a pressão atmospherica.

218.—**Vaso de Tantalo.—Exgoto intermittente produzido pelo syphão.**—O *vaso de Tantalo*, fig. 86, é um syphão introduzido no vaso que contém o liquido, tendo um dos ramos aberto no fundo d'este vaso, e o outro atravessando o fundo. Deitando liquido no vaso o exgoto só principia quando este liquido attinge a parte superior do syphão, e depois continúa até despejar o vaso.

Fig. 86

Se o vaso recebe liquido em quantidade in-

póde ser recebido na bôca; no caso contrario, aspira-se por um outro tubo soldado ao ramo *AB* perto do extremo *A*, tapando este com o dedo.

ferior á que o syphão exgota, realisa-se o exgoto intermittente; porque é preciso esperar que o syphão torne a encher para o exgoto começar depois de ter penetrado o ar pela abertura *o*.

É pelo mesmo principio que se explica a existencia de muitas fontes intermittentes naturaes.

219.—**Fonte intermittente.**—A fig. 87, representa uma disposição de fonte intermittente sem emprego do syphão. É um vaso com agua, fechado superiormente e em communicação com a atmosphera por pequenos orificios *o*, *o* de tubuladuras inferiores: o vaso é atravessado por um tubo *a a* que se abre na sua parte superior, e que em baixo fica a pequena altura da tina que recebe a agua. O liquido exgota-se pelos orificios *o*, *o*, em virtude do peso da columna *h*, porque o ar entra pelo tubo *a a* e vae no interior do vaso equilibrar a pressão da atmosphera; porém dentro em pouco tempo a tina tem recebido liquido que cobre a extremidade d'este tubo, e então o ar deixa de entrar; o que está no vaso dilata-se e diminue de força elastica, e o exgoto cessa

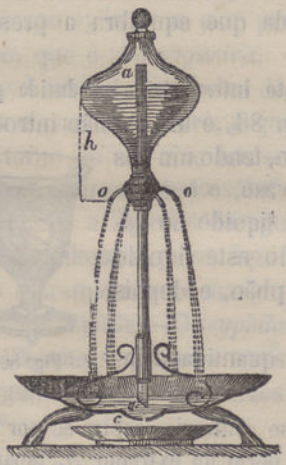


Fig. 87

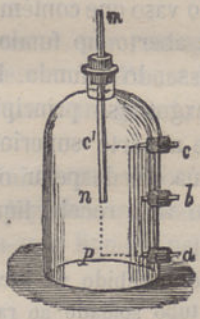


Fig. 88

quando esta força elastica reunida ao peso da columna *h* equilibra a pressão atmospherica. Porém a tina despeja-se por um pequeno orificio central *c*, e por isso descobre-se depois a abertura do tubo *a a*; o ar entra, restabelece o equilibrio com a atmosphera e recomeça o exgoto. Para se realisar esta fonte intermittente é preciso, por conseguinte, que a vasão da tina seja menor que a do vaso superior.

220.—**Frasco de Mariotte.**—Este apparelho que Mariotte empregou para demonstrar que a pressão atmospherica se exerce em todos os sentidos, emprega-se hoje para obter um exgoto constante.

É um frasco ordinario, fig. 88, com um orificio *a* proximo do fundo, e fechado com uma rolha atravessada por um tubo *mn*. Enchendo completamente o frasco e destapando o orificio *a*, o liquido exgota-se com uma força representada pelo peso de uma columna liquida, cuja altura é a differença de nivel dos pontos *m* e *a*; porém como o liquido desce dentro do tubo *mn*, a velocidade do exgoto diminue até este liquido chegar á extremidade *n*: então começa o exgoto constante com uma força representada pela altura *np*, ao mesmo tempo que o ar penetra em bolhas pelo tubo *mn*, a fim de restabelecer dentro do frasco a pressão atmospherica, neutralisando constantemente a que se exerce em *a*. A velocidade do exgoto conserva-se constante em quanto o liquido do frasco não chega a *n*: depois diminue e torna-se nulla quando o liquido chega ao nivel do orificio.

O frasco de Mariotte tem, ás vezes, outros orificios *b* e *c*, collocados a differentes alturas, com o fim de mostrar diversos effeitos da pressão atmospherica. Assim, suppondo o frasco completamente cheio e o tubo introduzido até á altura de um orificio, *b* por ex.; abrindo o orificio superior *c* o liquido exgota-se só até descer no tubo ao nivel d'este orificio, porque então ha a mesma pressão em *c'* e *c*,—a pressão atmospherica—, e não ha força que determine o ex-

goto. Tapando o orificio *c* e destapando o orificio *b* o liquido continúa a descer até á altura d'este ponto, pelo mesmo motivo. Se então fechamos o orificio *b* e destapamos *c* vemos entrar uma bolha d'ar, e subir o liquido dentro do tubo até *c'*; é porque em *c* actua a pressão atmospherica e em *c'*, dentro do tubo, actua a pressão atmospherica diminuida do peso da columna liquida de altura *c'n*; por conseguinte predominando a primeira, o ar entra até restabelecer a egualdade de pressão.

221.—**Reacção produzida no esgoto dos gazes.**—Um gaz contido n'um vaso fechado com força elastica superior á pressão atmospherica, escapa-se por um orificio que se lhe abra com uma força dependente da differença das pressões interior e exterior.

Como em todos os pontos da parede do vaso havia uma certa pressão, e como esta desapparece no ponto por onde se faz o exgoto, deixa de equilibrar a pressão egual na parede opposta, a qual póde dar movimento ao vaso: é a esta pressão que se dá o nome de *reacção do exgoto*.

Esta reacção explica o recúo das armas de fogo; porque a polvora pela acção do fogo desenvolve em mui pouco tempo uma grande massa de gazes, que exercem uma forte pressão em todos os sentidos; mas sendo o projectil expellido deixa de ser contrabalançada a pressão no fundo da arma e ha deslocamento para traz. Póde-se mostrar bem este effeito com um balão metallico *S*, fig. 89, supportado por um carro de tres rodas sobre uma lampada de alcool, e munido de uma tubuladura *t*. Introduzindo-lhe agua e aquecendo-a com a lampada depois de ter rolhado o tubo, vê-se que a rolha é expellida quando se tem accumulado uma grande porção de vapores, e ao mesmo tempo o carro é impellido para traz.

O movimento dos foguetes, e de outras peças que compõem os fogos de artificio, é devido á mesma causa.

222.—**Gazometros.**—Para obter uma corrente continua de

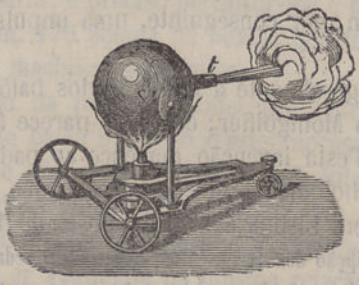


Fig. 89

um gaz, emprega-se um apparelho conhecido pela denominação de *gazometro*.

O gazometro do gaz de illuminação é uma cisterna com agua, na qual mergulha uma grande campanula de ferro equilibrada com pesos e com uma cadeia metallica, que passa em roldanas. O gaz, que provém da distilação da hulha, é conduzido por tubos para debaixo da campanula, e eleva esta até que mergulhe apenas de alguns decimetros, porque n'esta altura suspende-se a entrada do gaz. Abrindo os canaes de distribuição, o gaz espalha-se n'elles e a campanula vae descendo, de modo que a pressão no interior não varia, como é preciso para que o exgoto seja constante.

Antes de sair nos bicos em que se queima, atravessa os *contadores*, que medem o volume de gaz consumido.

VI.—Aereostatos

223.—Os *balões* ou *aereostatos* são globos de papel, de tafetá, ou de qualquer tecido fino impermeavel aos gazes, cheios de ar quente, de hydrogenio ou de gaz illuminante, que sobem na atmosphera em virtude do principio de Archi-

medes, visto que estes corpos pesam menos que o ar deslocado, e soffrem, por conseguinte, uma impulsão maior que o seu peso.

Attribue-se geralmente a invenção dos balões aos irmãos José e Estevão Montgolfier; comtudo parece fóra de duvida que a gloria d'esta invenção pertence ao padre portuguez-brazileiro Bartholomeu Lourenço de Gusmão, que fez o primeiro ensaio em Lisboa aos 5 de agosto de 1709.

224.—**Descripção dos aereostatos.—Guarda-quedas.**—O balão é feito de tiras de tafetá, cosidas umas ás outras e untadas com um verniz especial, para que o tecido seja impermeavel. Na parte superior ha uma valvula, que se póde abrir ou fechar por meio de uma corda, que o aereonauta tem na mão. O balão é revestido superiormente com uma rede da qual partem cordas que sustentam inferiormente um cesto ou barca, onde são transportados os viajantes, os instrumentos de observação e o lastro constituido por pequenos saccos de areia.

O balão deve ser acompanhado de um *guarda-quedas*, de que o aereonauta se serve para descer, quando não quer acompanhar o balão, ou quando este soffre avaria. É uma especie de guarda-chuva de estofo muito resistente, de 4 a 5 metros de diametro, ligado ao barco por meio de cordas. Cortando as cordas que ligam o barco ao balão, o barco desce rapidamente, porém o guarda-quedas abre-se, apresenta grande resistencia ao ar e retarda a queda. Para evitar grandes oscillações, que seriam perigosas, o guarda-quedas tem um orificio na parte superior por onde se escapa o ar.

225.—**Ascenção e governo do balão.**—O balão antes de estar cheio suspende-se entre dois mastros; põe-se pela parte inferior em communicação com o espaço onde se desenvolve o gaz e sustem-se com cordas que se soltam no fim d'esta operação. Não se enche completamente o balão; porque, encontrando menor pressão nas camadas superiores da at-

mosphera e expandindo-se por conseguinte mais o gaz interior, rebentaria: é preciso permittir-lhe o phenomeno descripto no num. 176 ácerca da bexiga que incha debaixo do recipiente da machina pneumatica.

Na occasião da partida a differença entre o peso do ar deslocado pelo balão e o peso d'este representa a *força ascencional,* que não deve exceder 4 a 5 kilogrammas: esta força conserva-se constante na subida, em quanto o balão não enche completamente; porque á medida que diminue a densidade do ar augmenta na mesma relação o volume deslocado, por conseguinte o peso d'este volume d'ar conserva-se constante. Depois d'este momento, isto é, depois de o balão não poder inchar mais, a força ascencional começa a diminuir; porque, sendo constante o volume d'ar deslocado a sua densidade diminue. Quando o peso do ar deslocado é egual ao peso do balão este não póde subir mais e apenas se move horisontalmente a favor das correntes d'ar. Se o aereonauta quer subir mais alija carga, deitando fóra alguns saccos de areia; se, pelo contrario, quer descer abre a valvula superior e deixa sair o gaz do balão.

D'este modo o aereonauta póde até certo ponto escolher o local do desembarque, e para facilidade suspende do balão uma ancora, que fixa em qualquer obstaculo, encurtando depois a corda que a prende.

Para saber se sóbe ou desce, e a altura em que está, serve um barometro que acompanha o aereonauta, e cuja columna se move em sentido opposto, isto é, sóbe se o balão desce, e vice-versa.

Muitas tentativas se teem feito para dar direcção aos balões horisontalmente; porém até hoje ainda não se chegou a resultado satisfatorio.

CAPITULO VIII

ACUSTICA

I.—Noções geraes

226.—**Som.—Acustica.**—Desviando algumas partes de um corpo elastico da sua posição de equilibrio, e abandonando-as em seguida, voltam a ella depois de fazerem muitas oscillações mais ou menos rapidas. Este movimento, quando tem uma certa intensidade e duração, denomina-se *vibratorio*, e transmitte-se pelo ar, ou por outro meio elastico, até ao ouvido, produzindo uma sensação particular, que denominamos *som*.

Assim: *som é uma impressão particular excitada no orgão auricular pelo movimento vibratorio dos corpos elasticos*. Os corpos capazes de entrar em vibração produzindo som dizem-se *corpos sonoros*.

Denomina-se *acustica* a parte da physica que estuda os sons.

227.—**Condições para a producção do som.**—Para haver som é preciso, por conseguinte, 1.º um corpo em vibração; 2.º um meio elastico entre elle e o ouvido, susceptivel de transmittir as vibrações.

1.º Demonstra-se por experiencias muito simples que *os corpos estão em vibração quando produzem som*. Isto reconhece-se á simples vista nas cordas tensas e friccionadas com um arco; porém ainda quando as vibrações não são visi-

veis, verifica-se aproximando a mão da corda vibrante, ou collocando sobre ella pequenos fragmentos de papel, que são projectados longe.

Percutindo com um martello a campanula de vidro representada na fig. 90 e aproximando-lhe a pequena esphera *a* suspensa por um fio, esta resalta: aproximando-lhe a ponta *b* reconhecem-se tambem as vibrações; porque se ouve um ruido proveniente do choque produzido contra ella pelas moleculas do vidro. Em um e outro caso tocando a campanula com a mão, extingue-se o movimento vibratorio, deixa de ouvir-se o som, assim como o ruido, e a esphera cessa de saltar.

Fgi. 90

2.º *Para que haja som, não basta que haja um corpo vibrante, é preciso mais que o movimento vibratorio, possa ser communicado ao ouvido por intermedio de um meio elastico.* Demonstra-se isto facilmente collocando debaixo da campanula da machina pneumatica um timbre metallico percutido continuamente por um martello movido por um systema de relojoaria, e rarefazendo o ar: o som enfraquece á medida que vae faltando o ar, e extingue-se completamente quando está feito o vacuo. É preciso tomar a precaução de assentar o timbre sobre uma almofada, para que as suas vibrações não se transmittam á platina da machina, e d'esta ao ar exterior.

228.—**Transmissão do som por todos os corpos elasticos.**—O ar é o meio transmissor ordinario dos sons, porém qualquer corpo elastico o póde substituir. Fazendo na experiencia antecedente entrar qualquer gaz para a campanula, o som ouve-se do mesmo modo; porém, para a mesma pressão, o som é tanto mais fraco quanto menos denso é o gaz: com o hydrogenio, ou com uma mistura d'este gaz e do ar, o som ouve-se muito mal.

Tocando uma campainha dentro de um vaso com agua,

ou com outro qualquer liquido, ouvimos o som; por tanto, tambem os liquidos transmittem os sons.

Reconhece-se facilmente que os solidos elasticos gosam da mesma propriedade. Applicando ao ouvido o extremo de uma vara comprida, ouve-se distinctamente o ruido da menor fricção exercida na outra extremidade. Assentando no solo um tambor e collocando pedras sobre elle, veem-se resaltar quando passa a distancia a cavallaria; applicando o ouvido contra o solo distingue-se o movimento de tropas a grandes distancias. Ouvem-se distinctamente duas pessoas, que fallam em voz baixa, em grande distancia, tendo os extremos de uma vara apertados entre os dentes. Os surdos-mudos ouvem pelos dentes, quando a surdez provém de algum defeito dos orgãos exteriores.

229.—**Instrumentos de musica.**—Póde fazer-se vibrar o ar que nos cerca de muitos modos diversos em instrumentos apropriados, que são os *instrumentos de musica;* conforme n'estes é o ar, as cordas, as membranas, etc., que vibram, assim os instrumentos se dizem de vento, de cordas, de membranas, etc.

Nos instrumentos de vento o ar é posto em vibração por uma *embocadura de flauta*, como no flageolé, no apito, em alguns tubos d'orgão, etc.; ou por uma *palheta*, como no clarinete, no fagote, no oboé, etc. As flautas e flautins e os instrumentos de bocal, como a corneta, a trompa, o trombone, figle, saxophone, etc., são tambem de embocadura de flauta, formada pelos labios do tocador.

Nos instrumentos de cordas estas podem ser vibradas com o arco, como na rebeca, rabecão e violoncello; com os dedos, como na harpa, guitarra e viola; ou pela percussão, como nos pianos. Como os sons produzidos pelas cordas são sempre fracos, estes instrumentos teem caixas d'ar, que os reforçam.

Nos instrumentos de membranas, como os tambores, timbales, etc., a vibração é produzida pela percussão.

229 bis = Idêa geral do modo porque se produzem os sons nos diversos instrumentos de musica. =

Classificam-se os instrumentos de musica em: 1.º instrumentos de vento; 2.º de cordas; 3.º de percussão e 4.º de laminas metalicas.

Instrumentos de vento. — Dizem-se instrumentos de vento aquelles nos quaes o corpo vibrante é uma columna d'ar.

Por dous modos diversos se póde fazer vibrar o ar n'estes instrumentos, ou com uma embocadura de flauta, ou com uma palheta.

Fig. 76

I — A fig. 76, representa um corte feito n'um tubo sonoro de embocadura de flauta: a corrente d'ar dirige-se pelo pequeno tubo t, denominado pé, para uma pequena caixa, e escapa-se por uma fenda estreita, chamada ouvido, encontrando, porém, em frente o bisel a, constituido por uma das paredes do tubo, que se adelgaça de modo a corresponder á posição e largura e largura do ouvido. O espaço comprehendido entre este e aquelle é a bocca.

O ar é comprimido contra o bisel, e dividido

Entre os 1.os citaremos os tambores e os timbales.

Nos timbales a membrana é bem tensa sobre um hemispherio de cobre, e faz-se variar a tensão por meio d'um annel de ferro e parafusos.

No tamber ha duas membranas ajustadas nas bases d'um cylindro de metal ou de madeira, e tensas com cordas.

A membrana percutida communica a vibração á columna d'ar, e esta á outra membrana que deve ser mais delgada para ter um som mais forte.

Os instrumentos fundados na vibração dos solidos resistentes são de chapas de metal, como o tam-tam dos chins, e os pratos das bandas militares; de varas, como os ferrinhos; de chapas, como as marimbas, e finalmente, de solidos de revolução como as campainhas, sinos, etc.

Instrumentos de laminas metallicas — As caixas de musica constituem este ultimo grupo d'instrumentos. Laminas metallicas de diverso comprimento, fixas por um extremo, são postas em vibração pelo outro por meio d'um cylindro animado de movimento de rotação.

—— Causas que alteram a intensidade do som. — As principaes são as seguintes: a distancia; a densidade do meio onde o som se produz; a direcção das correntes do ar; e a approximação d'outros corpos sonoros.

— 1.º — Num meio indefinido, em consequencia da propagação em ondas esphericas, a intensidade do som varia na razão inversa do quadrado das distancias ao corpo sonoro; porque as condensações e dilatações repartem-se por superficies esphericas, e estas superficies crescem com os quadrados das distancias ao corpo sonoro. Assim a condensação C, por ex., espalha-se pela superficie $4\pi d^2$ na distancia d, e o seu valor i sobre unidade de superficie, isto é, a intensidade do som a esta distancia, tem o valor $i = \frac{C}{4\pi d^2}$. $\left(\frac{S_r}{S_{r'}} = \frac{4\pi R^2}{4\pi R'^2} = \frac{R^2}{R'^2} \right)$

— 2.º — Demonstra-se com a experiencia do timbre no recipiente da machina pneumatica, e reconhecido nas grandes alturas da atmosphera, em que o ar está muito rarefeito. No ar comprimido o som é muito reforçado, como se observa nas fundações tubulares. Note-se porém, que a intensidade do som depende da densidade do ar em que é produzido e não n'aquelle em que é ouvido.

O som diminue d'intensidade quando se transmitte

d'um meio para outro mais denso, como acontece a qualquer outro movimento. Assim, o timbre da experiencia citada dá um som fraco quando está coberto com o recipiente da machina, ainda antes da rarefação, e levantando o recipiente o som é muito mais forte; isto porque no 1º caso o som communica-se ás paredes do recipiente e depois ao exterior.

Expirando todo o ar dos pulmões, e enchendo-os de hydrogenio, observa-se um enfraquecimento grande na voz, e uma notavel alteração no timbre; porque o hydrogenio é posto em vibração pelas cordas vocaes quando passa na larynge, e depois transmitte as vibrações ao ar que é m. mais denso.

— 3º — O som propaga-se sempre melhor e enfraquece por conseguinte menos, quando o ar está socegado do que quando está agitado. Quando ha vento, á mesma distancia, o som é mais intenso no sentido do vento do que no contrario.

— 4º — Augmenta-se a intensidade d'um som, approximando do corpo sonoro um outro capaz de produzir os mesmos sons. Por este motivo se empregam as caixas d'ar nos pianos, nas rebecas, etc., e se construem as coretas de musica sobre um tablado de madeira elevado acima do solo.

Os pratos, as marimbas, as campainhas, etc., são instrumentos fundados na vibração de solidos resistentes: é ainda a percussão que determina as vibrações.

230.—**Qualidades do som.**—Distinguem-se no som tres qualidades: *a altura* ou *o tom; a intensidade*, e *o timbre*.

231.—**Altura dos sons: sons graves e agudos.**—A qualidade mais importante do som é a *altura musical*, que marca a sua posição na escala de musica. Esta qualidade depende do numero de vibrações que o corpo sonoro executa em um segundo: os sons dizem-se *graves* ou *agudos*, relativamente, conforme é menor ou maior este numero de vibrações.

232.—**Intensidade dos sons.**—A *intensidade* dos sons é a propriedade que faz com que elles sejam ouvidos a maior ou menor distancia: depende da amplitude das vibrações do corpo sonoro; assim a intensidade de um som é maxima na occasião em que se produz, e depois enfraquece até se extinguir.

A intensidade depende tambem evidentemente da densidade do meio em que o som se produz: é isto um facto plenamente demonstrado com a experiencia do timbre no recipiente da machina pneumatica (226), e reconhecido nas grandes alturas da atmosphera, onde o ar está muito rarefeito.

Ha um meio usual de augmentar a intensidade dos sons; consiste em fazer vibrar, juntamente com o corpo sonoro, um outro, quasi sempre o ar, que produza o mesmo som. É para isso que se empregam as caixas de ar, nos pianos, nas rebecas, nas violas, etc.; é por isso que os coretos de musica são sempre construidos sobre um tablado de madeira elevado sobre o solo, para terem uma caixa de ar.

233.—**Timbre dos sons.**—O *timbre* é a qualidade que distingue dois sons da mesma altura e intensidade; depende de muitas circumstancias do movimento vibratorio.

Sabe-se que uma corda, ou qualquer corpo sonoro vibrante, se divide em partes aliquotas que vibram tambem produzindo sons mais agudos, os quaes se juntam ao som dado

pelo corpo todo: este som, o mais grave e geralmente o mais intenso, denomina-se *fundamental;* os sons mais agudos que o acompanham são os sons *harmonicos*[1].

Está provado hoje que o timbre resulta da coexistencia da nota fundamental com algumas das suas harmonicas.

234.—**Distincção entre som musico e ruido.**—Não obstante ser impossivel fazer uma completa distincção entre *som musico e ruido*, diremos que o primeiro é um som continuo que se póde apreciar pela sua posição na escala de musica, em quanto que o *ruido* é um som breve, isto é, uma sensação instantanea, ou a mistura confusa de muitos sons discordantes.

235.—**Diapasão.**—O *diapasão* é um pequeno instrumento que dá uma nota invariavel, e que serve para afinar os instrumentos de musica. Consta, fig, 91, de uma barra rectangular de aço, curvada pelo meio até ficarem proximos os extremos, e ligada a uma haste, que serve para pegar no instrumento ou para o fixar n'uma caixa harmonica (assim se denomina uma caixa de madeira secca, aberta n'um dos lados, e cujo ar deve dar o mesmo som do diapasão).

Fig. 91

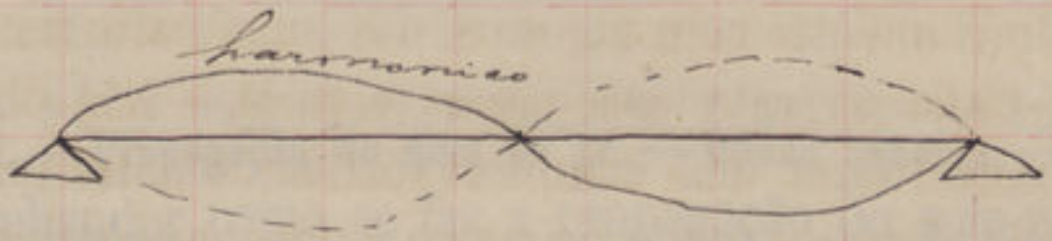
Faz-se vibrar o diapasão batendo com um dos seus ramos sobre uma mesa, ou, fig. 91, fazendo-os afastar rapidamente com um pequeno cylindro metallico de diametro maior que a distancia das faces internas do instrumento.

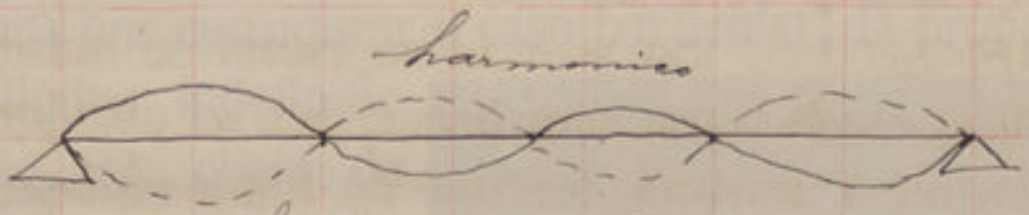
Passar ao §244

[1] Denominam-se *sons harmonicos* aquelles cujos numeros de vibrações estão entre si como os numeros da serie natural 1, 2, 3, 4..

233 bis —


som fundamental


harmonico


harmonico


fundamental harmonico

— A causa dos nós e ventres n'um tubo (cheio d'ar) é a reflexão do som.

— Nos nós dá-se sucessivamente uma rarefação e uma compressão e o ar não tem movimento vibratório.

—Amplitude do som é a distancia entre as duas posições extremas d'um ponto do corpo vibrante.

II.—Propagação do som

236.—Propagação do som no ar.—Ondas sonoras.—Para se comprehender como se faz a propagação do som no ar, comecemos por considerar o caso particular da propagação em um cylindro indefinido *XY*, fig. 92, cheio de ar ou de qualquer outra substancia solida, liquida ou gazosa, homogenea e perfeitamente elastica; e imaginemos que um embolo *E* está animado de movimento de vae-vem muito rapido de *E* para *E'*, e de *E'* para *E*, movimento perfeitamente comparavel ao movimento vibratorio das moleculas dos corpos sonoros. O embolo passando de *E* para *E'* impelliria de um jacto o meio que está diante de si, se este meio não fosse compressivel; porém ao contrario d'isto este meio é comprimido apenas na extensão *Ea*, reduzindo-se o seu volume a *E'a* e augmentando por tanto a sua força elastica: d'aqui resulta um desequilibrio de pressões que determina uma compressão na camada *aa'* egual a *Ea*, propagando-se essa compressão em todo o cylindro com uma certa velocidade *v*.

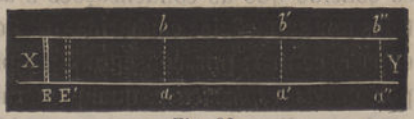


Fig. 92

No movimento retrogrado de *E'* para *E* produz-se, pelo contrario, uma dilatação na camada *E'a*, que se communica tambem com a mesma velocidade ás camadas seguintes, as quaes estão por tanto alternadamente condensadas e dilatadas. Denomina-se *onda sonora* o conjuncto de uma condensação e uma dilatação, que se fazem em uma vibração completa do corpo sonoro; *comprimento da onda* é a espessura *Ea'* das meias ondas condensada e dilatada, isto é, o espaço percorrido pelo som durante uma vibração completa do corpo

sonoro: se for n o numero d'estas vibrações por segundo, v a velocidade do som e λ o comprimento da onda será $v = n\lambda$.

Se em logar de considerarmos um cylindro indefinido imaginarmos que o corpo sonoro vibra no ar livre, ou em qualquer meio illimitado em todos os sentidos e homogeneo, podemos applicar a cada ponto do corpo o que acabamos de dizer, suppondo que elle vibra na abertura de um tubo cylindrico indefinido de secção infinitamente pequena. D'aqui se conclue que as condensações e as dilatações estão repartidas por superficies esphericas, das quaes o corpo sonoro occupa o centro; por conseguinte, a propagação do som faz-se por *ondas esphericas:* qualquer raio d'estas espheras, ou qualquer direcção em que se considere a propagação, é um *raio sonoro.* (Raio sonoro é a direcção da propagação do som).

As ondas que partem de diversos corpos vibrantes proximos sobrepõem-se sem se destruir; por este motivo os sons que partem de uma orchestra chegam distinctamente ao ouvido. Verifica-se em parte esta coexistencia das ondas nas superficies das aguas tranquillas, que se percutem em pontos proximos com pequenas pedras: os pontos chocados constituem-se centros de ondas circulares, que se crusam sem se destruir.

237. — **Variação da intensidade com a distancia. — Tubos acusticos.** — Acabamos de mostrar que n'um meio indefinido as condensações e dilatações se repartem por superficies esphericas: e como estas crescem com os quadrados dos raios, ou das distancias ao corpo sonoro, segue-se que a amplitude da vibração diminue com o quadrado d'essas distancias. Assim, quando o som se propaga por ondas esphericas, *a intensidade varia na razão inversa do quadrado da distancia.*

Não acontece o mesmo no interior dos tubos cylindricos de pequena secção, e em geral sempre que o som não póde espalhar-se lateralmente: então a intensidade do som não enfraquece muito com a distancia; porque as condensações

e dilatações do ar, transmittindo-se a camadas da mesma secção, não mudam de grandeza. Assim, Biot reconheceu que nos tubos dos aqueductos de Paris, n'uma extensão de 951 metros, fallando-se em voz muito baixa n'um dos extremos, se ouvia distinctamente no outro; e que o abalo communicado ao ar pela explosão de um tiro de pistola chegava ao extremo d'aquella distancia com intensidade sufficiente para apagar uma luz, e projectar a mais de meio metro alguns corpos leves.

Nos grandes estabelecimentos aproveita-se esta propriedade dos tubos para transmittir ordens de um pavimento para outro, e nos grandes navios de vapor para communicar ordens ao machinista, etc. Empregam-se para este fim tubos de cautchuc de pequeno diametro, conhecidos pela denominação de *tubos acusticos*. { Passar ao § 3 do Appendice.

238.—**Porta-voz.**—Applicando a propriedade que tem o som de não diminuir muito de intensidade quando se propaga no interior de um tubo, e ao mesmo tempo aproveitando a reflexão consegue-se levar a voz a grandes distancias.

Emprega-se com este fim o *porta-voz* ou *busina*, que é um tubo não pequeno de fórma conica, terminado por um lado em pavilhão e pelo outro em um bocal, que permitte ajustar a boca sem impedir o movimento dos labios.

239.—**Corneta acustica.**—As pessoas que teem o *ouvido duro* usam com vantagem d'este pequeno instrumento, que augmenta a intensidade dos sons. É uma especie de porta-voz, de muito menores dimensões, e sem bocal na parte mais delgada, a qual é recurvada para se introduzir no ouvido: os sons são recebidos no pavilhão. Explica-se o effeito d'este apparelho pelo augmento de intensidade com que as compressões e dilatações do ar, produzidas pelo som, se vão transmittindo ás camadas successivamente menores.

240.—**Velocidade do som.**—Entende-se por *velocidade do som*, como já dissemos, o caminho que elle percorre n'um segundo.

As experiencias que teem sido feitas para determinar a velocidade do som no ar reduzem-se a contar entre dois pontos, cuja distancia é conhecida, o tempo que o som produzido pelo tiro de uma boca de fogo leva a percorrel-a: dividindo a distancia pelo numero de segundos d'esse tempo acha-se a distancia percorrida em um segundo, isto é, a velocidade. N'estas experiencias despresa-se a velocidade da luz, porque se começa a contar o tempo desde que se vê apparecer o clarão.

A velocidade é independente da pressão e do grau de humidade do ar, e augmenta um pouco com a temperatura: póde admittir-se que o seu valor médio é de 340 metros.

Na agua a velocidade é proximamente quatro vezes e meia maior; é egual a 1435 metros.

Nos solidos a velocidade do som ainda é maior, e tem valores particulares nas diversas substancias: assim nas differentes especies de madeiras a velocidade é de 10 a 16 vezes a velocidade no ar; nos metaes varia entre 4 e 16 vezes esta mesma velocidade.

241.—Reflexão do som.—Se as ondas sonoras encontram no caminho um obstaculo, ou um meio differente, mudam de direcção—*reflectem-se*—exactamente como faz uma bola elastica quando choca um muro, e segundo as mesmas leis. Sendo, por ex., *AB*, fig. 93, a superficie de separação dos dois meios, *Om* um raio sonoro incidente, e *mp* a normal á superficie no ponto de incidencia, o plano *Omp* denomina-se *plano de incidencia*, e o angulo *Omp angulo de incidencia;* o raio reflecte-se seguindo a direcção *mM*, que satisfaz ás condições de estar no plano de incidencia e de fazer com a normal o angulo *Mmp*, denominado *angulo de reflexão*, egual ao de incidencia.

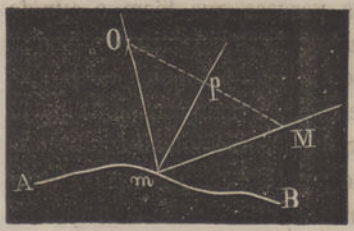


Fig. 93

Reflexão do som é a mudança da direção das ondas sonoras, quando encontram um obstaculo, continuando a propagar-se no mesmo meio.

Assim, a reflexão do som está submettida ás duas leis seguintes: 1.ª *O angulo de reflexão é egual ao angulo de incidencia;* 2.ª *O raio reflectido está no plano de incidencia.*

Como consequencia d'estas leis acontece que em algumas casas se póde fallar em segredo em certos pontos e ouvir-se distinctamente n'outros, sem que se ouça nos intermedios.

Reflecte-se o som nas nuvens, na superficie de separação de duas camadas de ar de densidades differentes, etc.; ha porém obstaculos que cedendo ao choque das ondas sonoras não permittem a sua reflexão: é o que se reconhece nas salas alcatifadas, ornadas com reposteiros e cortinados de lã, onde os sons são abafados.

241.—Echos.—Resonnancia.—A reflexão do som explica o phenomeno do *echo*, isto é, da repetição de um som ouvido directamente.

Um individuo collocado em frente de um obstaculo reflectidor ouve sem demora um som que produz; e se este som tem deixado de se ouvir no momento em que chega o som reflectido pelo obstaculo, ouve um segundo som, que é o *echo*. Este depende pois da distancia do obstaculo.

Admittindo que n'um segundo não se podem articular distinctamente mais de cinco syllabas, e que a velocidade do som é de 340 metros, conclue-se que para se repetir a ultima syllaba articulada deve o som percorrer $\frac{340^m}{5}$, isto é, 68^m; por tanto um echo será *monosyllabo* se a distancia do observador ao obstaculo for de 34 metros; será *dissyllabo* se esta distancia for de 68 metros. etc. Produzindo um som breve e não uma syllaba ha echo na distancia de 17 metros.

Temos supposto que o observador ouve o *echo* de um som por elle produzido; porém se o som vem de uma certa distancia, é preciso, para haver repetição de uma, duas, etc., syllabas, que a differença entre o caminho indirecto do som e aquella distancia seja de 34, 68, etc. metros.

Um som produzido entre dois obstaculos repete-se mais de uma vez, e o echo diz-se *multiplo*. É o que acontece por ex., entre os pegões de um grande arco de ponte. Como exemplo de echos multiplos notaveis citaremos um a tres leguas de Verdun, produzido por duas torres distantes de 50 metros, e que repete 12 vezes o mesmo som; e mencionaremos ainda o castello de Simonetta, em Italia, que repete mais de quarenta vezes o estrondo de um tiro de pistola, produzido entre duas alas parallelas do edificio.

Citam-se echos muito singulares que não se explicam bem; assim como ha circumstancias que, segundo a theoria da reflexão, deviam dar um determinado echo, e este não existe, sem que se reconheça a razão.

Em distancias menores que 17^m o som reflectido sobrepõe-se mais ou menos ao directo augmentando-lhe a intensidade e duração, e produzindo o que se chama *resonnancia*, que todos teem observado nas salas grandes. É favoravel a resonnancia quando, como acontece nas casas bem construidas, os sons reflectidos reforçam os directos sem lhes alterar a pureza: é desfavoravel quando os confunde e perturba dando logar a que não se distingam os sons directos.

243.—**Propagação do som nos cylindros limitados.—Nós e ventres.—Lei dos comprimentos.**—No num. 235 considerámos apenas o caso da propagação das ondas n'um cylindro indefinido; porque tinhamos por fim estudar a propagação do som no ar livre. Se o cylindro, solido, liquido, ou gazoso é limitado, é um tubo, uma corda, etc., as ondas condensadas e dilatadas caminham do mesmo modo até ao fim do tubo, porém ahi reflectem-se: da sobreposição das duas ondas, directas e reflectidas, resulta que a velocidade de vibração torna-se nulla em certos pontos e maxima em outros: os primeiros denominam-se *nós* e os segundos *ventres*. Nos *nós* não ha vibração mas ha mudança continua de densidade, em consequencia das dilatações e condensações; pelo contrario, nos ventres ha vibração e não ha mudança de densidade.

Em todos os casos, o numero de vibrações que o corpo faz n'um segundo está na razão inversa do comprimento do cylindro.

Demonstra-se a existencia dos *nós* e *ventres*, e determina-se a sua posição, com um tubo de orgão com uma face de vidro, que se faz cantar por meio de um folle especial, e no qual se introduz, suspensa por um fio, uma pequena caixa cujo fundo é uma membrana bem tensa e coberta de areia fina. Fazendo percorrer a caixa ao longo do tubo, vê-se saltar a areia, excepto em certos pontos, onde fica em repouso; estes pontos são os nós: os pontos em que a areia salta mais são os ventres.

Verifica-se ainda melhor a posição dos *nós* e dos *ventres* nos tubos sonoros por meio das *chammas de Koenig*. Para este fim emprega-se um tubo com diversos furos em uma das suas paredes, os quaes são tapados com membranas muito elasticas: sobre cada uma d'estas adapta-se uma capsula, com dois tubos; um dos quaes introduz n'ella uma corrente de gaz illuminante, em quanto que o outro termina em um bico onde se queima o gaz. Assim, se uma das membranas corresponde a um nó, cede ás compressões e dilatações do ar, as quaes communica ao gaz, fazendo com que a chamma se allongue e encurte: se a membrana corresponde a um ventre a chamma não é agitada, porque n'aquelle ponto não ha mudança de densidade do ar.

244.—Vibrações longitudinaes e transversaes.—As vibrações, cuja propagação temos considerado, executam-se no mesmo sentido da propagação e dizem-se *longitudinaes*.

As vibrações podem fazer-se no sentido perpendicular ao da propagação e então dizem-se *transversaes*. São da primeira especie as vibrações do ar, e da segunda as vibrações que se transmittem sobre um liquido.

As cordas, as varas, etc., podem fazer-se vibrar de um e do outro modo.

III.—Theoria physica da musica

245.—Definições.—Denomina-se *accorde consonante*, ou simplesmente *accorde*, a impressão agradavel ao ouvído, resultante da coexistencia de dois ou mais sons; e *dissonancia* a impressão desagradavel produzida pelos sons simultaneos.

A producção dos accordes constitue a *harmonia*, e a sua successão, ou a successão de notas, constitue a *melodia*. A *musica* é um complexo de harmonias e melodias.

246.—Intervallos.—Unisono e oitava.—A impressão causada por dois ou mais sons simultaneos não depende dos numeros absolutos das suas vibrações, mas da relação entre estes numeros; e é sempre a mesma, quaesquer que elles sejam, com tanto que essa relação não mude. Assim, a musica occupa-se mais das relações entre os numeros de vibrações dos sons, do que da altura d'estes. Estas relações denominam-se *intervallos* entre os sons.

Os accordes são sempre produzidos pelos intervallos simples, e as dissonancias pelos intervallos ou relações complexas. O accorde mais simples é o produzido por dois sons da mesma altura, cujo intervallo é unidade: denomina-se *unisono*. Depois d'este o mais simples é a *oitava*, cujo intervallo é egual a dois.

247.—Gamma.—Escala de musica.—Denomina-se *gamma* ou *solfa* uma serie de sete sons adoptados na musica, e que realisam os accordes mais consonantes: os seus nomes; o numero das suas vibrações em relação ao mais grave, representado por 1, e os seus intervallos successivos são os seguintes:

Nomes das notas.....	*dó*	*ré*	*mi*	*fá*	*sol*	*lá*	*si*	*dó*
Numeros relativos das vibrações.	1	$\frac{9}{8}$	$\frac{5}{4}$	$\frac{4}{3}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{5}{3}$	$\frac{15}{8}$	2
Intervallos successivos.....		$\frac{9}{8}$	$\frac{10}{9}$	$\frac{16}{15}$	$\frac{9}{8}$	$\frac{10}{9}$	$\frac{9}{8}$	$\frac{16}{15}$

A escala de musica é a serie de sons obtida pela reproducção de varias gammas. Passa-se dos sons de uma gamma para os correspondentes

da gamma superior ou aguda multiplicando por 2 os numeros de vibrações, e para a gamma inferior ou grave dividindo-os por 2. A escala assim obtida diz-se *diatonica*, e toma para ponto de partida o som mais grave do violoncello, que é um *dó*.

Distinguem-se as notas das differentes gammas com um indice que marca a ordem da gamma, e que se faz preceder do signal menos nas gammas inferiores á fundamental.

Vê-se que os intervallos das notas consecutivas da escala se reduzem a tres, que são $\frac{9}{8}$, $\frac{10}{9}$ e $\frac{16}{15}$: denominam-se *tom maior, tom menor* e *meio-tom maior*. Reconhece-se mais que a gamma é a successão de dois tons, um meio tom, tres tons e um meio-tom.

O intervallo entre o tom maior e o tom menor é: $\frac{9}{8} : \frac{10}{9} = \frac{81}{80}$; é tão pequeno que só um ouvido muito delicado e exercitado o póde apreciar: por este motivo costuma-se despresar na musica e o mesmo se faz a qualquer intervallo muito proximo de unidade, o qual recebe o nome generico de *comma*.

voltar ao § 235

+ 248.—**Diapasão normal.**—Reconheceu-se desde muitos annos que o diapasão normal se elevava successivamente nos grandes theatros da Europa, e que não tinha o mesmo valor em todos elles: para evitar os inconvenientes que d'isto resultavam para os compositores e para os artistas, foi estabelecido em França, por decreto de 16 de fevereiro de 1859, um diapasão normal obrigatorio, que dá o $lá_3$ com 435 vibrações: é este o som da terceira corda da rebeca.

É claro que o *lá* da gamma fundamental corresponde a $\frac{435}{4}$ vibrações; e por tanto o *dó* fundamental, ou o $dó_1$, corresponde a $\frac{3}{5} \frac{435}{4} = 65{,}25$ vibrações.

voltar ao § 229

Note-se que só na temperatura de 15° é que os diapasões de aço dão 435 vibrações: augmentando a temperatura o som desce um pouco.

249.—**Sustenidos e bemoes.—Escala chromatica.**—A fim de poder começar a escala em qualquer nota, sem alterar a successão dos tons e meios tons da escala natural, com a vantagem de se poder escrever a musica para um instrumento em tom mais ou menos grave, sem ser preciso passar de umas oitavas para outras, o que nem sempre comportam os limites do instrumento, intercallam-se entre os sons da gamma, que distam de um tom, outras notas, que se dizem *sustenidas* dos sons immediatamente inferiores, e *bemoes* das immediatamente superiores. Consegue-se isto multiplicando a nota, que se quer sustenir ou bemolisar,

por $\frac{25}{24}$ ou $\frac{24}{25}$. Emprega-se o signal ♯ para indicar que a nota a que está junto é sustenida, e o signal ♭ para designar que a nota é bemol.

Note-se que uma nota sustenida e a seguinte bemol não são eguaes: assim *ré sustenido* é egual a $\frac{9}{8} \times \frac{25}{24} = \frac{75}{64}$, e *mi bemol* é egual a $\frac{5}{4} \times \frac{24}{25} = \frac{6}{5}$: estas notas differem apenas de uma *comma* egual a $\frac{6}{5} : \frac{75}{64} = \frac{128}{125}$; por este motivo, nos instrumentos de sons fixos serve o mesmo som para as notas sustenidas e para os bemoes das immediatas; taes são os pianos, os orgãos, etc.; exceptuam-se algumas harpas de Erard: nos instrumentos de sons continuos, como as rebecas, os sustenidos e bemoes podem fazer-se exactamente.

Denomina-se *chromatica* a escala na qual os intervallos successivos são todos meios tons, confundindo-se os sustenidos com os bemoes.

250.—**Gamma temperada: meios tons médios.**—Ainda mesmo empregando os sustenidos e bemoes, os intervallos não são eguaes, e as differenças, posto que pequenas, tornam-se apreciaveis em intervallos muito grandes. Um instrumento de sons fixos, afinado segundo as relações da gamma começando por *dó*, não dá uma gamma exacta começando por outra nota. Evita-se este inconveniente modificando um pouco certas notas para repartir o erro, de modo que cada uma seja pouco alterada; chama-se a isso *temperar*, e diz-se *temperamento* o methodo empregado.

O methodo mais usado é o *temperamento egual*, que consiste em repartir pelas oitavas justas, em intervallos eguaes, os 12 sons de que consta a gamma chromatica, confundindo os sustenidos com os bemoes: estes intervallos chamam-se *meios tons médios*, e são evidentemente eguaes a $\sqrt[12]{2} = 1{,}060$.

A gamma assim modificada diz-se *gamma temperada*, e não é rigorosa: á excepção das oitavas todos os intervallos são um pouco alterados; os meios tons maiores são um pouco menores, e os meios tons menores um pouco maiores; porém a modificação é tão pequena, que o ouvido difficilmente a distingue.

CAPITULO X

DO CALOR

I.—Generalidades.—Origens e theorias do calor

251.—**Phenomenos calorificos.**—Todos nós sentimos os effeitos do *calor;* comtudo não podemos facilmente definil-o, a não ser por esses mesmos effeitos. A primeira acção do calor sobre os corpos é, como dissemos no num. 19, desenvolver entre as suas moleculas uma força repulsiva, que combate constantemente a cohesão; do que resulta um augmento de volume, isto é, uma *dilatação.* A subtracção do calor deixando em exercicio a cohesão determina o phenomeno contrario, isto é, uma *contracção.*

Quando a dilatação chega a um certo limite e se continúa o aquecimento do corpo, este passa a liquido, se era solido, a gaz, se era liquido; e inversamente, os gazes passam a liquidos, e estes a solidos, pela diminuição do calor. A *mudança de estado* dos corpos é o segundo effeito do calor, que havemos de descrever.

Além d'estes phenomenos, que resultam da acção do calor sobre os corpos, precisamos tambem considerar aquelles que o calor apresenta na sua propagação, tanto através do espaço, de um corpo para outro, a qualquer distancia, como no interior de um corpo, de molecula a molecula.

propagação por irradiação

por conductibilidade

252.—**Temperatura dos corpos.—Thermometros.**—Collocando, em presença, uns dos outros, corpos desegualmente quentes,

Os antigos

reconhece-se que os mais quentes arrefecem e os mais frios aquecem, cessando estas modificações passado certo tempo; então os corpos constituem-se n'um estado de equilibrio e diz-se que estão á mesma *temperatura*. Esta palavra designa por tanto um estado de equilibrio, no qual os corpos não ganham nem perdem calor. Em quanto este estado não varía os corpos conservam um volume constante; quando ganham ou perdem calor diz-se que augmenta ou diminue a temperatura e os corpos dilatam-se ou contraem-se.

Estando intimamente ligadas as variações do estado calorifico com as do volume, é claro que se podem medir as mudanças de temperatura pela dilatação. Os instrumentos empregados para este fim denominam-se, em geral, *thermometros*.

253.—**Representação das temperaturas.**—Para representar as temperaturas resta escolher uma unidade: sempre que não dissermos o contrario deverá entender-se que a unidade adoptada é o *grau centigrado*. Dá-se este nome á centesima parte da dilatação, que experimenta um thermometro quando se submette ás duas temperaturas fixas seguintes: a do gelo fundente, designada por 0°, e a do vapor d'agua na pressão de 760^{mm}, representada por 100°.

Assim, se um thermometro indica uma dilatação egual a 15 vezes esta unidade, dizemos que a temperatura é de *quinze graus centigrados*.

254.—**Calor especifico.—Caloria.**—Os differentes corpos não absorvem quantidades eguaes de calor para se aquecerem do mesmo numero de graus; por conseguinte o numero de graus da sua temperatura não indica só por si a quantidade de calor que possuem, é preciso para obter o valor d'esta quantidade multiplicar aquelle numero pela expressão do calor absorvido pelo corpo para se aquecer de um grau: esta expressão referida á unidade de peso do corpo denomina-se *calor especifico* ou *capacidade calorifica*.

Assim, *calor especifico* de um corpo, é a quantidade de

Temperatura é o grão de calor sensivel que um corpo apresenta.

---

calor precisa para elevar de um grau a temperatura de um kilogramma d'esse corpo.

Para representar o calor especifico toma-se para unidade o calor especifico da agua, que se denomina *caloria;* esta é propriamente a *unidade de calor.*

255.—**Origens do calor.**—As origens do calor são *mechanicas, physicas* e *chimicas.*

I.—As principaes *origens mechanicas* de calor são a *percussão,* a *pressão* e a *fricção.* Mostra-se o desenvolvimento do calor pela percussão batendo com o martello uma barra de ferro, de chumbo, etc., que se aquece a ponto de não poder ser tocada com a mão, e de inflammar um phosphoro que se lhe aproxime.

Demonstra-se o desenvolvimento do calor pela pressão com o *fusil de ar,* fig. 94: comprimindo fortemente o ar

Fig. 94

produz-se uma luz bastante viva, devida á combustão do oleo que lubrifica o embolo; juntando a este uma porção de isca, e retirando-o repentinamente, a isca vem inflammada[1].

Sempre que dois corpos se esfregam um contra o outro desenvolve-se o calor, tanto mais intenso quanto maiores são a pressão e a rapidez do movimento; é por este motivo que os eixos das carruagens, das rodas hydraulicas, etc,, aquecem a ponto de se inflammarem, se não estão bastante humedecidas com azeite. O lume que se obtem ferindo a pederneira com o aço resulta do aquecimento, que as particulas da pedra destacadas adquirem pelo attrito.

[1] Este phenomeno é que dá o nome ao instrumento.

A fig. 95 representa um apparelho que serviu a Tyndall para demonstrar de uma maneira simples e elegante a transformação do trabalho em calor. O pequeno cylindro de co-

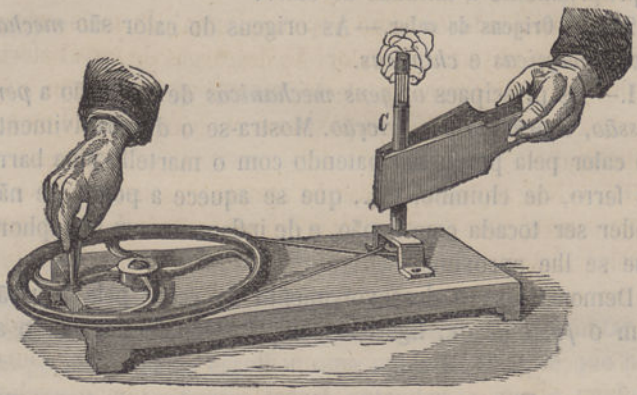


Fig. 95

bre *c* enche-se d'agua e rolha-se bem: dando-lhe movimento de rotação por meio de uma cadeia sem fim, apertando-o ao mesmo tempo com duas peças de madeira para difficultar esse movimento, a agua aquece, ferve e os seus vapores projectam a rolha a grande altura.

II.—As principaes *origens physicas* de calor são o sol, a terra e os phenomenos electricos. O sol é a mais importante das origens de calor; a elle se devem as variações de temperatura nos differentes logares da terra; por isso que da sua marcha apparente depende a temperatura de um logar, a qual é tanto maior quanto mais tempo este astro está acima do horisonte, e quanto menos obliquos são os seus raios. Assim, a temperatura é maxima no equador, decresce com a latitude, e é minima nas regiões polares.

A pequena profundidade abaixo do solo existe uma camada, cuja temperatura se conserva constante em todas as

estações; por este motivo recebeu o nome de *camada invariavel*. A partir d'esta camada tem-se reconhecido que a temperatura cresce com a profundidade: no centro da terra admitte-se a existencia de um foco muito intenso de calor denominado *calor central*.

A electricidade é, como veremos, uma das mais energicas origens physicas de calor. As descargas de uma bateria, assim como as correntes electricas, não só produzem a incandescencia de certos corpos, mas chegam a fundil-os e a volatilisal-os.

III.—Nas acções chimicas ha sempre desenvolvimento de calor: umas vezes este é inapreciavel, outras é muito sensivel, e chega a ser tão intenso que é acompanhado de luz, como acontece nas *combustões* (327).

O *calor animal*, desenvolvido durante a vida, provém das acções chimicas, que se passam no interior de um animal.

256.—**Theorias do calor.**—Durante muito tempo explicaram-se os phenomenos calorificos por duas theorias muito differentes: a *theoria da emissão*, ou *theoria material*, e a *theoria das ondulações*, ou do movimento; esta ultima, convenientemente modificada, deu origem á *theoria mechanica* exclusivamente admittida hoje.

257.—**Theoria da emissão.**—Na *theoria da emissão*, a mais acreditada até ao principio d'este seculo, o calor é um fluido imponderavel, cujas particulas, denominadas *calorico*, se repellem mutuamente e repellem as moleculas dos corpos, sendo lançadas por elles em todos os sentidos com grandissima velocidade: estas particulas reflectem-se em parte na superficie dos corpos que encontram, e em parte penetram n'esses corpos combinando-se com as suas moleculas.

258.—**Theoria das ondulações.**—Na *theoria das ondulações* admitte-se que o calor não é uma substancia, mas o resultado de um movimento vibratorio das moleculas dos corpos quentes, movimento que se transmitte aos outros corpos por intermedio de um fluido imponderavel —*o ether*—

no qual se propaga, como as ondas sonoras se propagam no ar.

Tendo-se abandonado a theoria da emissão para a luz, porque ha phenomenos luminosos que estão em completo desaccordo com ella, e são ao contrario consequencias immediatas da theoria das ondulações; e havendo tão intima ligação entre o calor e a luz, que até se attribuem á mesma causa estes dois agentes, forçoso foi abandonar tambem a theoria da emissão para o calor.

259.—Theoria mechanica.—A *theoria mechanica do calor* suppõe que o calor é um movimento molecular, isto é, que as moleculas dos corpos executam movimentos muito rapidos, os quaes representam a sua temperatura. No vacuo absoluto esta temperatura seria invariavel; porém como se admitte a existencia de um *ether* elastico espalhado por toda a parte, as moleculas dos corpos communicam-lhe pelo choque parte do seu movimento, dando logar a que ellas se resfriem e a que se propague o calor. Este calor não se perde; porque o movimento do ether é depois communicado aos corpos mais frios, que encontra, determinando o seu aquecimento, e outros phenomenos, como a reflexão, a refracção, etc.

Todas as origens mechanicas do calor mostram uma transformação do trabalho em calor, e por conseguinte são outros tantos argumentos a favor da nova theoria; porém ha mais ainda, o calor póde transformar-se em trabalho, e em qualquer d'essas transformações nota-se uma relação constante, a que se dá o nome de *equivalente mechanico do calor*, que é igual a 425 kylogrammetros.

D'aqui passa-se ao thermometro §§ 268 a 277

II.—Dilatação

260.—Dilatação linear e cubica dos solidos.—Coefficientes de dilatação.—Como os solidos teem fórma propria, a sua dilatação póde medir-se em extensão linear, superficial e cubica, isto é, segundo uma, duas e tres dimensões.

Damos o nome de *coefficiente de dilatação* ao augmento que experimenta a unidade de extensão com o accrescimo de unidade de temperatura (um grau centigrado). Consideram-se, por tanto, nos solidos o *coefficiente de dilatação linear*, o *coefficiente de dilatação superficial* e o *coefficiente de dilatação cubica;* porém só o primeiro e o terceiro, que é proximamente tres vezes maior, servem nas applicações.

Costuma-se demonstrar a *dilatação linear* dos solidos com o apparelho da fig. 96, conhecido pelo nome de *pyrometro*

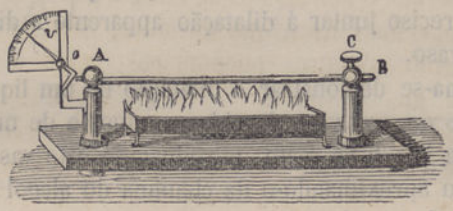


Fig. 96

de mostrador: consta de uma haste metallica *AB* fixa por um dos extremos a uma columna vertical e apoiada em outra columna atravessando-a livremente; o outro extremo encosta ao lado menor de uma alavanca angular, movel em torno do eixo *O* sobre um quadrante graduado. Dispondo a haste de modo que o braço maior d'esta alavanca esteja horisontal e marque o zero da escala, deitando alcool n'uma tina que fica inferior á haste e inflammando-o, vê-se subir

o extremo do ponteiro, o que prova o alongamento da haste, isto é, a sua *dilatação linear*.

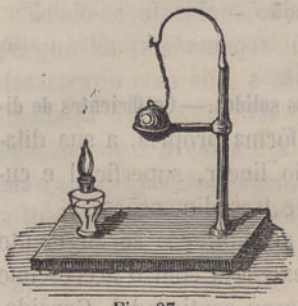


Fig. 97

A *dilatação cubica* dos solidos demonstra-se com o *annel de S'Gravesande:* é um annel metallico, fig. 97, no qual passa uma esphera tambem metallica, quando está fria; porém aquecendo-a com uma lampada de alcool, não póde passar; o que prova que augmentou de volume: deixando-a resfriar, contrae-se, e torna a passar pelo mesmo annel.

261.—**Dilatação absoluta e apparente dos fluidos.**—Os solidos dilatam-se menos que os liquidos, e estes menos que os gazes. Como os fluidos não teem fórma propria só se considera a sua dilatação cubica; e como não podem empregar-se senão dentro de vasos, a dilatação, que se mede é *apparente*: para ter a verdadeira dilatação, que se chama *absoluta*, é preciso juntar á dilatação apparente a dilatação cubica do vaso.

Costuma-se demonstrar a dilatação de um liquido introduzindo-o em um vaso de vidro composto de uma esphera soldada a um tubo recto: introduzindo este vaso em agua quente ou aproximando-o da chamma do alcool vê-se subir o liquido dentro do tubo.

Com este mesmo apparelho se demonstra a dilatação do ar, ou de outro gaz, que se introduz n'elle e se isola da atmosphera por uma pequena columna liquida: basta apertar a esphera com as mãos para se ver caminhar rapidamente esta columna liquida para o extremo do tubo.

262.—**Maximo de densidade da agua.**—É notavel que alguns liquidos, e particularmente a agua, apresentam um maximo de densidade em determinada temperatura, dilatando-se por conseguinte quando essa temperatura augmenta e quando diminue.

0°	1^m	$\mathcal{E}_0^m = \mathcal{E}_0$
1°	$1+\alpha$	$\mathcal{E}_0^m(1+\alpha)$
2°	$1^m+2\alpha$	$\mathcal{E}_0^m(1+2\alpha)$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
t°	$1+\alpha t^\circ$	$\mathcal{E}_0^m(1+\alpha t) = \mathcal{E}_t$
t'°	$1+\alpha t'^\circ$	$\mathcal{E}_0^m(1+\alpha t'^\circ)$

$$\left.\mathcal{E}_0 = \frac{\mathcal{E}_t}{(1+\alpha t)}\right\} \quad \gamma_0 = \frac{\gamma_t}{(1+\alpha t)}$$

$$\left.\begin{aligned} \mathcal{E}_t &= \mathcal{E}_0(1+\alpha t) \\ \mathcal{E}_{t'} &= \mathcal{E}_0(1+\alpha t') \end{aligned}\right\} \quad \begin{aligned} \mathcal{E}_t - \mathcal{E}_{t'} &= \mathcal{E}_0(1+\alpha t) - \mathcal{E}_0(1+\alpha t') = \\ &= \mathcal{E}_0[\alpha(t-t')] \end{aligned}$$

A agua contrae-se com o augmento de temperatura até 4°, e só depois d'esta temperatura é que começa a dilatar-se: é por tanto de 4° a temperatura do seu maximo de densidade. Demonstra-se isto com o apparelho da fig. 98: é um vaso cylindrico de vidro com dois thermometros dispostos horisontalmente um na parte superior e outro na inferior, estando entre elles um vaso annullar *C*. Deitando gelo n'este vaso e agua no cylindrico, reconhece-se que o thermometro inferior chega a 4° e não baixa mais, em quanto que o superior baixa a 0°.

Fig. 98

Esta circumstancia explica o facto observado em muitos lagos da Suissa de estar a agua no fundo a 4°, quando na superficie está n'uma temperatura differente: é porque n'aquella temperatura a agua tem mais peso que em qualquer outra, sendo egual o volume.

263.—**Formula da dilatação.**—Admittindo que a dilatação é proporcional á extensão e á temperatura, e representando por x o coefficiente de dilatação de qualquer corpo, de extensão E_0 a zero de graus, é E_0xt a dilatação d'esse corpo para o augmento de temperatura t; por tanto a sua extensão n'esta temperatura é:

$$E_t = E_0 + E_0xt,$$

isto é,

$$E_t = E_0\,(1+xt) \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

O binomio $1+xt$, pelo qual se deve multiplicar a extensão a zero para ter a extensão a t, denomina-se *binomio de dilatação.*

Da formula (1) tira-se $E_0 = \frac{E_t}{1+xt}$; por conseguinte para passar da extensão a t graus para a extensão a zero, é preciso dividir aquella pelo binomio de dilatação.

Se o corpo passa da temperatura t a t', o aquecimento é de $t'-t$; por conseguinte, temos, pela mesma razão:

$$E_{t'} = E_t[1+x(t'-t)] \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2)$$

264.—**Applicações mechanicas da dilatação dos solidos.**—Um corpo quando se contrae pelo resfriamento desenvolve um esforço consideravel, que se aproveita em muitas circumstancias.

As pedras do zimborio da egreja de S. Pedro em Roma, que se afastavam ameaçando ruina, foram unidas com circulos de ferro em braza, que se contrairam depois, desenvolvendo uma pressão enorme.

As paredes de uma galeria do conservatorio de artes e officios, em Paris, estavam inclinadas, e aprumaram-se com barras de ferro que atravessaram as paredes de um a outro lado da galeria, e que foram apertadas a quente com porcas: pelo resfriamento das barras as paredes foram obrigadas a aproximar-se na parte superior, diminuindo assim a sua inclinação; e esta operação repetida produziu o resultado que se desejava.

Para guarnecer as rodas das carruagens colloca-se e ajusta-se sobre cada uma das caimbas um circulo de ferro em braza, o qual se contrae pelo resfriamento e aperta as rodas. Quando é preciso tirar os chaços basta aquecer os circulos de ferro, cujo contorno augmenta pela dilatação.

265.—**Precauções com a dilatação dos solidos.**—Os exemplos do numero antecedente demonstram vantagens, que resultam de se aproveitar a pressão desenvolvida na dilatação ou contracção; em muitos casos, porém, ella é prejudicial, e deve dispor-se tudo para evitar os seus effeitos.

Assim, por exemplo, as folhas metallicas que se empregam na cobertura de alguns edificios, devem ser sobrepostas como as telhas, para que seja livre a sua dilatação. As barras, que formam os rails das vias ferreas, devem ficar com uma pequena distancia umas das outras, para que possam dilatar-se. As caldeiras collocadas nos fornos exigem uma certa *folga*, como vulgarmente se diz. Os tubos de canalisação devem ser *compensados*, isto é, dispostos de maneira que em certas distancias um possa entrar no imme-

diato através de um bocim destinado a evitar a saída do liquido.

É pelo effeito da dilatação que certos corpos, como os objectos de vidro ordinario, se partem, quando fortemente aquecidos; porque não se dilatando egualmente em todos os pontos e em todos os sentidos, afastam-se umas partes das outras, isto é, fendem-se. Pela mesma razão estes corpos se fracturam quando soffrem um resfriamento subito.

266.—**Compensação dos pendulos.**—Dependendo a duração da oscillação de um pendulo do seu comprimento (112), o qual varía com a temperatura, é claro que as mudanças d'esta produzem irregularidades no movimento do pendulo, que são muito inconvenientes quando elle se applica aos relogios.

É por esse motivo que os relogios se atrazam no verão e se adiantam no inverno. As dilatações são, n'este caso, um mal, porém com o mesmo mal se obtem o remedio; não é possivel evital-as, mas dispôem-se as coisas de modo que sejam compensadas.

No *compensador de Graham* a lente do pendulo é substituida por um cylindro de vidro com mercurio, cuja altura está calculada em relação ao comprimento da haste, de modo que a descida do centro de oscillação devida ao alongamento d'esta seja compensada pela subida determinada pela dilatação do liquido.

O *pendulo compensador* mais geralmente empregado é o de Harrisson, denominado de *grelha*, ou de *varas compensadoras*. Consta de um certo numero de quadros rectangulares, formados de varas, alternadamente de ferro e de latão, sendo as de ferro ligadas superiormente a travessas e as de latão ligadas inferiormente. A suspensão faz-se pela parte média da primeira travessa; e da ultima, collocada tambem superiormente, parte uma vara de ferro que está ligada á lente. D'esta fórma as hastes de ferro dilatam-se para baixo e fazem descer a lente, e as de latão alongam-se para cima

e fazem-na subir. Graduando os seus comprimento em relação com os coefficientes de dilatação do ferro e do latão, consegue-se que o centro de gravidade do systema esteja sempre na mesma altura: assim fica quasi resolvido o problema; o resto obtem-se por tentativas movendo um parafuso, que faz subir ou descer a lente.

Consegue-se tambem a compensação ligando á haste do pendulo duas laminas metallicas differentemente dilataveis, soldadas em toda a sua extensão, estando a mais dilatavel na parte inferior, e sustentando nos extremos dois pequenos pesos *m*, *m*, fig. 99. Assim, quando se eleva a temperatura o pendulo augmenta de comprimento, isto é, desce o seu centro de gravidade; porém as laminas curvam-se para a parte superior, em consequencia de estar em baixo a mais dilatavel, levantam aquelles pesos e fazem subir o centro de gravidade do systema: passam-se os phenomenos contrarios quando a temperatura baixa, e comprehende-se assim que se possa conseguir a compensação. O *compensador de laminas* foi imaginado pelo relojoeiro Martin.

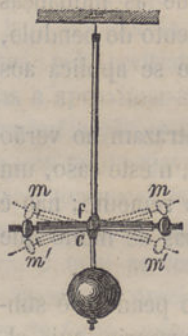


Fig. 99

267.—Applicações da dilatação dos gazes.—Mencionaremos como applicações importantes da dilatação dos gazes a *tiragem das chaminés* e os *caloriferos de ar quente*.

Sabe-se que para alimentar uma combustão, isto é, para chamar sobre o foco o ar distante, se emprega um tubo por onde são conduzidos os productos da combustão. O ar d'este tubo aquecendo, dilata-se, diminue de densidade, e eleva-se arrastando comsigo o fumo e os productos da combustão. Assim é aspirado o ar da casa. A chaminé é por tanto um excellente ventilador.

Denominam-se *caloriferos* os apparelhos destinados a transportar o calor ás differentes casas de um edificio. Os

— Os thermometros de gazes são muito sensiveis. —

= Os liquidos geralmente empregados são o mercurio e o alcool; o 1º porque se obtem puro com facilidade, dilata-se regularmente, é melhor conductor que os outros liquidos, e finalmente porque ferve a uma temperatura muito elevada, e por isso é proprio para medir as altas temperaturas; o 2º porque não congela e convém para medir as mais baixas temperaturas, que não podem apreciar-se com o mercurio, porque se solidifica a −39°.

caloriferos de ar quente são uma outra applicação da força ascencional do ar dilatado. Constam principalmente de um foco de calor estabelecido n'um pavimento terreo ou subterraneo e de tubos, distribuidos pelos differentes andares, terminados em aberturas denominadas *boccas de calor*.

D'aqui passa-se aos §§ 278, 279, 280, etc.

III.—Medição das temperaturas

268.—**Thermometros de mercurio e de alcool.**—Quasi todos os corpos poderiam em rigor servir para a construcção dos thermometros; porém, empregam-se de preferencia os liquidos, porque a sua dilatação, maior que a dos solidos e menor que a dos gazes, presta-se melhor ás observações das variações de temperatura; porque o estado molecular dos solidos é um pouco alterado pela acção do calor, e porque as variações de volume dos gazes dependem ao mesmo tempo da temperatura e da pressão.

Os liquidos geralmente empregados são o mercurio e o alcool; o 1.º porque ferve n'uma temperatura muito elevada, e por isso é proprio para medir as altas temperaturas; o 2.º porque não congela, e convém para medir as temperaturas muito baixas.

Os thermometros ordinarios, quer de mercurio, quer de alcool, constam de um tubo de vidro fechado na parte superior e ligado inferiormente a um reservatorio cylindrico ou espherico tambem de vidro: o liquido enche o reservatorio e uma parte do tubo. O instrumento póde estar mettido n'um estojo de madeira, no qual estão traçadas duas graduações, uma de cada lado do tubo. Se o instrumento deve servir para avaliar a temperatura de banhos, a graduação é feita sobre o proprio tubo; ou então a parte inferior do estojo póde dobrar-se por uma charneira, deixando a descoberto o reservatorio do thermometro, para ser mergulhado.

269.—**Construcção e graduação dos thermometros de mercurio.** (2) Para construir um thermometro de mercurio começa-se por escolher um tubo capillar bem calibrado, isto é, com o mesmo diametro em toda a sua extensão: faz-se isto assentando o tubo sobre uma regua graduada, e introduzindo-lhe uma gota de mercurio, que se obriga a percorrer todo o seu comprimento: se o tubo tem por toda a parte o mesmo calibre, o mercurio occupa sempre extensões eguaes da escala; não acontecendo assim rejeita-se o tubo e escolhe-se outro.

Feito isto sopra-se ou solda-se a um extremo do tubo um reservatorio cylindrico ou espherico, e ao outro um pequeno funil. Deita-se n'este funil mercurio, o qual não entra para o tubo, porque não póde sair o ar que o enche; aquece-se o reservatorio, o ar dilata-se, atravessa o liquido e sae em parte para a atmosphera; deixando-o resfriar, entra uma porção de mercurio para o reservatorio, porque predomina a pressão externa. Faz-se depois ferver esse liquido para os seus vapores expulsarem o resto do ar, e para que deixando-os condensar depois, por novo resfriamento, o mercurio, em virtude da pressão atmospherica, entre para o instrumento até o encher.

Para fechar o tubo, sem que fique ar dentro, é preciso regular a columna; para isso aquece-se o reservatorio até fazer sair uma porção de mercurio, tanto maior quanto mais altas são as temperaturas que o thermometro deve medir. Conservando dilatado o mercurio até encher completamente o tubo, funde-se á lampada a extremidade d'este para o fechar, separando-lhe ao mesmo tempo o funil.

Resta apenas graduar o instrumento: para este fim escolhem-se duas temperaturas fixas, que são ordinariamente como dissemos (253) a temperatura do gelo fundente e a do vapor d'agua na pressão de 760^{mm}. A primeira determina-se introduzindo o thermometro em gelo com o auxilio do apparelho representado na fig. 100, e a segunda collo-

269 = Construcção dos thermometros de mercurio. —

(1) - Para construir um bom thermometro de mercurio é preciso primeiramente purificar o liquido, e depois escolher o tubo.

(2) A purificação do mercurio não se obtem por simples distillação; porque os outros metaes que o acompanham tambem emittem vapores, que seriam arrastados pelo seu vapor. O melhor meio de purificar o mercurio consiste em tratal-o pelo acido nitrico.

Escolhido o tubo, lava-se primeiramente com acido nitrico fumante, para queimar as materias organicas que contem, e depois com agua; dessecando-o afinal com uma corrente d'ar quente.

Feito isto, sopra-se n'um dos extremos o reservatorio cylindrico ou espherico, e no outro extremo uma ampolha prolongada em tubo afilado.

Obtido o liquido bem puro, e o vaso thermometrico em boas condições, a construcção do thermometro consta das operações seg.tes:

Introducção do mercurio — Quebra-se a ponta do tubo, aquece-se ligeiramente a uma lampada d'alcool a ampolha, e mergulha-se o seu tubo n'um vaso contendo mercurio puro. O aquecimento faz sair por dilatação uma porção d'ar; o resfriamento immediato determina,

pelo predominio da pressão atmosphérica, a entrada do mercurio para a ampolha. Tornando a aquecer o reservatorio, faz-se sair nova porção d'ar; voltando o tubo e deixando-o resfriar n'esta posição, entra parte do mercurio para o reservatorio. Por fim aquece-se este mercurio até a ebullição; os seus vapores expellem o resto do ar e alguma humidade, e pelo resfriamento seguinte todo o reservatorio e o tubo se enchem.

= Regular a columna — Para fechar o tubo, sem ficar ar dentro é preciso regular a columna: para esse fim aquece-se o reservatorio até fazer subir uma porção de mercurio tanto maior quanto mais altas são as temperaturas que o thermometro deve medir. Conservando dilatado o mercurio até encher completamente o tubo, funde-se á lampada a sua extremidade para o fechar, separando-lhe ao mesmo tempo a ampolha.

= Determinação dos pontos fixos. — Marca-se o ponto fixo inferior, que é a temperatura do gelo fundente, introduzindo o thermometro n'um vazo cheio de gelo, e disposto de modo que até o gelo ao liquido proveniente da fusão, fig. 100: passado um quarto d'hora, ou pouco mais levanta-se o thermometro e marca-se o ponto onde o mercurio estacionou.

O ponto fixo superior é, como se sabe, a temperatura do vapor d'agua; determina-se na estufa representada na fig. 181, e que consta d'um reservatorio M contendo agua, e de dois tubos concentricos A e B, sendo mais alto o exterior B e fechado com uma tampa furada para deixar passar um thermometro t que se fixa n'uma rolha a. Aquecendo o apparelho, a agua ferve e os seus vapores sobem pelo tubo A, envolvem o thermometro, descem pelo espaço annullar comprehendido entre os dois tubos, e saem a final pela tuboladura D. No orificio E prende-se um pequeno manometro, com o qual se mede a differença entre a pressão do vapor d'agua e a da atmosphera.

No ponto onde estaciona o mercurio marca-se 100, se a pressão do vapor e 760^{mm}; não sendo marca-se $100 \pm \frac{n}{27}$. N'esta expressão n é a differença entre a pressão do vapor e 760^{mm}, e emprega-se o signal mais ou menos conforme aquella differença é positiva ou negativa. Isto funda-se em que uma differença de 27^{mm} acima ou abaixo de 760 eleva ou abaixa a temperatura da ebullição da agua de 1°; e em que sendo sempre mui pequenas as differenças observadas, pode-se admittir proporcionalidade entre aquellas quan-

tidades.

— Feitura da escala. — Faz a escala centigrada dividindo o intervallo entre os dois pontos fixos em 100 partes equaes; continuando as divisões para cima do ponto fixo superior, e reproduzindo-as a partir de zero para a parte inferior distinguem-se das outras estes gráos abaixo de zero representando-os com o seu numero precedido do signal — (menos).

---

cando-o na estufa de vapor, desenhada em córte vertical na fig. 101. Tendo marcado no tubo as posições do mer-

Fig. 100

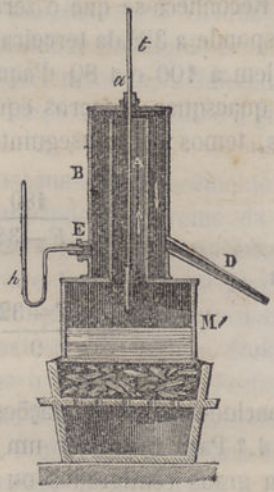


Fig. 101

curio nas duas temperaturas, divide-se o seu intervallo em cem partes eguaes, continuam-se as divisões para cima do ponto fixo superior, e reproduzem-se a partir do zero para a parte inferior: distinguem-se dos outros estes graus *abaixo de zero* representando-os com o seu numero precedido do signal — (menos).

270.—**Diversas escalas thermometricas.**—A escala assim obtida é a *centigrada* (de Celsius): além d'ella são muito conhecidas duas outras, a de *Reaumur* e a de *Fahrenheit*.

A de *Reaumur* tem os mesmos pontos fixos que a centigrada, e apenas differe d'ella, em que em logar de 100 marca-se 80 no ponto fixo superior; dividindo-se por conseguinte o intervallo em 80 partes eguaes.

A escala de *Fahrenheit* tem o mesmo ponto fixo superior, no qual se marca 212; o ponto fixo inferior é a temperatura

da mistura frigorifica composta de partes eguaes de sal ammoniaco e gelo: o intervallo é dividido em 212 partes eguaes e as divisões são prolongadas para cima e para baixo.

Reconhece-se que o zero das duas primeiras escalas corresponde a 32° da terceira; por tanto 180 graus d'esta equivalem a 100 e a 80 d'aquellas: representando por F, C e R quaesquer numeros equivalentes de graus das tres escalas, temos por conseguinte:

$$\frac{180}{F-32}=\frac{100}{C}=\frac{80}{R}$$

ou

$$\frac{F-32}{9}=\frac{C}{5}=\frac{R}{4}.$$

Conclue-se d'estas relações que:

1.° Para converter um certo n.° F de graus Fahrenheit em graus centigrados ou Reaumur, subtrae-se d'esse numero 32, e o resto multiplica-se por $\frac{5}{9}$ ou $\frac{4}{9}$.

2.° Para converter um certo n.° C de graus centigrados em graus Fahrenheit, multiplica-se esse numero por $\frac{9}{5}$ e ao producto junta-se 32. Para converter graus centigrados em Reaumur, basta multiplicar o numero d'aquelles por $\frac{4}{5}$.

3.° Para converter um certo n.° R de graus Reaumur em graus de Fahrenheit, multiplica-se esse numero por $\frac{9}{4}$ e ao producto junta-se 32. Para converter graus Reaumur em centigrados multiplica-se o seu numero por $\frac{5}{4}$.

Sempre que fallarmos de graus de temperatura sem indicação de escala, deve entender-se que são graus centigrados.

271.—**Construcção dos thermometros de alcool.**—Os tubos dos thermometros de alcool, ou de qualquer outro liquido, que não seja o mercurio, não são capillares, porque esse liquido dilata-se mais que o mercurio: em virtude d'esta circumstancia e da pequena densidade do liquido a construcção do instrumento faz-se de outra maneira; a differença refere-se principalmente á introducção do liquido e á graduação.

A introducção do liquido consegue-se mui facilmente aquecendo o reservatorio e mergulhando o extremo da haste n'um banho d'alcool córado de vermelho: basta isto para que o resfriamento determine a entrada de uma porção de alcool sufficiente para pela ebullição expulsar quasi todo o ar. Introduzindo novamente o extremo do tubo no banho entra o liquido, que quasi enche o instrumento. Fecha-se á lampada, regulando a columna, e tendo o cuidado de deixar uma pequena porção d'ar, o qual não só evita a divisão da columna, pela pressão exercida, mas contraria a ebullição que tende a fazer-se nas temperaturas elevadas. Se ainda assim o ar chega a dividir a columna liquida, faz-se retomar o seu logar ligando o thermometro pelo extremo da haste a um cordel e dando-lhe movimento de rotação; ou adaptando-o a qualquer apparelho de força centrifuga.

A graduação d'estes thermometros, assim como a dos thermometros ordinarios de mercurio, é feita por comparação com um thermometro padrão: introduzem-se ambos n'um banho, cuja temperatura se faz variar, e marcam-se no thermometro os numeros lidos no padrão.

272.—**Deslocamento dos pontos fixos.**—Os thermometros construidos como dissemos no num. antecedente e no num. 269 apresentam uma causa de erro, a que é preciso attender: passado algum tempo reconhece-se variação nos pontos fixos, isto é, o thermometro não accusa 0° no gelo fundente, nem 100° no vapor d'agua á pressão de $0^{m},76$; as temperaturas indicadas são um pouco maiores, podendo at-

tingir a differença de dois graus, o que prova ter diminuido a capacidade do reservatorio.

Quiz-se explicar este phenomeno pela acção da pressão atmospherica; porém como elle se manifesta ainda nos thermometros abertos, a explicação é inadmissivel. A causa do phenomeno é talvez a especie de tempera que soffre o vidro, fortemente aquecido para se soprar o reservatorio, depois rapidamente resfriado pela introducção no gelo fundente: as moleculas não ficam por tanto na sua posição normal de equilibrio, e procuram com o tempo essa posição, resultando d'ahi a diminuição da capacidade do reservatorio.

As variações dos pontos fixos podem ser em sentido contrario, quando o thermometro tem sido fortemente aquecido.

É para verificar a posição do zero que alguns thermometros, de escala limitada a pequeno numero de graus elevados, teem um reservatorio intermedio, para que abaixo d'elle esteja marcada a posição do zero.

273.—**Sensibilidade dos thermometros.**—De duas maneiras differentes se considera a sensibilidade dos thermometros.

É *sensivel* o thermometro que accusa promptamente as variações de temperatura; para isso deve ter pequena massa de mercurio e grande superficie. É preferivel então o reservatorio cylindrico ao espherico, e convém que o cylindro seja de pequeno diametro: ás vezes faz-se o reservatorio tão estreito e comprido, que se enrola em espiral para occupar menos espaço.

É *sensivel* o thermometro que denuncia fracções muito pequenas do grau: deve então o reservatorio conter grande massa de mercurio, a fim de cada grau occupar uma grande extensão do tubo.

As duas especies de sensibilidade contrariam-se. Conciliam-se, quanto possivel, fazendo pequeno o reservatorio e muito delgado o tubo; tão delgado que é preciso, para distinguir a columna de mercurio, fazer a secção interior com a fórma elliptica muito alongada.

274.—**Thermometro metallico.**—Attendendo-se á desegual dilatabilidade dos metaes teem sido construidos differentes thermometros, onde esse phenomeno se applica.

O *thermometro metallico de Bréguet*, formado de tres laminas sobrepostas de platina, ouro e prata, constituindo uma só enrolada em espiral, é extremamente sensivel. A lamina *s*, fig. 102, está presa superiormente a uma peça de latão e a outra extremidade, que suspende uma agulha movel sobre um mostrador horisontal, está livre. A prata, que é o mais dilatavel dos tres metaes, fica na parte interior, e a platina, que é o menos dilatavel, na exterior; o oiro collocado entre as duas laminas estabelece uma compensação, e evita a ruptura, que se faria se estivessem em contacto, sendo obrigadas a dilatar-se conjunctamente, a prata e a platina. Quando augmenta ou diminue a temperatura, a espiral destorce ou torce mais, e a agulha move-se para um ou outro lado; como a espiral tem pequena massa o instrumento é muito sensivel. O mostrador é graduado por comparação com um thermometro de mercurio.

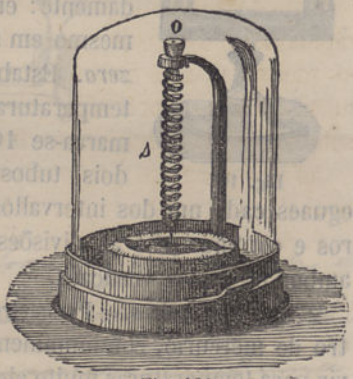


Fig. 102

Para evitar as oscillações e deformações da helice, quando se transporta o instrumento, introduz-se n'ella pelo orificio *o*, uma haste metallica.

275.—**Thermometro differencial de Leslie.**—Os *thermometros differenciaes* servem para indicar a differença das temperaturas de dois logares proximos.

O *thermometro differencial de Leslie*, fig. 103, consta de um tubo estreito duas vezes recurvado em angulo recto, terminado por duas espheras de eguaes capacidades: o tubo

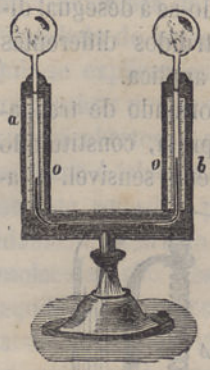


Fig. 103

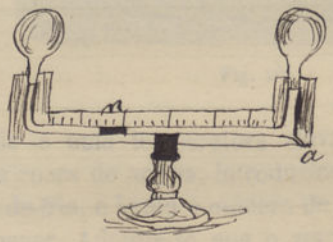
tem uma porção de acido sulfurico córado, *ab*, que sóbe nos ramos verticaes; o resto do tubo e as espheras estão cheias d'ar. Distribue-se por egual a massa d'ar, de ambos os lados do liquido, aquecendo cada uma das extremidades alternadamente: então o nivel do liquido é o mesmo em ambos os ramos, e marca-se *zero*. Estabelece-se uma differença de temperatura de 10° nas duas espheras; marca-se 10 nos niveis do liquido nos dois tubos; divide-se em dez partes eguaes cada um dos intervallos entre estes pontos e os zeros e continuam-se as divisões para baixo e para cima em ambos os ramos verticaes.

276.—**Pyrometros.—Pyrometro de Wedgwood.**—O thermometro de mercurio, commummente empregado, não póde servir para temperaturas muito elevadas, como a dos fornos, das forjas, etc.; não só porque o liquido se volatilisaria, mas porque o vidro se fundiria: empregam-se então os *pyrometros*.

Estes instrumentos podem ser formados de reguas metallicas; podem fundar-se na contracção da argilla pela acção do fogo; ou, melhor ainda, ser simplesmente thermometros de ar, ou de um vapor, como o de iode, tendo o reservatorio de platina ou de porcelana.

O pyrometro de Wedgwood é fundado na contracção uniforme e permanente que a argilla bem secca experimenta, quando submettida á acção do fogo. Consta, fig. 104, de uma chapa de latão sobre a qual estão fixas tres reguas do mesmo metal um pouco inclinadas entre si, de modo que o intervallo entre a terceira e a média é o prolongamento do intervallo que fica entre esta e a primeira. As duas reguas extremas estão graduadas em 240 partes, que são graus do pyrometro: uns pequenos cones de argilla *G*, depois de bem seccos em uma estufa, ajustam-se no zero.

275a = Thermometro de Rumford =



O thermometro de Rumford differe do de Leslie em ter mais esteusa a parte horisontal do tubo, em ter esfheras muito maiores, e a columna liquida substituida por um simples (1) cursor interno com o comprimento de dois centimetros pouco mais ou menos. Quando as duas esfheras estão na mesma temperatura e a linha média do indicador está no meio do tubo horisontal, marca-se zero em cada um dos extremos, e depois faz-se a graduação por um processo semelhante ao descripto para o thermometro de Leslie.

---

(1) - O cursor pode ser de mercurio, de acido sulfurico.

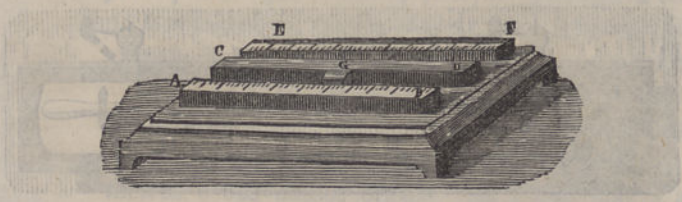


Fig. 104

Avalia-se uma temperatura elevada communicando-a a um dos cones de argilla, introduzindo este entre as reguas, depois de frio, e lendo o numero de graus indicado pela sua base menor. Admitte-se que o zero do pyrometro corresponde a 580 graus centigrados e cada grau a 72: por conseguinte se a argilla indica 12°, a temperatura do forno, expressa em graus centigrados, é de $12 \times 72° + 580° = 1444°$.

277.—Thermometros de maxima e minima de Rutherford.— Para indicar as temperaturas extremas do ar, n'um certo intervallo de tempo, empregam-se frequentemente os *thermometros de maxima e minima.* Os do systema Rutherford são thermometros ordinarios dispostos horisontalmente: o de maxima, fig. 105, é de mercurio com um index

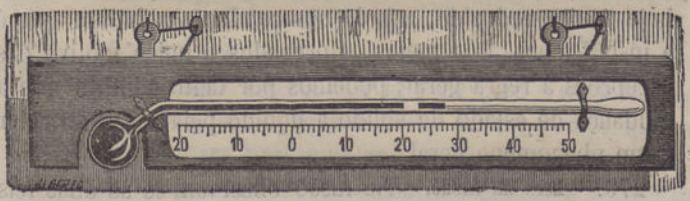


Fig. 105

d'aço, o qual é impellido quando a temperatura sóbe, e abandonado quando desce: o de minima, fig. 106, é de alcool com index de esmalte, arrastado pelo liquido quando a temperatura baixa, e conservado estacionario quando sóbe; porque o alcool passa entre a parede do tubo e a superficie do cylindro de esmalte.

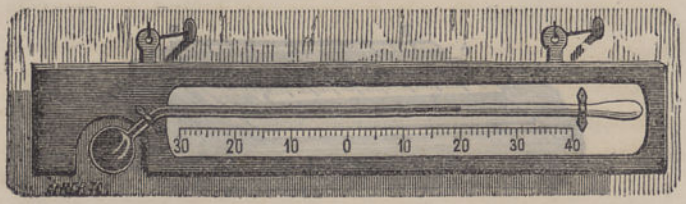


Fig. 106

No thermometro de maxima lêem-se os graus correspondentes á extremidade do index mais proxima do reservatorio; no de minima leem-se os graus correspondentes á extremidade mais distante.

Daqui volta-se aos §§ 260 a 267

IV.—Mudança de estado dos corpos

278.—I.—**Fusão.—Substancias fusiveis e refractarias.**—Dá-se o nome de *fusão* ao phenomeno da mudança de estado de um corpo de solido a liquido pela acção do calor.

Antigamente classificavam-se as substancias em *fusiveis* e *refractarias* ou *fixas;* porque era muito grande o numero d'aquellas que não era possivel fundir. Este numero está hoje muito reduzido, e tudo nos conduz a acreditar que é a insufficiencia dos meios empregados o unico motivo das excepções á regra geral; podemos por tanto admittir que a mudança de estado de solido a liquido pela acção do calor é um phenomeno geral.

279.—**Leis da fusão.**—Na fusão observam-se as duas leis seguintes:

1.ª *A temperatura da fusão é sempre a mesma para cada substancia, sendo constante a pressão exercida sobre ella:* esta temperatura denomina-se o *ponto de fusão* da substancia e constitue um dos seus caracteres physicos.

2.ª *A temperatura conserva-se fixa desde que a fusão*

principia até que termina, qualquer que seja a intensidade do foco calorifico. Com o augmento ou diminuição d'aquella, apenas se consegue accelerar ou retardar o phenomeno.

280.—**Calor de fusão.**—A antiga theoria do calor não podia explicar a segunda lei da fusão, que nos mostra a desapparição do calor, deixando de ser sensivel aos thermometros e aos nossos orgãos; limitava-se pois a apontar o facto e a dar-lhe um nome: dizia que o calor se dissimulava e se tornava *latente.*

A theoria mechanica do calor, pelo contrario, dá completa explicação do phenomeno. A fusão exige um trabalho, não só para vencer a cohesão e fazer a desaggregação das moleculas, mas para as afastar ou aproximar; porque, como veremos (285), o corpo depois de fundido não fica com o volume que tinha em quanto era solido. Este trabalho é effectuado pelo calor, que n'elle se transforma.

Á quantidade de calor que se transforma em trabalho para produzir a fusão, dá-se o nome de *calor de fusão:* mede-se pelo numero de *calorias* que um kilogramma de um corpo absorve para passar de solido a liquido sem mudar de temperatura.

Costuma citar-se a experiencia seguinte, para dar idéa do calor de fusão: misturando um kilogramma d'agua a 79° com um egual peso de agua a zero, obteem-se 2^k d'agua a 39°,5, como devia esperar-se; porém empregando em logar da agua a zero, um kilo de gelo n'esta temperatura, obteem-se 2^k de agua a zero: assim o calor que a agua absorve para passar de zero a 79° é o preciso para fundir um kilogramma de gelo sem lhe mudar a temperatura. O calor de fusão da agua é por conseguinte 79 calorias.

281—**Fusão vitrea.**—As leis da fusão são estabelecidas suppondo que os corpos passam rapidamente do estado solido ao estado liquido; ha porém corpos que antes d'isso passam por differentes graus de amollecimento, e cujo ponto de fusão não póde, por conseguinte, ser marcado exacta-

mente. Estão n'este caso os vidros, o acido phosphorico, os silex, as resinas, certas ligas, etc.

Esta fusão denomina-se *fusão vitrea;* porque o vidro apresenta-a em alto grau: n'esta propriedade se fundam os processos empregados para o soprar e trabalhar.

282—**Dissolução.**—A acção dos liquidos sobre os solidos dispensa, ás vezes, a acção do calor; e fal-os passar ao estado liquido espalhando-os na sua massa: a este phenomeno dá-se o nome de *dissolução.*

N'esta mudança de estado não ha temperatura fixa, isto é, a dissolução póde fazer-se em differentes temperaturas; porém ha, como na fusão, uma absorpção de calor que então se traduz em resfriamento do liquido.

Ás vezes antes da dissolução produz-se a combinação do solido com o liquido, e é o composto que afinal se dissolve: como em todas as combinações chimicas ha aquecimento, se este predomina sobre o resfriamento devido á dissolução póde, como resultado do phenomeno, o liquido aquecer. Isto depende das proporções em que se mistura o solido com o liquido.

283—**Misturas frigorificas.**—Misturando os solidos e os liquidos em taes proporções que da dissolução resulte resfriamento, obteem-se as *misturas frigorificas,* com as quaes são produzidas artificialmente baixas temperaturas.

A mistura mais geralmente usada para fazer *sorvetes,* isto é, para congelar facilmente xaropes, é a do gelo em fragmentos com o sal das cozinhas; uma parte d'este com duas d'aquelle produz um resfriamento de 20 graus.

Hoje emprega-se nas *sorveteiras de familia* a mistura de 8 partes de sulfato de soda e 5 de acido chlorhydrico.

Para evitar o perigoso emprego dos acidos é melhor recorrer á mistura de partes eguaes de agua e de nitrato de ammoniaco.

284.—II—**Solidificação.**—**Suas leis.**—Entende-se por *solidificação ou congelação* o phenomeno da passagem de um

corpo do estado liquido para o estado solido, pela acção de um resfriamento mais ou menos intenso.

Podemos dizer, como para a fusão, que se ha liquidos que ainda não foi possivel solidificar, é porque não se dispõe por emquanto de meios capazes de produzir resfriamentos bastante intensos.

O phenomeno da solidificação é regido pelas seguintes *leis* analogas ás da fusão:

1.ª *Cada substancia começa a solidificar-se a uma temperatura fixa, que é a do seu ponto de fusão;*

2.ª *A temperatura da solidificação conserva-se constante durante todo o tempo que dura a mudança de estado.*

D'esta segunda lei concluía-se, na antiga theoria, que os corpos quando se solidificavam abandonavam o calor tornado latente pela fusão, isto é, o calor que elles absorviam para se constituir no estado liquido. Na theoria moderna este calor considera-se proveniente da transformação do trabalho interior que leva as moleculas á posição que lhes compete no estado solido.

285.—**Variação de volume pela solidificação.**—Quasi todos os corpos diminuem de volume quando se solidificam; fazem excepção a agua, o antimonio, o bismutho, o ferro fundido e a prata.

É por este motivo que o gelo fluctua sempre nas aguas dos rios, dos lagos, etc.; uma vez que a sua densidade diminue pelo augmento de volume.

É por egual razão que os vasos cheios d'agua, as rochas e arvores onde ella se infiltrou, rebentam quando o liquido gela.

A propriedade que tem o ferro fundido de augmentar de volume pela solidificação torna-o excellente para todas as operações de moldagem; porque pela expansão insinua-se perfeitamente em todas as depressões do molde.

286.—**Sobre-fusão.**—Os liquidos, em determinadas circumstancias, podem ser resfriados abaixo do ponto de soli-

dificação sem mudar de estado: apresentam então o phenomeno da *sobre-fusão*.

Dá-se este phenomeno quando o liquido é abandonado a um resfriamento muito lento, livre de qualquer agitação e do contacto com o ar; ou quando o liquido está contido em tubos capillares, molhados por elle. Isto explica o motivo porque resistem muito ao frio certas plantas, cujos tecidos são atravessados por canaes muito estreitos: os liquidos n'estes canaes não congelam, ainda que a temperatura do ambiente desça abaixo do ponto de solidificação.

A *sobre-fusão* é principalmente notavel em certas dissoluções salinas sobre-saturadas, fóra da acção do ar.

287.—**Regelo.**—O phenomeno do *regelo*, descoberto em 1850 por Faraday, consiste na congelação da agua que molha dois pedaços de gelo fundente levados ao contacto, do que resulta soldarem-se esses fragmentos: o phenomeno verifica-se até na agua, estando ella quente a ponto de não se lhe poderem metter as mãos.

Explicam-se pelo regelo os phenomenos da *moldagem do gelo* imaginados por Tyndall; e bem assim o movimento das geleiras e a facilidade com que ellas se amoldam aos valles que percorrem.

288.—**Crystallisação.**—Os liquidos, solidificando-se lentamente e sem perturbação, constituem pequenos corpos de fórmas geometricas, limitados por faces planas e arestas rectilineas, denominados *crystaes*.

A producção dos crystaes diz-se *crystallisação*.

A crystallisação faz-se pela *via secca*, reduzindo os corpos ao estado liquido sob a acção do calor, e deixando-os depois resfriar lentamente; ou pela *via humida*, dissolvendo-os n'um liquido frio ou quente, o qual se deixa depois resfriar ou se faz volatilisar.

289.—**Solidificação subita.**—Fazendo solidificar repentinamente um liquido, as moleculas não teem tempo de se dispor com regularidade em crystaes, e ficam surprehendidas

290a = Força elastica dos vapores. — Os vapores teem, como os gazes uma força elastica que os faz adquirir maior volume, quando cedem as paredes do vaso onde estão encerrados, ou que, no caso contrario, se traduz por uma pressão n'estas paredes. { Força elastica é a tensão que os gazes e vapores exercem sobre as paredes dos vazos que os contêm. }

Demonstra-se a tensão dos vapores com um tubo de vidro dobrado em siphão, tendo o ramo menor fechado e o maior aberto: no tubo introduz-se mercurio até meia altura do ramo aberto, e faz-se passar para o ramo menor fechado uma gota d'um liquido volatil, como o ether, por exemplo. Mergulhando o tubo n'um banho d'agua quente, o mercurio desce de a até b no menor e sobe até d no outro; o espaço ab fica cheio d'um gaz, que é o vapor do ether, cuja tensão equilibra o peso da columna de mercurio de augmentada da pressão atmosperica exercida em d.

Quanto maior é a temperatura do banho, maior é a differença de nivel dc, o que prova que a tensão do vapor cresce com a temperatura.

Deixando resfriar o banho ou retirando d'elle o tubo, desapparece o vapor que enche o espaço ab, reapparecendo a gota do ether.

n'um equilibrio instavel: o solido diz-se *temperado*, adquirindo em geral, mais dureza e fragilidade, e menor densidade.

Fundindo o vidro e lançando-o em gotas na agua, cada uma d'estas constitue um solido bastante resistente, conhecido pelo nome de *lagrima batavica;* porém pondo a descoberto a massa interna, o que se faz quebrando-lhe a pequena ponta que o termina, reduz-se immediatamente a pó.

290.—**III.—Vaporação.**—Denomina-se *vaporação* o phenomeno da passagem do estado liquido ao estado gazoso. O gaz que se obtem recebe particularmente o nome de *vapor*.

Chamam-se *volateis* os liquidos que teem a propriedade de se reduzir a vapores, e *fixos* os que não dão vapores em nenhuma temperatura: estão n'este ultimo caso os oleos gordos, como o azeite, que muito aquecidos decompõem-se; e no primeiro caso os oleos essenciaes, a agua, o alcool, o ether, etc.

Ha corpos solidos que emittem vapores á temperatura ordinaria, como são a camphora e, em geral, as substancias aromaticas; outros sendo aquecidos passam immediatamente do estado solido ao estado de vapor, como o arsenico, o iode, etc.; estes ultimos só com difficuldade se obteem no estado liquido.

Vamos estudar a formação dos vapores nas tres circumstancias seguintes: 1.ª instantaneamente no vacuo; 2.ª lentamente em qualquer temperatura nos gazes—é a *evaporação;* 3.ª muito rapidamente nos mesmos gazes a uma temperatura fixa, sob a fórma de bolhas que rebentam á superficie dos liquidos—é a *ebullição*.

291.—**Formação dos vapores no vacuo.—Espaço saturado.—Tensão maxima.**—Introduzindo n'um tubo barometrico uma gota de um liquido volatil, alcool, por ex., por meio de uma pipeta de ponta curva, o liquido atravessa o mercurio, porque é menos denso que elle, e chegando á camara barometrica desapparece, fazendo deprimir bastante a columna de mercurio. Como se dá o mesmo facto quando se introduz

no barometro uma porção de gaz, conclue-se que o liquido se transforma instantaneamente em vapor, o qual pela sua força elastica ou tensão deprime a columna mercurial; o valor d'esta depressão mede, por conseguinte, a tensão do vapor.

Fica d'este modo demonstrado que *no vacuo os vapores formam-se instantaneamente.*

Fig. 107

Introduzindo pouco a pouco no barometro mais gotas liquidas, nota-se que a columna continúa a deprimir-se, o que prova a formação de novas quantidades de vapor, e o augmento da sua tensão; chega porém um momento em que o liquido apparece sobre o mercurio, isto é, em que termina a formação dos vapores: diz-se que então o *espaço está saturado*, ou os *vapores estão á saturação.*

Repetindo a experiencia mencionada no principio d'este numero com o barometro de tina alongada, fig. 107, que serviu para demonstrar a lei de Mariotte, e augmentando ou diminuindo o espaço em que se contém o vapor, isto é, levantando ou abaixando o tubo, reconhece-se, em quanto não existe liquido sobre o mercurio, que o vapor segue, como os gazes, a lei de Mariotte isto é, que os seus volumes estão na razão inversa das pressões. Fazendo mergulhar mais o tubo vê-se descer a columna de mercurio, em virtude do augmento de tensão do vapor; porém chega um momento em que fica estacionaria, e n'esta occasião apparece o liquido sobre o mercurio. Isto quer dizer que o vapor saturado tem uma tensão que não se póde exceder; por este motivo diz-se que é *maxima.*

Levantando o tubo, vê-se desapparecer pouco a pouco o liquido, e, em quanto não desapparece totalmente, a columna de mercurio conserva-se estacionaria.

Logo, os vapores comportam-se como os gazes quando não estão á saturação: n'estas condições não ha distincção entre uns e outros; por tanto os gazes são vapores *não molhados*, isto é, não saturados.

A tensão maxima de um vapor cresce com a temperatura, como se prova fazendo experiencias analogas a temperaturas differentes.

Á mesma temperatura os vapores dos diversos liquidos não teem a mesma tensão maxima. Demonstra-se este principio com o feixe barometrico, isto é, com uns poucos de tubos barometricos mergulhados na mesma tina, reservando um para barometro e introduzindo nos outros differentes liquidos, como agua, alcool, ether, etc.; reconhece-se então que as columnas de mercurio não descem á mesma altura, por conseguinte as tensões maximas dos diversos liquidos são deseguaes. passar ao § 302.

292.—**Lei da mistura dos gazes e vapores.**—Um liquido, encerrado n'um espaço fechado e que contém um gaz, tambem fornece vapores, que attingem uma tensão maxima, como no vacuo: o gaz diz-se então *saturado* do vapor; a differença unica consiste em que no vacuo esta saturação faz-se instantaneamente, e n'um gaz leva algum tempo.

O phenomeno da *mistura dos gazes e vapores* é regido pela lei seguinte descoberta por Dalton.

A *força elastica do vapor, que satura um espaço cheio de gaz, é a mesma que no vacuo á mesma temperatura;* por tanto *a tensão da mistura de gazes e vapores é egual á somma das tensões dos vapores e gazes misturados.*

293.—**Evaporação: circumstancias que a modificam.**—A *evapo-*

phera limitada, isto é, n'um espaço fechado e d'ella acaba-

no barometro uma porção de gaz, conclue-se que o liquido se transforma instantaneamente em vapor, o qual pela sua força elastica ou tensão deprime a columna mercurial; o valor d'esta depressão mede, por conseguinte, a tensão do vapor.

Fica d'este modo demonstrado que *no vacuo os vapores formam-se instantaneamente.*

Fig. 107

Introduzindo pouco a pouco no barometro mais gotas liquidas, nota-se que a columna continúa a deprimir-se, o que prova a formação de novas quantidades de vapor, e o augmento da sua tensão; chega porém um momento em que o liquido apparece sobre o mercurio, isto é, em que termina a formação dos vapores: diz-se que então o *espaço está saturado*, ou os *vapores estão á saturação.*

Repetindo a experiencia mencionada no principio d'este numero com o barometro de tina alongada, fig. 107, que serviu para demonstrar a lei de Mariotte, e augmentando ou diminuindo o espaço em que se contém o vapor, isto é, levantando ou abaixando o tubo, reconhece-se, em quanto não existe liquido sobre o mercurio, que o vapor segue, como os gazes, a lei de Mariotte isto é, que os seus volumes estão na razão inversa das pressões. Fazendo mergulhar mais o tubo vê-se descer a columna de mercurio, em virtude do augmento de tensão do vapor; porém chega um momento em que fica estacionaria, e n'esta occasião apparece o liquido sobre o mercurio. Isto quer di-

A pressão retarda a evaporação.

Levantando o tubo, vê-se desapparecer pouco a pouco o liquido, e, em quanto não desapparece totalmente, a columna de mercurio conserva-se estacionaria.

Logo, os vapores comportam-se como os gazes quando não estão á saturação: n'estas condições não ha distincção entre uns e outros; por tanto os gazes são vapores *não molhados*, isto é, não saturados.

A tensão maxima de um vapor cresce com a temperatura, como se prova fazendo experiencias analogas a temperaturas differentes.

Á mesma temperatura os vapores dos diversos liquidos não teem a mesma tensão maxima. Demonstra-se este principio com o feixe barometrico, isto é, com uns poucos de tubos barometricos mergulhados na mesma tina, reservando um para barometro e introduzindo nos outros differentes liquidos, como agua, alcool, ether, etc.; reconhece-se então que as columnas de mercurio não descem á mesma altura, por conseguinte as tensões maximas dos diversos liquidos são deseguaes. passar ao § 302

292.—**Lei da mistura dos gazes e vapores.**—Um liquido, encerrado n'um espaço fechado o que contém um gaz, tambem fornece vapores, que attingem uma tensão maxima, como no vacuo: o gaz diz-se então *saturado* do vapor; a differença unica consiste em que no vacuo esta saturação faz-se instantaneamente, e n'um gaz leva algum tempo.

O phenomeno da *mistura dos gazes e vapores* é regido pela lei seguinte descoberta por Dalton.

A *força elastica do vapor, que satura um espaço cheio de gaz, é a mesma que no vacuo á mesma temperatura;* por tanto *a tensão da mistura de gazes e vapores é egual á somma das tensões dos vapores e gazes misturados.*

293.—**Evaporação: circumstancias que a modificam.**—A *evaporação* é a formação lenta de vapores nos gazes em qualquer temperatura: póde fazer-se, por conseguinte, n'uma atmosphera limitada, isto é, n'um espaço fechado e d'ella acaba-

mos de tratar, ou n'uma atmosphera illimitada, isto é, ao ar livre.

As circumstancias principaes que influem n'esta evaporação são as que influem na primeira, isto é, a pressão e a temperatura. A quantidade de vapores que o liquido fornece n'um certo tempo cresce evidentemente com a diminuição d'aquella e com a elevação d'esta.

A evaporação de um liquido póde fazer-se em uma longa série de temperaturas; mas cessa quando o resfriamento chega a certo limite: assim o mercurio deixa de dar vapores a 10°, e o acido sulfurico a 30°.

Na evaporação propriamente dita influem tambem as circumstancias seguintes:

1.ª A quantidade de vapor do mesmo liquido já existente na atmosphera; 2.ª a renovação d'esta atmosphera; 3.ª a extensão da superficie de evaporação.

Comprehende-se a influencia das duas primeiras circumstancias, notando que a cada espaço corresponde uma quantidade de vapor, impossivel de se exceder; por conseguinte, quanto menos vapor contém o ar mais se póde desenvolver. A influencia da 3.ª circumstancia é evidente; porque na evaporação os vapores partem da superficie livre dos liquidos.

294.—**Mechanismo da ebullição.**—Aquecendo pela parte inferior um liquido contido em um vaso aberto, a evaporação augmenta consideravelmente; os vapores formam-se no interior do liquido; condensam-se antes de chegar á parte superior, e bem depressa, depois de um aquecimento conveniente, rebentam á superficie: é então que começa a *ebullição*.

A formação e a condensação successiva das bolhas de vapor produzem o ruido e a agitação consideravel que se observam na massa liquida, antes e durante a ebullição.

295.—**Leis da ebullição.**—O phenomeno da ebullição está subordinado ás seguintes leis geraes:

1.ª *A temperatura ~~em que começa a~~ da ebullição é fixa para cada substancia, quando se opera sempre á mesma pressão e em vasos da mesma natureza.*

Na pressão ordinaria da atmosphera esta temperatura de-

293a = Quando um liquido se evapora, absorve calôr, que se transforma em trabalho para affastar as suas moleculas e augmentar a força repulsiva.

de um liquido. Collocando uma porção de agua debaixo do recipiente da machina pneumatica, e rarefazendo o ar, a agua ferve á temperatura ordinaria, e até á temperatura do gelo. Reciprocamente, augmentando a pressão, em vez de a diminuir, retardamos a ebullição.

3.ª *A temperatura do liquido conserva-se invariavel em quanto dura a ebullição.* A maior ou menor intensidade do fóco de calor não faz senão tornar mais ou menos rapida a transformação do liquido em vapor.

D'esta lei conclue-se, como para a fusão, que na ebullição ha tambem transformação do calor fornecido pelo fóco no trabalho preciso para a mudança de estado. Este calor denomina-se *calor de vaporação.* } passar ao § 297

× 296.—**Frio produzido pela evaporação.—Congelação da agua no vacuo.**—Acabamos de dizer que na vaporação de um liquido ha sempre absorpção de grande quantidade de calor, que se transforma no trabalho preciso para se constituir o vapor. D'aqui resulta que na evaporação, em que o liquido se reduz a vapor sem para isso receber o calor necessario, deve haver, e ha com effeito, uma grande diminuição de temperatura: o resfriamento produzido é tanto maior quanto mais rapida é a evaporação.

N'este facto se fundam os processos usados no Egypto, em Hespanha e em Portugal para conservar a agua fresca.

mos de tratar, ou n'uma atmosphera illimitada, isto é, ao ar livre.

As circumstancias principaes que influem n'esta evaporação são as que influem na primeira, isto é, a pressão e a

2.ª = A tensão dos vapores emittidos por um liquido em ebullição é egual á pressão exterior.

(Portanto a tensão do vapor d'agua, quando ella ferve, é egual a uma athmosphera).

Na evaporação propriamente dita influem tambem as circumstancias seguintes:

1.ª A quantidade de vapor do mesmo liquido já existente na atmosphera; 2.ª a renovação d'esta atmosphera; 3.ª a extensão da superficie de evaporação.

Comprehende-se a influencia das duas primeiras circumstancias, notando que a cada espaço corresponde uma quantidade de vapor, impossivel de se exceder; por conseguinte, quanto menos vapor contém o ar mais se póde desenvolver. A influencia da 3.ª circumstancia é evidente; porque na evaporação os vapores partem da superficie livre dos liquidos.

294.—**Mechanismo da ebullição.**—Aquecendo pela parte inferior um liquido contido em um vaso aberto, a evaporação augmenta consideravelmente; os vapores formam-se no interior do liquido; condensam-se antes de chegar á parte superior, e bem depressa, depois de um aquecimento conveniente, rebentam á superficie: é então que começa a *ebullição*.

A formação e a condensação successiva das bolhas de vapor produzem o ruido e a agitação consideravel que se observam na massa liquida, antes e durante a ebullição.

295.—**Leis da ebullição.**—O phenomeno da ebullição está subordinado ás seguintes leis geraes:

1.ª *A temperatura ~~em que começa a~~ da ebullição é fixa para cada substancia, quando se opera sempre á mesma pressão e em vasos da mesma natureza.*

Na pressão ordinaria da atmosphera esta temperatura denomina-se o *ponto de ebullição da substancia.*

~~2.ª *Um liquido começa a ferver na temperatura para a qual a tensão do seu vapor é egual á pressão exercida sobre a sua superficie.*~~

Como a tensão do vapor cresce com a temperatura, conclue-se d'esta lei, que diminuindo ou augmentando a pressão, diminue-se ou augmenta-se a temperatura da ebullição de um liquido. Collocando uma porção de agua debaixo do recipiente da machina pneumatica, e rarefazendo o ar, a agua ferve á temperatura ordinaria, e até á temperatura do gelo. Reciprocamente, augmentando a pressão, em vez de a diminuir, retardamos a ebullição.

3.ª *A temperatura do liquido conserva-se invariavel em quanto dura a ebullição.* A maior ou menor intensidade do fóco de calor não faz senão tornar mais ou menos rapida a transformação do liquido em vapor.

D'esta lei conclue-se, como para a fusão, que na ebullição ha tambem transformação do calor fornecido pelo fóco no trabalho preciso para a mudança de estado. Este calor denomina-se *calor de vaporação.* } passar ao § 297

296.—**Frio produzido pela evaporação.—Congelação da agua no vacuo.**—Acabamos de dizer que na vaporação de um liquido ha sempre absorpção de grande quantidade de calor, que se transforma no trabalho preciso para se constituir o vapor. D'aqui resulta que na evaporação, em que o liquido se reduz a vapor sem para isso receber o calor necessario, deve haver, e ha com effeito, uma grande diminuição de temperatura: o resfriamento produzido é tanto maior quanto mais rapida é a evaporação.

N'este facto se fundam os processos usados no Egypto, em Hespanha e em Portugal para conservar a agua fresca.

Os vasos porosos, denominados *alcarazas*, cheios de agua, apresentam na parte exterior uma grande superficie humida para a evaporação, e esta é toda effectuada á custa do calor do liquido, cuja temperatura desce por este meio 10 ou 15 graus abaixo da temperatura do ambiente.

Deve-se a Leslie uma notavel experiencia na qual se faz gelar a agua expondo-a a uma rapida evaporação. Obtem-se este resultado collocando no recipiente da machina pneumatica um vaso de vidro com acido sulfurico concentrado, e sobre elle uma capsula metallica contendo uma pequena porção de agua. Fazendo o vacuo, a agua entra em evaporação rapida e os vapores formados são absorvidos pelo acido sulfurico: é tão grande o frio produzido por este modo que o resto da agua contida na capsula se reduz a gelo.

Passar ao § 4. do Appendice.

O sr. E. Carré construiu machinas que reproduzem em boas condições a experiencia de Leslie. Constam essencialmente de uma excellente bomba pneumatica e de um grande reservatorio para o acido sulfurico. A mesma alavanca move a bomba e um agitador que renova constantemente a superficie do acido. Em tres minutos estas machinas resfriam uma garrafa de agua de 30° a zero, e no minuto seguinte começa o apparecimento do gelo.

297.—**Causas que fazem variar a temperatura da ebullição de um liquido.**—Na temperatura da ebullição de um liquido influe principalmente a pressão, como se conclue da 2.ª lei citada; fazendo variar a pressão póde-se fazer ferver um liquido em todas as temperaturas.

A natureza dos vasos onde se aquecem os liquidos tambem influe na temperatura da sua ebullição; esta é mais elevada nos vasos de vidro do que nos de metal: isto é resultado da maior ou menor adherencia do liquido para as paredes do vaso, a qual é preciso vencer para que o vapor se forme. Esta adherencia é tão grande no acido sulfurico, que chega a ser perigoso fazel-o ferver pela maneira ordinaria nos vasos de vidro: facilita-se a separação das

bolhas de vapor collocando fios de platina no fundo do vaso.

A quantidade de gaz dissolvido n'um liquido tambem influe na sua temperatura de ebullição: esta é tanto mais elevada quanto menor é aquella quantidade. A agua privada de ar só ferve n'uma temperatura muito superior a 100°.

As substancias dissolvidas n'um liquido retardam ou acceleram a sua ebullição, conforme essas substancias são menos ou mais volateis que o liquido.

Note-se porém, que a temperatura do vapor d'agua na pressão de $0^m,760$ é sempre de 100°, quaesquer que sejam os vasos e as substancias dissolvidas. É por este motivo que não se mergulham os thermometros na agua a ferver, quando se quer marcar o ponto 100°, e unicamente se mergulham no vapor (269).

298.—**Experiencias que demonstram a influencia da pressão na formação dos vapores.—Fervedouro de Franklin.—Marmita de Papin.**—Mostra-se a ebullição em fracas pressões fazendo ferver a agua em um matraz, para expellir todo o ar; rolhando-o e volvendo-o para mergulhar o collo em agua fria, fig. 108. Passado algum tempo cessa a ebullição, resfria a agua, a qual fica sujeita apenas á pressão do seu vapor; porque o ar saíu e não entra. Borrifando o matraz, faz-se condensar este vapor, allivia-se a pressão e a ebullição renova-se, qualquer que seja a temperatura.

Fig. 108

Nota-se um effeito analogo no *fervedouro de Franklin:* é um tubo delgado, duas vezes recurvado em angulo recto, cujos extremos estão ligados a duas espheras de vidro: dentro do apparelho ha só agua e vapor de agua. Basta apertar uma das espheras com a mão para que o vapor, augmentando de tensão pelo calor, expulse o liquido para a outra esphera: este liquido, encontrando ali a pequena pressão do

seu vapor na temperatura do ambiente, entra immediatamente em ebullição. Para preparar este apparelho recebe-se a agua por uma das espheras, que está aberta; faz-se ferver o liquido na outra, e quando o vaso está cheio de vapores e o ar tem sido expulso, fecha-se a esphera á lampada.

Mostra-se a ebullição em pressões elevadas com a *marmita de Papin*[1], fig. 109. É um vaso cylindrico de latão *R*,

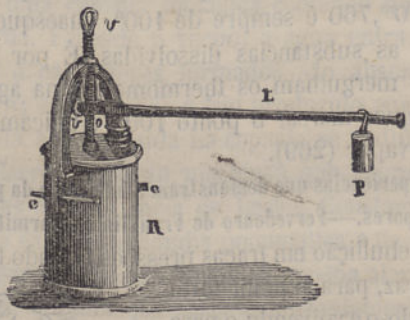


Fig. 109

de paredes muito espessas, fechado com uma tampa, fortemente apertada por um parafuso *vv*, na qual ha um orificio *o* tapado com uma alavanca de segurança *L*, cujo peso se póde regular á vontade até certo limite com a carga *P*. Logo que o vapor se fórma começa a exercer pressão, que augmenta progressivamente até equilibrar a que é exercida pela alavanca. É então que começa a ebullição apenas o vapor levantando a valvula sae para a atmosphera.

A temperatura do liquido é tanto mais elevada quanto maior é a pressão. passar ao § 296

[1] Este apparelho tem tambem o nome de *digestor;* porque a força dissolvente da agua é muito augmentada pela temperatura, e cose rapidamente certos alimentos *amollecendo até os ossos*, como dizia Papin. D'este modo é dissolvida a gelatina.

299.—IV.—**Liquefacção dos vapores.**—Para levar ao estado de saturação um vapor não molhado ha dois meios, a reducção do seu volume ou da sua temperatura, isto é, a compressão ou o resfriamento: quando o vapor está saturado, a menos diminuição do volume ou da temperatura fal-o passar ao estado liquido: assim a *liquefacção dos vapores* obtem-se empregando um ou ambos os meios seguintes—a compressão ou o resfriamento. (faz diminuir a tensão máxima dos vapores) (faz augmentar a tensão máxima dos vapores)

Se alguns gazes não teem sido liquefeitos, quer dizer, se não teem sido levados ao estado de vapores saturados, é porque não se dispõe ainda de meios de compressão e de resfriamento sufficientemente energicos.

Durante a liquefacção o gaz restitue o calor de vaporação isto é, o calor que se tinha transformado no trabalho necessario para a formação dos vapores. Esta circumstancia é muito util em varios casos, e principalmente no aquecimento de banhos, dos logares habitados, dos edificios publicos, das estufas, etc. Os apparelhos que se empregam n'este modo de aquecimento constam, em geral, de uma caldeira onde o vapor se produz e de um systema de tubos nos quaes elle circula e se condensa, cedendo, ao meio que os cerca, o calor de vaporação.

300.—**Distillação.—Alambiques.**—A *distillação* é a operação pela qual se reduzem os liquidos a vapores, por meio do calor, para os fazer condensar depois, pelo resfriamento, a fim de os purificar, separando-os de substancias fixas ou de liquidos menos volateis com que se achem misturados.

A distillação faz-se em vasos apropriados conhecidos pelo nome de *alambiques*, os quaes constam de tres partes: a *caldeira*, o *capitel* e a *serpentina*. A caldeira é o espaço onde se deita o liquido e que recebe a acção directa do fogo; o capitel é a capacidade superior da caldeira para onde se dirige o vapor formado n'esta, e que communica com a serpentina; esta é um tubo enrolado em espiral, mettido n'um vaso cheio d'agua fria, e aberto na parte externa

d'este vaso para dar saida ao liquido, resultante da condensação do vapor.

A agua que cerca a serpentina deve ser constantemente renovada, porque aquece rapidamente á custa do calor que o vapor abandona quando se condensa: para esse fim uma corrente continua d'agua fria é dirigida para a parte inferior do vaso, em quanto que a agua quente sae pela parte superior.

É por este processo que se obtem a agua distillada, e se converte a bordo a agua salgada em agua doce.

301.—Alambique de Salleron para o ensaio dos vinhos.—A indicação do alcoometro, introduzido nos vinhos, não tem valor; porque a densidade do liquido depende não só das proporções do alcool e da agua, mas tambem de muitas outras substancias dissolvidas. É preciso isolar todo o alcool e leval-o ao volume primitivo, juntando-lhe agua; só então serve o alcoometro, attendendo á temperatura do liquido e corrigindo as suas indicações com as tabellas de Gay-Lussac. Facilita-se esta operação advertindo que depois de distillar metade do liquido introduzido na caldeira tem passado todo o alcool.

O apparelho construido por Salleron é um pequeno alambique, fig. 110, composto de um balão de vidro *B* posto em communicação com

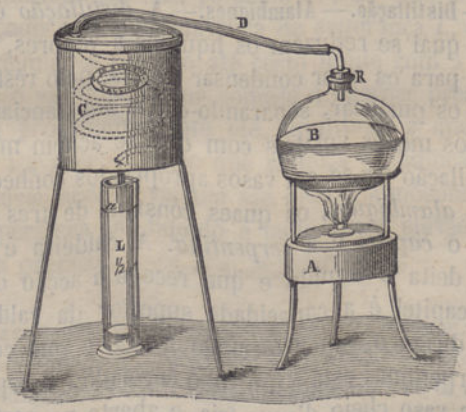


Fig. 110

uma serpentina *C* por meio de um tubo de cautchuc *D*. O vinho, ou o liquido espirituoso que se quer ensaiar, deita-se primeiramente n'um vaso cylindrico *L* até um traço superior *a*, e é esta porção de liquido que se submette á distillação, recebendo os productos no mesmo vaso até chegarem a um traço que marca metade do volume primitivo. Depois deita-se agua no vaso até attingir o traço superior e introduz-se no liquido o alcoometro e um thermometro. O apparelho é acompanhado de uma tabua de correcção de duas entradas, e por ella se determina a riqueza alcoolica do liquido.

(voltar ao § 292)

302.—**Propriedade das paredes frias.**—Para condensar o vapor contido em qualquer espaço, não é preciso resfriar todo esse espaço, basta abaixar a temperatura de uma parede. N'isto consiste a *propriedade das paredes frias*, de mui util applicação, e que é um caso particular do seguinte principio theorico: quando um liquido emitte vapores n'um espaço, cujas differentes partes não estão á mesma temperatura, distilla pouco a pouco da parte mais quente para a mais fria, onde se reune completamente; e se esta está disposta de modo que o liquido ahi recebido não póde cair para a parte mais quente, a tensão final do vapor é a tensão maxima correspondente á sua temperatura, que é a da parte mais fria.

303.—**Estado espheroidal.**—Projectando sobre uma lamina metallica aquecida ao rubro algumas gotas d'agua, ellas não entram em ebullição, arredondam-se formando globulos, que tão depressa estão em repouso como giram rapidamente sobre si mesmos, parecendo, em consequencia d'esse movimento, apresentar a fórma estrellada. A este estado do liquido deu Boutygny o nome de *estado espheroidal*.

Todas as substancias se comportam como a agua; é preciso porém que a lamina metallica tenha uma certa temperatura, como se reconhece deixando-a resfriar quando contém o liquido no estado espheroidal; porque chegando a um certo resfriamento o liquido entra repentinamente em ebullição, e desapparece.

O estado espheroidal é caracterisado pelas duas leis seguintes, faceis de demonstrar por experiencias: 1.ª *a temperatura dos liquidos no estado espheroidal é inferior á do seu ponto de ebullição;* 2.ª *os liquidos no estado espheroidal não tocam os vasos.*

Deitando n'uma capsula incandescente algumas gotas de acido sulfuroso, este corpo, que não se conserva liquido ao ar livre, porque ferve a — 10°, não entra em ebullição, e por conseguinte está n'uma temperatura inferior áquella. Deitando sobre o acido sulfuroso espheroidal algumas gotas d'agua, esta gela immediatamente, e assim se tira um pedaço de gelo de um vaso candente. Substituindo o acido sulfuroso pelo acido carbonico solido, e deitando-lhe mercurio, obtem-se este corpo no estado solido, sendo o seu ponto de solidificação — 39°.

As leis do estado espheroidal explicam o phenomeno notavel de podermos introduzir em chumbo derretido a mão humedecida com agua, ou em um banho de prata fundida os dedos humedecidos com acido sulfuroso; é preciso porém que a immersão não dure mais do que o tempo necessario para a evaporação do liquido, que humedece a mão, e que esta não se introduza rapidamente, a fim de não haver contacto com o banho.

V.—Machinas de vapor.

304.—**Diversos systemas de machinas de vapor.**—Denominam-se *machinas de vapor* as machinas cujo motor é a força elastica de um vapor, quasi sempre o da agua: classificam-se em relação á natureza do serviço que prestam, da maneira seguinte; 1.° *machinas fixas;* 2.° *machinas de navegação* ou *maritimas;* 3.° *locomotivas;* 4.° *locomoveis.*

Trataremos especialmente das primeiras, porque conhe-

cidas ellas, comprehende-se sem difficuldade a disposição das outras.

Em cada machina consideram-se principalmente duas partes: o *gerador do vapor*, que consta da caldeira e da fornalha; e o *systema motor* que consta essencialmente de um *cylindro* para onde o vapor se dirige a fim de pôr em movimento um embolo, e das peças que transformam o movimento da haste do embolo em movimento de rotação continuo, que é o que se deseja quasi sempre.

305.—**Machinas fixas.**—As machinas de vapor *fixas*, como o seu nome indica, são as que se estabelecem em qualquer logar para ahi prestarem o seu serviço. Dividem-se em *machinas de effeito simples* e de *effeito duplo*, conforme o vapor actua só por um ou por ambos os lados do embolo. Hoje são quasi exclusivamente empregadas as de effeito duplo, das quaes vamos dar uma resumida noticia.

Estas machinas podem ser de *baixa* ou de *alta pressão:* nas primeiras o vapor tem tensão inferior a duas atmospheras; nas ultimas a tensão do vapor é egual ou superior a este limite.

306.—**Caldeiras das machinas fixas.**—As caldeiras mais geralmente empregadas, e as unicas das machinas de alta pressão, teem a disposição indicada na fig. 111: são todas de ferro e com a fórma cylindrica, terminada por calotes esphericas. Inferiormente ao corpo principal da caldeira ha, quasi sempre, dois outros cylindros de menor diametro *E*, denominados *ebullidores*, communicando com aquelle por tubos verticaes, e completamente cheios de agua, em quanto que o corpo principal tem só metade ou quando muito dois terços da sua capacidade com este liquido. A chamma da fornalha *F* e os productos da combustão envolvem os ebullidores: uma chaminé muito alta *M* dá saída a estes productos e activa a tiragem.

A caldeira assim disposta é de *fornalha exterior:* hoje empregam-se muito as caldeiras de *fornalha interior*, nas

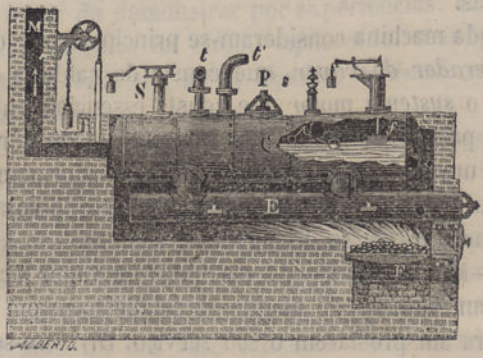


Fig. 111

quaes a chamma e os productos da combustão percorrem um ou dois tubos collocados no interior da caldeira, a qual, por conseguinte, não tem ebullidores.

As caldeiras teem um certo numero de accessorios indispensaveis, como são: *tubos* ou *fluctuadores*, que indicam o nivel da agua; *manometro*, que dá a pressão; *valvulas de segurança*, que não deixam augmentar a tensão do vapor além d'um certo limite, dando saída ao mesmo vapor. Finalmente, nas caldeiras ha sempre uma disposição que tem por fim regular a sua alimentação, isto é, a entrada da agua.

307.—**Systema motor.**—O vapor que vem da caldeira dirige-se para o cylindro, alternativamente para a parte superior ou inferior do embolo, saindo o vapor que está do lado opposto, para a atmosphera ou para um vaso com agua fria, denominado *condensador*, porque ahi em virtude da propriedade das paredes frias (302) se condensa quasi completamente, ficando o resto com a fraca tensão correspondente á temperatura da agua fria d'este vaso.

Esta *distribuição do vapor* é feita automaticamente pela machina, por intermedio de uma peça denominada a *gaveta*, cuja disposição é muito variavel. A mais simples é a se-

guinte, fig. 112: o vapor não entra immediatamente no cylindro, mas n'uma caixa adjacente, denominada *caixa de distribuição*, na qual ha tres aberturas; uma em communicação com a parte superior do cylindro, outra com a parte inferior e a terceira intermediaria com o espaço *o*, o qual communica com a atmosphera ou com o condensador, se a machina o tem. É sobre estas aberturas que se move a *gaveta*, a qual é um prisma rectangular cavado na face adjacente áquellas aberturas e que tem dimensões sufficientes para tapar sempre duas d'ellas.

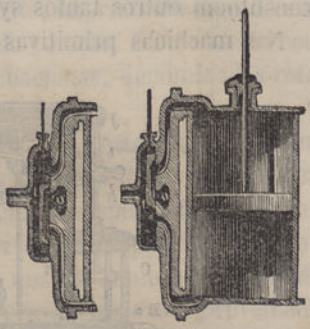


Fig. 112

Suppondo que está destapada a abertura inferior, como se vê na parte direita da figura, o vapor entra por ella para o parte inferior do embolo, obriga este a subir, e o vapor que está na parte superior entra na *gaveta* pela abertura superior e dirige-se depois para a abertura *o*, d'onde passa para a atmosphera, ou para o condensador. Ao mesmo tempo que o embolo sobe, a gaveta desce, de modo que no fim da carreira d'aquelle esta tem fechado o canal inferior, como se vê na parte esquerda da figura, e o vapor dirige-se então para cima do embolo, escapando-se o que está em baixo como se escapara antes o que estava em cima.

Não é preciso que o vapor nas machinas de alta pressão entre para o cylindro durante toda a carreira: basta entrar durante parte d'ella, actuando depois pela sua *expansão;* d'este modo poupa-se muito vapor, e por tanto combustivel. As machinas em que se aproveita este principio dizem-se *machinas de expansão.*

308.—**Transmissão do movimento.**—O embolo está ligado a uma haste, que tem movimento rectilineo alternativo, ou de vae-vem: para transmittir este movimento a um eixo de

rotação, podem empregar-se disposições muito diversas, que constituem outros tantos systemas de machinas fixas.

Nas machinas primitivas de Watt, de que a fig. 113 re-

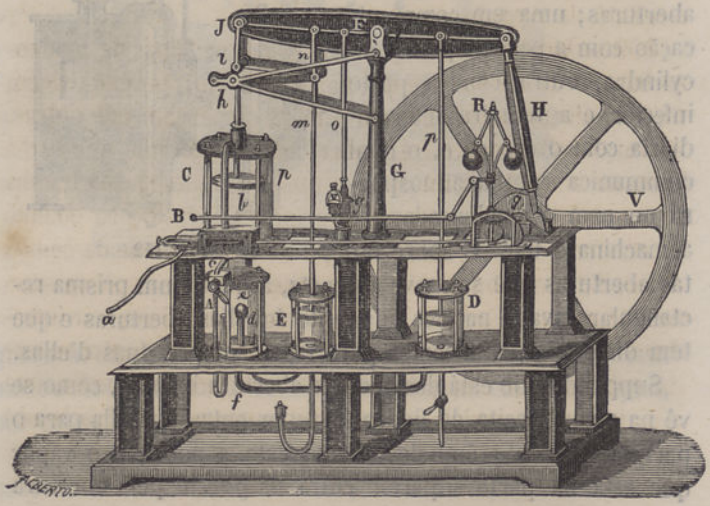


Fig. 113

presenta um modelo, o cylindro *C* é vertical, a sua haste *h* é ligada, por intermedio de um parallelogrammo articulado *ljn*, a uma peça muito pesada *F* denominada o *balanceiro*, fixa na parte média e ligada no outro extremo a um tirante *H*, o qual por meio de uma manivella imprime movimento continuo de rotação ao eixo *q*.

Hoje dispensa-se geralmente o balanceiro, e a haste do embolo articula-se immediatamente com o tirante: as machinas dizem-se então de *acção directa*. São d'este systema as machinas das *locomotivas*.

Um terceiro systema consiste em supprimir tambem o tirante e em articular a haste do embolo com a manivella: com esta disposição o cylindro é *oscillante*, aliás não seria possivel transmittir o movimento.

Teem-se feito muitas tentativas para dispensar todo o systema de transmissão de movimento, imprimindo logo ao embolo um movimento continuo de rotação. D'este modo constitue-se um quarto grupo de machinas, denominadas *rotativas* ou *de rotação directa.*

309.—**Accessorios do condensador.**—As machinas de condensação são quasi sempre de baixa pressão; porém exigem um grande numero de peças que se dispensam nas outras. Assim é indispensavel: 1.º uma bomba aspirante que tire a agua do condensador á medida que ella aquece; esta bomba extrae tambem o ar que se precipita no vasio proveniente da condensação do vapor, e d'aqui lhe veiu o nome de *bomba de ar;* 2.º uma bomba aspirante-premente, que aspire a agua fria de um poço ou de qualquer outro deposito e a introduza em jacto no condensador. Para aproveitar a agua quente do condensador emprega-se ainda uma terceira bomba, que a dirige para a caldeira; denomina-se por este motivo *bomba alimentar.*

Se a machina tem balanceiro é esta peça que dá o movimento ás tres hastes das bombas; se o não tem move-as o eixo da propria machina por meio de disposições especiaes.

310.—**Volante.—Moderador de força centrifuga.**—Em todas as machinas fixas, vê-se uma grande roda *V* no eixo ou *arvore* da machina, cujo fim é não só regularisar o movimento, mas tambem pela sua velocidade adquirida tirar a machina dos dois *pontos mortos* ou *instantes criticos,* que se dão quando a manivella fica sobreposta ao tirante ou quando está no seu prolongamento: em qualquer d'estas posições o vapor não póde imprimir rotação á arvore da machina. Nas machinas maritimas e nas locomotivas, em que não ha volante, empregam-se dois cylindros e dois systemas motores completos tendo as manivellas, em angulo recto, ligadas ao mesmo eixo.

O *moderador de força centrifuga R* regula a entrada do vapor na caixa de distribuição. Consta de um eixo vertical

que recebe da machina movimento de rotação, na extremidade do qual estão articuladas duas barras que suspendem duas espheras pesadas: estas barras estão ligadas por outras duas a um annel movel ao longo do eixo, e que por meio de alavancas põe em movimento a valvula de introducção do vapor. Se o movimento da machina se accelera as espheras, em virtude da força centrifuga, afastam-se do eixo, elevam o annel, e este fecha a valvula; se o movimento é vagaroso as espheras caem, o annel desce e a valvula abre-se.

311.—**Machina de Watt.**—Concluiremos este estudo resumido das machinas de vapor descrevendo a *machina de Watt*, fig. 113. O vapor vem da caldeira pelo tubo *u*, entra na caixa de distribuição *B*, e d'ahi passa para o cylindro *C* por intermedio da gaveta. O cylindro *A* representa o condensador, que esta gaveta põe alternativamente em communicação com a parte superior ou inferior do embolo *p*: a haste d'este *h* é ligada ao balanceiro *F* pelo parallelogrammo articulado *ijn*, e o balanceiro communica o movimento á arvore *q* da machina por meio do tirante *H* e de uma manivella.

A bomba *D* aspira a agua fria de um deposito e dirige-a para o condensador pelo tubo *f*; a bomba d'ar *E* aspira a agua quente do condensador e leva-a para outro deposito, d'onde é tirada pela bomba *g*, dirigindo-a para a caldeira. As hastes *m*, *o*, *p*, d'estas tres bombas são movidas directamente pelo balanceiro.

Em *R* vê-se o regulador de força centrifuga, e em *V* o volante.

VI.—Propagação do calor

312.—O calor propaga-se de duas maneiras differentes, por *irradiação* e por *conductibilidade;* pela 1.ª o calor propaga-se com grandissima velocidade do sol á terra e de uns para outros corpos collocados a distancia; pela 2.ª o calor communicado a qualquer ponto de um corpo espalha-se lentamente por toda a sua massa, caminhando de camada em camada, ou de molecula em molecula. Os corpos nos quaes a propagação se faz rapidamente dizem-se *bons conductores do calor*, os outros dizem-se *maus conductores*.

313.—**Conductibilidade dos solidos.**—Os solidos, principalmente os metaes, são os melhores conductores do calor. Costuma-se comparar a conductibilidade dos corpos, que se podem reduzir a hastes, fixando-os horisontalmente n'uma das paredes de uma caixa metallica, fig. 114, cobrindo-os com uma camada de cera, o que se faz mergulhando-os n'um banho de cera fundida, e deitando na caixa agua a ferver. É claro que os corpos melhores conductores são aquelles que, no fim do mesmo tempo, teem derretido maior extensão de cera.

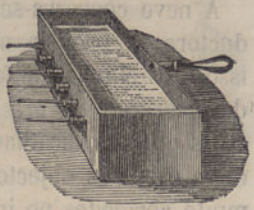


Fig. 114

314.—**Conductibilidade dos fluidos.**—Os liquidos são muito maus conductores: podem ferver na parte superior e estar gelados na parte inferior. Costuma-se demonstrar isto com uma pequena campanula de vidro contendo agua, que se aquece na parte superior, inclinando o vaso e aproximando-lhe a chamma de uma lampada d'alcool: a agua entra em ebullição, sem que no fundo do vaso se tenha manifestado augmento apreciavel de temperatura.

Os liquidos aquecem-se principalmente por correntes. Tyndall demonstrou este modo

Por esse motivo os liquidos aquecem-se sempre pela parte inferior; porque então as camadas em contacto com o fundo do vaso, sendo aquecidas, dilatam-se, tornam-se menos densas, vão para a parte superior e são substituidas por outras, que a seu turno são aquecidas, etc. Deitando serradura de madeira no liquido notam-se estas correntes ascendentes e descendentes.

Os gazes são tambem muito maus conductores; porém a grande mobilidade das suas moleculas facilita, assim como nos liquidos, o aquecimento.

315.—Applicações da conductibilidade dos differentes corpos.— Em consequencia da boa conductibilidade dos metaes é preferivel aquecer os liquidos em vasos metallicos, e deve-se nos fogões empregar um metal.

Os fornos, destinados a concentrar e não a propagar o calor, não devem ser de metal; e os cabos e azas dos vasos metallicos aquecidos são de madeira, ou teem isoladores de marfim, para não deixarem transmittir o calor e poder pegar-se-lhes sem queimar as mãos.

A neve conserva-se em palha, que é substancia má conductora: a propria neve é tambem má conductora e por isso, nos climas muito frios, protege as plantas dos rigores do inverno.

Os quartos alcatifados e guarnecidos de moveis de madeira e outros objectos de substancias más conductoras são muito abrigados no inverno; porque não roubam muito calor ao corpo e conservam o que teem adquirido. Pela mesma razão são mais proprios para o inverno os fatos de lã e de algodão, etc.

As capas abrigam bem no inverno, não só porque resguardam o corpo do contacto do ar frio e humido, mas porque conservam em volta d'elle uma camada de ar, que é substancia muito má conductora. Pelo mesmo motivo são convenientes, nos paizes frios, as janellas com duplas vidraças, ou pelo menos com portas interiores.

316.—**Calor irradiante: suas leis.**—Denomina-se *calor irradiante* aquelle que se propaga a distancia: póde ser *luminoso*, isto é, acompanhado de luz, como o do sol; ou *obscuro*, como o que provém de um vaso cheio de agua ebulliente.

O calor irradiante está submettido ás leis seguintes: 1.ª *propaga-se em todos os sentidos em torno do corpo quente;* 2.ª *em um meio homogeneo propaga-se em linha recta;* 3.ª *propaga-se no vacuo como em qualquer meio.*

A 1.ª lei reconhece-se com um thermometro, que se colloca em varias posições em torno do corpo quente; e a 2.ª collocando entre este e o thermometro varios alvos com orificios praticados na recta que se dirige d'este para aquelle. Demonstra-se a propagação do calor no vacuo com um balão de vidro completamente vasio de materia, fig. 115, no centro do qual está o reservatorio de um thermometro, a cuja haste se soldou a parede do balão: introduzindo este em agua quente o thermometro sóbe logo, o que só se póde attribuir á irradiação no vacuo; porque o vidro é muito mau conductor do calor, para que este effeito seja devido á propagação pelas paredes do balão e pela haste do thermometro.

Fig. 115

As direcções rectilineas da propagação do calor denominam-se *raios calorificos.*

317.—**Intensidade do calor: suas leis.**—Denomina-se *intensidade do calor* a quantidade de calor recebida na unidade de superficie.

As leis da intensidade são as seguintes: 1.ª *é proporcional á temperatura do fóco;* 2.ª *está na razão inversa do quadrado das distancias;* 3.ª *é proporcional ao coseno do angulo que os raios fazem com a superficie que os recebe.* Na emissão obliqua reconhece-se a lei seguinte: *a quantidade de calor emittida por unidade de superficie é proporcional ao coseno do angulo que fazem os raios com a superficie que os emitte.*

normal á

A 1.ª lei demonstra-se directamente por experiencia, expondo uma

das espheras do thermometro differencial a fócos de calor de temperaturas conhecidas.

Para demonstrar a 2.ª lei represente-se por C a quantidade total do calor enviado para o espaço na unidade de tempo; é claro que n'uma distancia d este calor está distribuido pela superficie de uma esphera de raio d, por tanto sendo I a intensidade do calor n'aquella distancia é $C = 4\pi d^2 I$, d'onde $I = \frac{C}{4\pi d^2}$.

Para demonstrar a 3.ª lei imaginemos que é f o feixe de raios, fig. 116, que podemos suppor parallelos considerando o aquecimento sobre

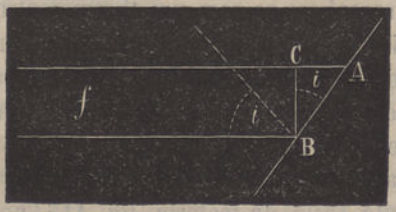


Fig. 116

uma superficie AB infinitamente pequena. Sendo C a quantidade de calor enviada para esta superficie, a intensidade I é $\frac{C}{AB}$; porém como $AB = \frac{BC}{cos.\ i}$, temos $I = \frac{C}{BC} cos.\ i$: como C e BC são constantes conclue-se que a intensidade é proporcional ao coseno do angulo de incidencia.

Para demonstrar a lei da emissão obliqua seja CD, fig. 117, a super-

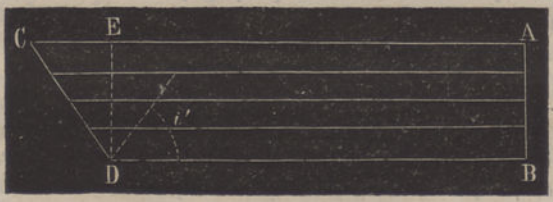


Fig. 117

ficie que emitte o calor, AB a que o recebe e i' o angulo que os raios fazem com a normal á primeira. Prova a experiencia que o aquecimento em AB é egual ao que seria produzido pela superficie ED; por tanto,

designando por q e q' as quantidades de calor emittidas por unidade das superficies DE e CD, temos $q \times DE = q' \times CD$ ou

$$q' = q \times \frac{DE}{CD} = q \times \cos. i'.$$

$$q = \frac{e \times s \times s' \times \cos. i \cos. i}{d^2} \times t \Big\} \mathcal{J} = \frac{q}{s} = \frac{e \times s' \times \cos. i \times \cos. i}{d^2} \times t$$

318.—Reflexão do calor: suas leis.—Os raios calorificos encontrando a superficie de separação de dois meios dividem-se em duas partes, uma das quaes retrocede no primeiro meio, constituindo a *reflexão* em quanto que a outra passa para o segundo meio, e é, em geral, desviada da sua direcção primitiva, constituindo o phenomeno da *refracção*.

Sendo, por ex., AB, fig. 118, a superficie de separação dos dois meios, Om um *raio incidente*, mp a normal áquella superficie no ponto de incidencia, o plano Omp denomina-se *plano de incidencia* e o angulo Omp *angulo de incidencia*; o raio reflecte-se caminhando na direcção mM, a qual está no plano de incidencia e faz com a normal mp um angulo pmM, denominado *angulo de reflexão*, egual ao de incidencia Omp.

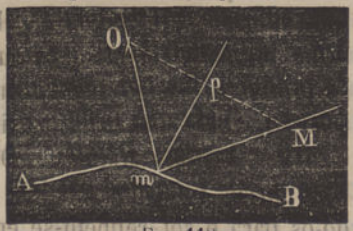


Fig. 118

Assim, as leis da reflexão do calor são as seguintes:

1.ª *O angulo de reflexão é egual ao angulo de incidencia;*

2.ª *O raio reflectido está no plano de incidencia.*

Demonstram-se estas leis recorrendo á propriedade dos *espelhos parabolicos*.

Espelho é uma superficie polida; a fórma d'esta superficie dá o nome ao espelho. Os *espelhos parabolicos* são superficies polidas com a fórma de um paraboloide de revolução, isto é, são gerados por um arco de parabola AM, fig. 119, girando em torno do seu eixo AX. A propriedade conhecida da parabola enuncia-se dizendo que: *a normal a qualquer ponto divide ao meio o angulo que o raio vector*

faz com a linha parallela ao eixo. Assim, sendo verdadeiras as leis da reflexão, considerando uma origem de calor no fóco *F* da parabola, qualquer raio *FN* segue, depois de reflectido, na direcção *NP* parallelamente ao eixo *AX*; e reciprocamente, os raios parallelos ao eixo depois da reflexão convergem rigorosamente no fóco *F*.

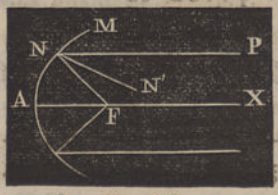


Fig. 119

Realisam-se estas condições na experiencia com dois espelhos parabolicos, dispostos um em frente do outro com os eixos confundidos: collocando no fóco de um dos espelhos uma porção de carvões incandescentes, e no do outro uma substancia inflammavel, algodão-polvora, por ex., vê-se arder immediatamente esta substancia, em quanto que não se produz o mesmo phenomeno, tendo-a collocado n'outra posição, ainda que mais proxima do fóco de calor.

319.—**Espelhos ardentes.**—Os *espelhos ardentes* são espelhos curvos fundados nas leis da reflexão do calor: voltando-os para o sol reunem-se em mui pequeno espaço todos os raios reflectidos, produzindo temperatura bastante elevada para queimar varias substancias.

Diz-se que Archimedes, a quem se attribue a invenção d'estes espelhos, queimou com elles os navios romanos diante de Syracusa.

320.—**Corpos diathermicos e athermicos.**—Denominam-se *diathermicos* os corpos que se deixam atravessar pelo calor irradiante sem o absorverem para se aquecer; taes são o ar, e os outros gazes, o sal gemma, etc.: dizem-se *athermicos* os corpos que teem a propriedade inversa, isto é, aquelles que interceptam completamente os raios calorificos, como são os metaes, por exemplo.

É por causa do grande poder diathermico do ar que as camadas superiores da atmosphera estão sempre n'uma temperatura muito baixa, não obstante serem atravessadas pe-

los raios solares. Acontece o contrario na agua dos mares e dos lagos; porque sendo pouco diathermica só as camadas superiores participam das variações da temperatura atmospherica, em quanto que a uma certa profundidade a temperatura d'aquella agua é constante.

O vidro tem a propriedade de ser diathermico para os raios calorificos acompanhados de luz e athermico para o calor obscuro; por isso se emprega nos jardins para construir as estufas, visto que deixa penetrar n'estas os raios do sol durante o dia, e não permitte que se escapem as irradiações do solo e das plantas ali encerradas.

321.—**Poder emissivo, absorvente e reflectidor.**—Corpos ha que depois de aquecidos conservam por muito tempo o calor; outros deixam perder com facilidade, através da sua superficie, o calor que adquirem: estes ultimos teem grande *poder emissivo*, e os primeiros tem-n'o pequeno. O *poder emissivo* é, por tanto, a maior ou menor facilidade que os corpos teem de perder o seu calor.

É notavel que os corpos de grande poder emissivo são aquelles que mais absorvem o calor que chega á sua superficie, e vice-versa. O *poder absorvente é identico ao poder emissivo;* ambos são representados pelos mesmos numeros.

É minimo o poder emissivo e absorvente dos metaes; é maximo o do negro de fumo.

O calor que chega á superficie de um corpo é em parte absorvido e em parte reflectido. O *poder reflectidor* dos corpos, avaliado pela maior ou menor quantidade de calor que reflectem, é inverso dos outros dois poderes: assim, os metaes reflectem muito, o negro de fumo não reflecte quasi nada.

322.—**Applicação dos tres poderes.**—A circumstancia dos tres poderes, emissivo, absorvente e reflectidor, serem differentes nos diversos corpos explica muitos factos e tem numerosas applicações.

Os pretos devem á côr negra da sua pelle o poderem sup-

portar mais facilmente do que os brancos o calor dos climas quentes; porque o grande poder emissivo d'ella desembaraça-os d'uma parte do calor do corpo. É verdade que deviam soffrer muito pela influencia directa dos raios solares, em consequencia do grande poder absorvente da sua pelle; mas esta é revestida de uma camada de materia gorda e oleosa, que reflecte grande parte do calor incidente, diminuindo assim a porção absorvida.

É ainda pelo grande poder emissivo das materias negras, que os fogões são negros na parte exterior, para darem livre saida ao calor, brancos e reflectidores na parte interna a fim de augmentarem a quantidade de calor reflectido do fóco para o quarto.

Para aquecer rapidamente um liquido convém que o vaso seja negro nos pontos que recebem o calor, e brilhante nos outros. É em consequencia do pequeno poder emissivo dos metaes que os liquidos se conservam quentes nos vasos de metal, muito mais do que nos de qualquer outra substancia.

323.—**Lei de Newton sobre o resfriamento.**—Um corpo collocado n'um espaço vasio não aquece ou não arrefece senão por irradiação: na atmosphera, além da irradiação, ha o contacto com o ar. Em ambos os casos a velocidade do aquecimento ou do resfriamento, isto é, a quantidade de calor ganho ou perdido n'um segundo, é tanto maior quanto maior é a differença entre a sua temperatura e a do espaço. Newton estabeleceu sobre o resfriamento dos corpos a lei seguinte: *a quantidade de calor que um corpo perde ou ganha, na unidade de tempo, é proporcional á differença entre a sua temperatura e a do espaço.* Esta lei não é geral, como suppoz Newton; apenas se applica para differenças de temperatura menores que 20°, não sendo a maior d'ellas superior a 40°.

Conclue-se d'essa lei que o corpo exposto a um fóco constante de calor não aquece indefinidamente, porque é sempre a mesma a quantidade de calor que recebe, visto ser

constante tambem a temperatura do fóco, em quanto que a quantidade de calor emittido cresce com o aquecimento: chega assim um momento em que estas duas quantidades são eguaes, e a temperatura se conserva estacionaria.

324.—**Equilibrio movel de temperatura.**—Um corpo collocado n'um recinto de temperatura egual á sua não aquece nem arrefece; um outro corpo collocado n'este recinto n'uma temperatura mais baixa, por ex., aquece, á custa do calor do recinto e do do outro corpo, que arrefece, estacionando afinal todos na mesma temperatura.

Admitte-se que n'estas circumstancias, os corpos continuam a perder e a receber calor, porém em quantidades eguaes, constituindo um estado de equilibrio denominado *equilibrio movel de temperatura.*

CAPITULO X

OPTICA

I—Noções preliminares.—Origens de luz

portar mais facilmente do que os brancos o calor dos climas quentes; porque o grande poder emissivo d'ella desembaraça-os d'uma parte do calor do corpo. É verdade que deviam soffrer muito pela influencia directa dos raios solares, em consequencia do grande poder absorvente da sua pelle; mas esta é revestida de uma camada de materia gorda e oleosa, que reflecte grande parte do calor incidente, diminuindo assim a porção absorvida.

É ainda pelo grande poder emissivo das materias negras, que os fogões são negros na parte exterior, para darem livre saida ao calor, brancos e reflectidores na parte interna a fim de augmentarem a quantidade de calor reflectido do fóco para o quarto.

Para aquecer rapidamente um liquido convém que o vaso seja negro nos pontos que recebem o calor, e brilhante nos outros. É em consequencia do pequeno poder emissivo dos metaes que os liquidos se conservam quentes nos vasos de metal, muito mais do que nos de qualquer outra substancia.

323.—**Lei de Newton sobre o resfriamento.**—Um corpo collocado n'um espaço vasio não aquece ou não arrefece senão por irradiação: na atmosphera, além da irradiação, ha o contacto com o ar. Em ambos os casos a velocidade do aquecimento ou do resfriamento, isto é, a quantidade de calor ganho ou perdido n'um segundo, é tanto maior quanto maior é a differença entre a sua temperatura e a do espaço. Newton estabeleceu sobre o resfriamento dos corpos a lei

O movimento vibratorio da luz produz-se n'um plano perpendicular á direcção da propagação.

As vibrações da luz são transversaes.

constante tambem a temperatura do fóco, em quanto que a quantidade de calor emittido cresce com o aquecimento: chega assim um momento em que estas duas quantidades são eguaes, e a temperatura se conserva estacionaria.

324.—**Equilibrio movel de temperatura.**—Um corpo collocado n'um recinto de temperatura egual á sua não aquece nem arrefece; um outro corpo collocado n'este recinto n'uma temperatura mais baixa, por ex., aquece, á custa do calor do recinto e do do outro corpo, que arrefece, estacionando afinal todos na mesma temperatura.

Admitte-se que n'estas circumstancias, os corpos continuam a perder e a receber calor, porém em quantidades eguaes, constituindo um estado de equilibrio denominado *equilibrio movel de temperatura.*

CAPITULO X

OPTICA

I—Noções preliminares.—Origens de luz

325.—**Luz.—Optica.—Theorias da luz.**—Não é facil definir a *luz*, como não o é definir o calor. Podemos dizer, comtudo, que a *luz* é a impressão particular, transmittida ao orgão visual pelos objectos proximos ou distantes, a qual se communica ao cerebro e nos faz conhecer a presença d'esses objectos.

A parte da physica que estuda a luz denomina-se *optica.*

Para explicar os phenomenos luminosos ha duas theorias analogas ás do calor,—a da *emissão* e a das *ondulações.*

Na *theoria da emissão* a luz é a impressão produzida por uma infinidade de particulas imponderaveis, que recebem dos corpos luminosos uma forte impulsão, sendo lançadas no espaço com prodigiosa velocidade.

Na *theoria das ondulações* a luz é o resultado do movimento vibratorio de um *ether* imponderavel e muito elastico, communicado a este fluido pelas moleculas dos corpos, e propagado por elle com muitissima rapidez a todas as distancias, do mesmo modo que os meios ponderaveis elasticos recebem e transmittem os sons.

A theoria da emissão é incompativel com alguns phenomenos, em quanto que a das ondulações está de accordo com elles e explica-os todos; por isso é a preferida.

Modificando a theoria das ondulações, na hypothese de que não existe um ether imponderavel, mas que o meio transmissor da vibração das moleculas dos corpos possue as propriedades da materia ordinaria, isto é, que tem peso, não obstante ser uma substancia muito dividida, temos a *theoria mechanica da luz*, analoga á *theoria mechanica do calor*.

326.—**Corpos luminosos e illuminados.**—Os corpos que teem luz propria, isto é, que são visiveis na obscuridade, como o sol, as estrellas, os corpos em ignição, etc., denominam-se *luminosos*, ou *origens de luz*.

Os corpos, que não teem luz propria, não são visiveis senão quando recebem luz dos primeiros, directa ou indirectamente; então portam-se como verdadeiros corpos luminosos e dizem-se *illuminados:* estão n'este caso a lua, os planetas e a maior parte dos corpos sub-lunares.

327.—**Noções sobre as origens de luz.**—As principaes origens de luz são o *sol*, as *estrellas*, a *combustão*, o *calor*, a *electricidade* e a *phosphorescencia*.

O *sol* é a principal origem de calor e de luz: a sua luz é tão intensa que não permitte observal-o directamente senão através de um vidro córado. Aquelle astro apresenta o

aspecto de um disco quasi plano, no qual se observam com o telescopio algumas *manchas* e algumas partes mais brilhantes denominadas *fáculas*. A luz solar provêm de um nucleo luminoso muito intenso cercado por uma atmosphera tambem luminosa, á qual se dá o nome de *photosphera*.

A luz celeste não é só a do sol: as *estrellas* são outros tantos soes, dotados de luz propria, a qual se torna sensivel durante a noite, porque falta a luz do sol, muitissimo mais intensa. É para nós muito fraca a luz das estrellas, porque

suffi-
o sol.
que
aes é
stões
ar-se
a de
tem-
io á
ie se
mpe-

aca-
bamos de dizer, facilitando o exercicio de uma acção chimica. Todos os corpos aquecidos á temperatura de 500° tornam-se luminosos—são origens de luz—tanto mais intensas quanto mais elevada é a temperatura.

A *electricidade* é como veremos uma das mais energicas origens de luz: a luz electrica é a mais intensa depois da luz solar.

Finalmente, a *phosphorescencia* é a propriedade que certos corpos teem, e outros adquirem, de se tornar luminosos na obscuridade, sem que, na maior parte dos casos, haja augmento apreciavel de temperatura. Taes corpos dizem-se *phosphorescentes* porque esta propriedade é muito notavel no phosphoro.

Na *theoria da emissão* a luz é a impressão produzida por uma infinidade de particulas imponderaveis, que recebem dos corpos luminosos uma forte impulsão, sendo lançadas no espaço com prodigiosa velocidade.

Na *theoria das ondulações* a luz é o resultado do movimento vibratorio de um *ether* imponderavel e muito elastico, communicado a este fluido pelas moleculas dos corpos, e propagado por elle com muitissima rapidez a todas

ravei

A

nom

com

M

que

tran

as p

não

theo

calo

3

luz

Combustão é a combinação de certas substancias com desenvolvimento de calor e luz.

Chamma é um gaz em combustão.

o sol, as estrellas, os corpos em ignição, etc., denominam-se *luminosos*, ou *origens de luz*.

Os corpos, que não teem luz propria, não são visiveis senão quando recebem luz dos primeiros, directa ou indirectamente; então portam-se como verdadeiros corpos luminosos e dizem-se *illuminados:* estão n'este caso a lua, os planetas e a maior parte dos corpos sub-lunares.

327.—**Noções sobre as origens de luz.**—As principaes origens de luz são o *sol*, as *estrellas*, a *combustão*, o *calor*, a *electricidade* e a *phosphorescencia*.

O *sol* é a principal origem de calor e de luz: a sua luz é tão intensa que não permitte observal-o directamente senão através de um vidro córado. Aquelle astro apresenta o

aspecto de um disco quasi plano, no qual se observam com o telescopio algumas *manchas* e algumas partes mais brilhantes denominadas *fáculas*. A luz solar provêm de um nucleo luminoso muito intenso cercado por uma atmosphera tambem luminosa, á qual se dá o nome de *photosphera*.

A luz celeste não é só a do sol: as *estrellas* são outros tantos soes, dotados de luz propria, a qual se torna sensivel durante a noite, porque falta a luz do sol, muitissimo mais intensa. É para nós muito fraca a luz das estrellas, porque estão a grandissimas distancias da terra; comtudo é sufficiente para produzir alguma claridade depois do ocaso do sol.

A *combustão* é o desenvolvimento de calor e luz, que acompanha a combinação de certos corpos, um dos quaes é geralmente o oxygenio; porque quasi sempre as combustões se fazem no ar. Para que a combustão possa aproveitar-se como origem de luz, é preciso que seja acompanhada de *chamma*, isto é, de um gaz que se queime na alta temperatura produzida pela acção chimica. Dá-se principio á combustão de um corpo, em geral, *accendendo-o*, o que se consegue elevando um dos seus pontos a uma alta temperatura.

O *calor* póde produzir luz, ou directamente ou, como acabamos de dizer, facilitando o exercicio de uma acção chimica. Todos os corpos aquecidos á temperatura de 500° tornam-se luminosos—são origens de luz—tanto mais intensas quanto mais elevada é a temperatura.

A *electricidade* é como veremos uma das mais energicas origens de luz: a luz electrica é a mais intensa depois da luz solar.

Finalmente, a *phosphorescencia* é a propriedade que certos corpos teem, e outros adquirem, de se tornar luminosos na obscuridade, sem que, na maior parte dos casos, haja augmento apreciavel de temperatura. Taes corpos dizem-se *phosphorescentes* porque esta propriedade é muito notavel no phosphoro.

A phosphorescencia póde ser espontanea, ou desenvolvida por diversos meios. A primeira observa-se em alguns insectos, como o pyrilampo; em certas flores, como as chagas; e nos restos putrefeitos de algumas substancias animaes ou vegetaes. O phenomeno denominado *ardentia*, descripto pelos viajantes maritimos, é produzido pela phosphorescencia de pequenissimos animaes, que apresentando-se em grande numero chegam a dar ao mar o aspecto de um lago de fogo. A phosphorescencia artificial, desenvolve-se por differentes meios, porém mais notavelmente pela *insolação*, isto é, pela exposição ao sol.

328.—**Corpos transparentes, translucidos e opacos.**—Os corpos dizem-se *transparentes* quando através d'elles passa a luz em quantidade sufficiente para se distinguir a fórma dos objectos: taes são a agua, os gazes, o vidro polido, etc.

Denominam-se *translucidos* os corpos que deixam passar a luz sem permittirem que se observe a fórma dos objectos, como o vidro despolido, o papel, o alabastro, etc.

São *opacos* os corpos que não deixam passar a luz. Para que se note esta propriedade devem os corpos ter uma certa espessura: os metaes, por exemplo, que são muito opacos, tornam-se translucidos reduzidos a laminas muito delgadas.

II.—Propagação da luz nos meios homogeneos

329.—**Ondas luminosas.**—Qualquer corpo luminoso situado no espaço é visto simultaneamente de todos os lados e em differentes distancias; por conseguinte o movimento luminoso, de que é origem, propaga-se em todos os sentidos com uma certa velocidade, repartindo-se por superficies denominadas *ondas luminosas*: estas ondas são esphericas nos meios homogeneos não crystallisados.

330.—**Propagação rectilinea da luz.—Raios e feixes luminosos.** —Em um meio homogeneo não crystallisado vemos qualquer ponto luminoso segundo a linha recta dirigida d'elle ao centro do nosso olho, e em todos os pontos d'esta linha: d'aqui vem a lei seguinte: *nos meios homogeneos a luz propaga-se em linha recta.*

Esta lei é completamente comprovada na pratica em todas as applicações da optica, e demonstram-na os traços luminosos rectilineos, que deixa na atmosphera a luz do sol quando penetra n'uma casa escura por pequenas aberturas.

Denominam-se *raios luminosos* as linhas rectas que a luz segue na sua propagação; e *feixes luminosos* a reunião de um certo numero d'aquelles raios: conforme elles são parallelos, divergentes ou convergentes, assim o *feixe* se diz *parallelo*, *divergente* ou *convergente*.

A luz enviada para o espaço por qualquer corpo luminoso propaga-se em feixes divergentes de todos os seus pontos.

331.—**Sombras e penumbras.**—Chama-se *sombra* de um corpo o logar do espaço onde elle não deixa penetrar a luz: a sua fórma depende da fórma dos corpos illuminante e illuminado, e é uma consequencia da propagação rectilinea da luz.

Na sombra distingue-se uma parte central completamente escura—é a *sombra* propriamente dita, e uma outra em volta d'esta esclarecida por graus imperceptiveis até ao espaço completamente illuminado: esta outra parte da sombra denomina-se *penumbra*.

Seja *L*, fig. 120, a origem de luz e *O* o corpo opaco: imaginando uma recta tangente interiormente aos dois corpos fazendo uma revolução completa, é claro que todos os pontos posteriores ao corpo opaco situados fóra do espaço descripto por ella são completamente esclarecidos: suppondo a recta tangente exteriormente, ella marca após o corpo

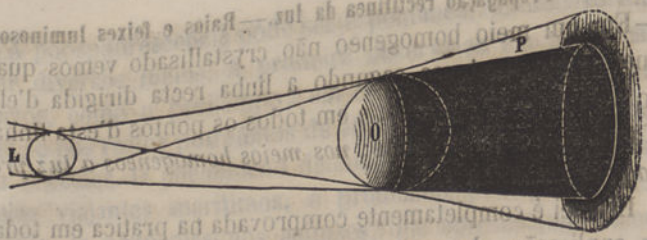


Fig. 120

opaco o espaço onde não penetra raio algum de luz vindo da origem *L*, isto é, determina a *sombra* propriamente dita. Os pontos do primeiro espaço exteriores a este segundo recebem alguma luz, tanta mais quanto mais exteriores são; constituem a *penumbra*. A figura representa o caso da origem de luz ser menor que o corpo opaco: então a sombra e a penumbra são indefinidas. Imaginando que o corpo luminoso diminue de grandeza, a sombra augmenta e a penumbra diminue, até que, no caso limite da origem de luz se reduzir a um ponto, a penumbra desapparece e a sombra é maxima.

No caso contrario, de ser o corpo opaco menor que a origem de luz, a sombra é definida, fig. 121, e a penumbra ainda é indefinida.

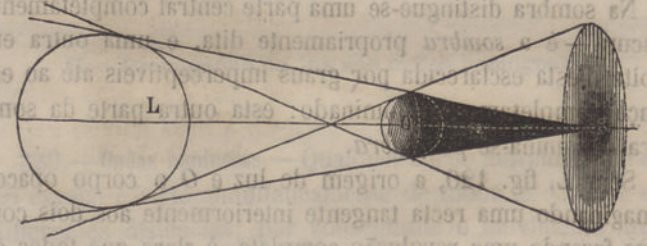


Fig. 121

332.—Applicações.— Nos *eclipses parciaes e totaes* vemos uma applicação da sombra e da penumbra. Assim, se a terra

entra na sombra projectada pela lua, um individuo collocado n'esta sombra não vê o sol, e para elle o *eclipse é total;* um individuo collocado na penumbra vê só parte do sol, e para elle o *eclipse é parcial;* se o individuo está na linha que une os dois astros, sol e lua, e a uma distancia tal que esteja na penumbra, vê de todos os lados os bordos do disco solar, e para elle o *eclipse é annular.*

O que se diz dos eclipses do sol diz-se dos da lua; este astro eclipsa-se quando entra na sombra da terra; comtudo n'este caso é preciso notar que a atmosphera desvia os raios da luz, e por tanto altera os limites da sombra projectada.

Muitas applicações se fazem das sombras e das penumbras; umas e outras combinadas servem ao artista para dar relevo aos seus desenhos; as primeiras aproveitam-se na medição das alturas de torres, etc.

333. — **Imagens produzidas por pequenas aberturas. — Camara escura.** — Fechando as portas e janellas de uma casa para que ella fique completamente ás escuras, e deixando entrar a luz apenas por um pequeno orificio praticado n'uma janella, vêmos na parede opposta os objectos exteriores e distantes, com bastante nitidez, em ponto mais pequeno e invertidos. Este phenomeno, representado na fig. 122, é uma conse-

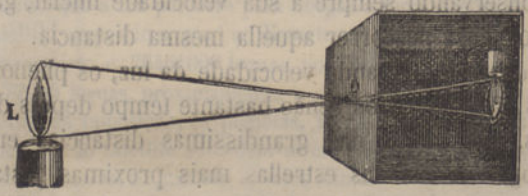


Fig. 122

quencia directa da propagação rectilinea da luz: os raios que partem dos objectos exteriores cruzam-se no pequeno orificio, e por isso as imagens são invertidas.

É este o fundamento da *camara escura*, imaginada em

1560 pelo physico Porta. Reduzido á sua maior simplicidade este instrumento consta de uma caixa completamente fechada, com um pequeno orificio em uma parede delgada: na parede opposta, que deve ser de vidro despolido, vêem-se as imagens reduzidas e invertidas dos objectos exteriores.

334.—**Velocidade da luz.**—Durante muito tempo julgou-se que a propagação da luz era instantanea; porque todas as observações feitas nas maiores distancias, na superficie da terra, não davam tempo algum de intervallo entre o instante em que um alvo descobria uma origem luminosa, e aquelle em que, n'outra estação muito distante, se recebiam os raios da luz.

Hoje está provado que isto não é assim: a velocidade da luz, isto é, o caminho percorrido em um segundo, tem sido medido por varios processos e póde-se dizer que o seu valor é superior a 77000 leguas.

Para fazer uma idéa d'esta prodigiosa velocidade basta notar que, um corpo com a velocidade de 15 leguas por hora, isto é, movendo-se com a rapidez da locomotiva sobre o caminho de ferro, gastaria mais de dois seculos para percorrer a distancia que nos separa do sol, distancia que a luz percorre em 8′ e 13″. Um projectil de uma bôca de fogo, conservando sempre a sua velocidade inicial, gastaria 17 annos para percorrer aquella mesma distancia.

Não obstante a grande velocidade da luz, os phenomenos celestes não são vistos senão bastante tempo depois de produzidos, por causa das grandissimas distancias em que teem logar. A luz das estrellas mais proximas gasta mais de tres annos para chegar á terra; são precisos milhares de annos para que chegue ao alcance do homem a luz das estrellas que não se descobrem a olho desarmado; quer isto dizer que podem ter mudado de posição, e até desapparecido alguns d'estes astros continuando nós a vel-os como se estivessem na sua posição primitiva.

335.—Medição da velocidade da luz pelo methodo de Rœmer.— Cassini foi o primeiro que, da observação dos eclipses dos satellites de Jupiter, concluiu a não propagação instantanea da luz; porém foi o astronomo dinamarquez Rœmer quem em 1675 mediu a sua velocidade.

Para se fazer idéa do methodo de Rœmer representamos na fig. 123 o sol em *S*, em roda d'elle a orbita da terra e uma parte da orbita de Jupiter, e em torno d'este astro a orbita do seu primeiro satellite.

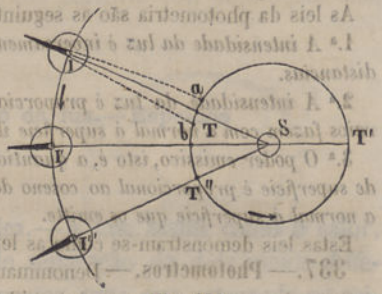


Fig. 123

Como o plano d'esta orbita quasi que se confunde com o da orbita do planeta, deve ver-se o satellite mergulhar na sombra d'este em intervallos de tempo eguaes. Medem-se estes intervallos observando na posição *a* da terra, um pouco antes da conjuncção, as immersões do satellite, e depois na posição *b* as emersões: no entretanto não varia a distancia da terra ao satellite e acha-se o intervallo constante de 42 horas e 30 minutos entre duas immersões ou duas emersões successivas.

Como Jupiter faz a sua revolução em 11 annos e 10 mezes, acha-se em *J'* quando a terra, passados pouco mais de 6 mezes, está em *T'*, isto é, na opposição. Repetindo as mesmas observações em differentes épocas no decurso d'este tempo, reconhece-se que o intervallo entre duas emersões consecutivas augmenta, e adquire o valor maximo, de 42 horas, 46 minutos e 26 segundos nas posições proximas de *T'*.

Este atrazo de 16′ e 26″ é, sem duvida, proveniente do accrescimo de caminho que a luz percorre para chegar á terra depois de reflectida pelo satellite, accrescimo egual ao diametro da orbita terrestre. Dividindo o seu valor, isto é, 76461000 leguas, por 986″ acha-se para velocidade da luz 77000 leguas, proximamente.

A partir da opposição, os planetas, Terra e Jupiter, aproximam-se, e as immersões do satellite succedem-se em intervallos de tempo successivamente menores, adquirindo o valor minimo na conjuncção seguinte *T'' J''*, na qual é egual ao que tinha na primeira.

336.—Intensidade da luz.—Photometria.— Por *intensidade da luz* ou por *illuminação intrinseca* de um corpo illuminado, entende-se a quantidade de luz recebida na unidade da sua superficie. A intensidade, como acabamos de definir, representa o *poder illuminante* das differentes luzes ás differentes distancias. É preciso não o confundir com a *claridade intrinseca real* do corpo luminoso, que é a quantidade abso-

íuta de luz espalhada sobre unidade de superficie d'este corpo, a qual se mede pela illuminação que esta superficie produz á unidade de distancia sobre outra egual e parallela.

Denomina-se *photometria* a parte da optica que estuda as leis da intensidade da luz e trata da comparação das claridades intrinsecas das diversas origens.

As leis da photometria são as seguintes:

1.ª *A intensidade da luz é inversamente proporcional ao quadrado das distancias.*

2.ª *A intensidade da luz é proporcional ao coseno do angulo que os raios fazem com a normal á superficie illuminada.*

3.ª *O poder emissivo, isto é, a quantidade de luz emittida por unidade de superficie é proporcional ao coseno do angulo que os raios fazem com a normal á superficie que os emitte.*

Estas leis demonstram-se como as leis identicas do calor (317).

337.— Photometros. — Denominam-se *photometros* os instrumentos empregados para comparar as intensidades das diversas luzes, partindo da 1.ª lei acima enunciada. O photometro mais geralmente conhecido é o de Rumford: consta de um alvo branco, e de uma haste cylindrica de madeira ou vidro negro, a qual esclarecida pelas duas luzes, que se querem comparar, projecta sobre aquelle alvo duas sombras; como cada uma d'estas é esclarecida por uma luz, fazendo variar as distancias até que as sombras tenham a mesma intensidade, concluimos que a illuminação das duas luzes é a mesma.

A fig. 124 representa o photometro de Rumford aperfeiçoado por Peclet. A haste opaca *T* está collocada verticalmente no vertice de um an-

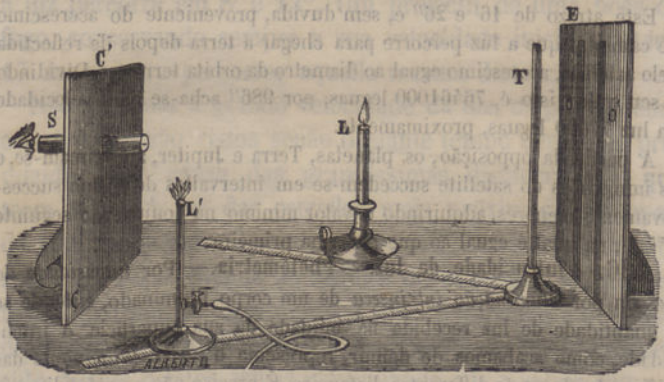


Fig. 124

gulo, formado por duas ranhuras graduadas, nas quaes podem correr as duas luzes L, L': o observador, collocado por detraz do anteparo CC', vê as duas sombras O, O' sem ver as luzes; por meio de cordões, que passam em roldanas, faz correr á vontade as luzes até que as sombras pareçam da mesma intensidade.

III.—Reflexão da luz.—Espelhos

338.—**Catoptrica e dioptrica.**—A luz, assim como o calor, encontrando a superficie de separação de dois meios differentes divide-se em duas partes, uma que retrocede no primeiro meio, apresentando o phenomeno da *reflexão*, e outra que passa além; esta ultima propaga-se a grande distancia, se o segundo meio é transparente, ou extingue-se a pequena distancia, porque é absorvida, se o meio é opaco. Na passagem do primeiro para o segundo meio a luz apresenta, em geral, o phenomeno da *refracção*, isto é, desvia-se da sua direcção primitiva.

A parte da optica que se occupa da reflexão da luz, e das suas applicações, recebe o nome de *catoptrica;* a que trata da refracção denomina-se *dioptrica*.

339.—**Leis da reflexão da luz.**—As leis da reflexão da luz, identicas ás da reflexão do calor, são as seguintes:

1.ª *O angulo de reflexão é egual ao angulo de incidencia.*—2.ª *O raio reflectido está no plano de incidencia.*

Demonstram-se estas leis com o apparelho representado na fig. 125: é um semi-circulo vertical graduado com o zero na parte média superior e com os graus marcados para ambos os lados, tendo um espelho m no centro em posição horisontal, e duas alidades Am e Bm, que se podem fixar em qualquer posição. Collocando por tentativas uma d'estas alidades de modo que olhando por um pequeno orificio

se veja, em correspondencia com um traço do espelho *m*, o orificio da outra, e lendo os angulos que ambas fazem com a normal ao espelho, que passa pelo zero da graduação, conclue-se a primeira lei. A segunda lei acha-se demonstrada pela disposição dos orificios das duas alidades.

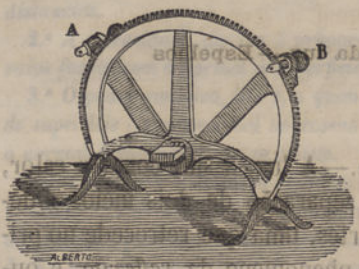


Fig. 125

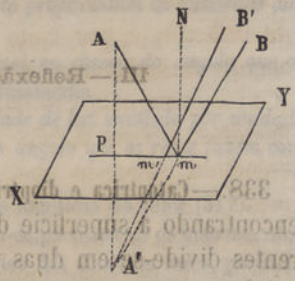


Fig. 126

340.—**Espelhos.**—Dá-se o nome de *espelho* a qualquer superficie polida capaz de mostrar os objectos pela reflexão. A fórma da superficie dá o nome ao espelho: nas applicações basta considerar os *espelhos planos* e os *espelhos curvos* de fórma definida geometricamente.

O que se vê pela reflexão nos espelhos denomina-se *imagem*.

Os espelhos são *naturaes* ou *artificiaes;* as superficies dos liquidos em equilibrio são exemplo dos primeiros.

Os espelhos artificiaes fabricam-se de metal ou de vidro. Os de metal são de platina, de cobre prateado, etc.: os espelhos de vidro ordinarios são laminas delgadas de vidro cobertas por um lado com um amalgama de estanho, que é a superficie reflectidora. Empregam-se ás vezes os espelhos de vidro enegrecido d'um lado.

Começamos por estudar a reflexão nos espelhos planos.

341.—**Espelhos planos.—Imagem de um ponto.**—Seja *XY*, fig. 126, um espelho plano, *A* um ponto luminoso e *Am* um raio enviado por elle. Sendo *Nm* a normal a *XY* no ponto

de incidencia, e NmB egual a AmN, mB é o raio reflectido; na sua direcção vemos o ponto luminoso. Baixando de A a perpendicular AA' ao espelho e prolongando Bm até a encontrar em A', fórma-se o triangulo rectangulo PmA' egual a PmA; porque o lado Pm é commum e o angulo PmA' é verticalmente opposto ao complemento do angulo de reflexão, e por tanto egual a PmA, complemento do angulo de incidencia. D'aqui se conclue que PA' é egual a PA; e como este resultado se applica a todos os raios reflectidos, porque o raio Am é qualquer e não tem posição escolhida, segue-se que, *todos os raios emittidos por um ponto* A *e reflectidos por um espelho plano, caminham como se partissem de um ponto* A', *symetrico de* A *em relação ao espelho.* É por este motivo que nos parece ver em A' o ponto A.

Por conseguinte, para obter a imagem de um ponto A, formada por um espelho plano $X\ Y$, baixa-se a perpendicular AP sobre o espelho e prolonga-se de uma quantidade PA' egual a AP: o extremo A' é a imagem procurada.

342.—**Imagem de um objecto.**—A imagem de um objecto obtem-se reunido as imagens dos pontos, que determinam a sua posição e figura; assim a imagem de $A\ B$, fig. 127, no espelho $X\ Y$ é $A'\ B'$; é por tanto *symetrica* do objecto em relação ao espelho. Por conseguinte as imagens dadas pelos espelhos planos são da mesma grandeza que os objectos e formam-se por detraz do espelho a uma distancia d'elle egual á que vae dos objectos ao mesmo espelho. Assim um objecto vertical visto por um espelho inclinado de 45° parece horisontal; e vice-versa.

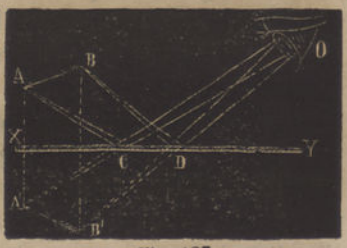


Fig. 127

343.—**Imagens reaes e virtuaes.**—As imagens de que temos fallado não existem, porque os raios reflectidos diver-

gem, e são os seus prolongamentos para a parte posterior do espelho que se reunem; por este motivo dizem-se *virtuaes*. As imagens são *reaes* quando resultam da sobreposição dos raios reflectidos: estas imagens jámais se obteem com os espelhos planos, os quaes dão sempre imagens virtuaes.

344.—Multiplicação de imagens pelos espelhos inclinados.—Consideremos dois espelhos inclinados, representados pelos seus traços AC e BC, fig, 128, n'um plano perpendicular á sua

(1) Limite quando as imagens cahem entre os prolongamentos dos espelhos

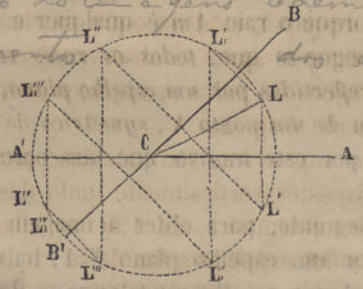


Fig. 128

intersecção, conduzido pelo ponto luminoso L.

A imagem d'este ponto no espelho AC é como se sabe, o ponto L', symetrico de L a respeito de AC. Esta primeira imagem é reproduzida em L'' pelo espelho BC; e novamente em L''' pelo espelho AC, e ainda em L^{IV} pelo espelho BC. Esta ultima imagem, ficando entre os prolongamentos dos espelhos, não vê a superficie reflectidora de nenhum d'elles, e por tanto não póde ser reproduzida; o mesmo acontece quando a imagem dada por um espelho cae no prolongamento do outro.

Considerando os raios reflectidos primeiramente no espelho BC obtem-se outra serie de imagens L'_1, L''_1, L'''_1, L^{IV}_1.

É claro que, em consequencia da symetria, todas as imagens e o objecto estão no mesmo plano e são equidistantes do ponto C; por tanto estão n'uma circumferencia de circulo cujo centro é este ponto.

Imagem real é formada pela sobreposição dos raios luminosos reflectidos.

Imagem virtual é formada pelos prolongamentos dos raios reflectidos.

anto

io é

nos

de

dos;

lrica

ndo

pequenos objectos, como contas, pedaços de vidros corados, de rendas, de papel, etc.; na outra extremidade do tubo ha uma abertura por onde se observa. É curiosa a variedade das combinações de todos os objectos com as suas imagens symetricamente dispostas.

As *caixas captotricas* são kaleidoscopios de mais de dois espelhos dispostos verticalmente junto das paredes internas de uma caixa prismatica, fig. 129: aquellas paredes são fendidas acima dos espelhos a fim de se poder olhar para o interior. A caixa é fechada superiormente por um vidro despolido. Com este instrumento é maior a multiplicação das imagens e mais vasto o seu campo; além d'isso pódem observar simultaneamente muitas pessoas.

Fig. 129

346.—**Multiplicação das imagens pelos espelhos parallelos.**— Com dois espelhos planos parallelos voltados um para o outro passa-se um phenomeno semelhante ao da reproducção[1] das imagens nos espelhos inclinados, com a differença que todas as imagens estão na perpendicular aos espelhos conduzida pelo objecto, e são theoricamente em numero illimitado. Na pratica o numero tem limite porque as successivas reflexões enfraquecem muitissimo a intensidade lumi-

[1] No num. XII do *Jornal de Sciencias Mathematicas*, assim como no nosso *Tratado d'Optica*, publicamos um processo geral que dá o numero total de imagens.

(1) Limite, quando as imagens estão entre os prolongamentos dos espelhos

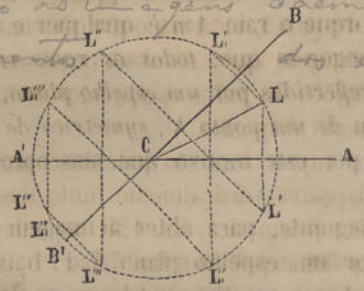


Fig. 128

intersecção, conduzido pelo ponto luminoso L.

A imagem d'este ponto no espelho AC é como se sabe, o ponto L', symetrico de L a respeito de AC. Esta primeira imagem é reproduzida em L'' pelo espelho BC; e novamente em L''' pelo espelho AC, e ainda em L^{IV} pelo espelho BC. Esta ultima imagem, ficando entre os prolongamentos dos espelhos, não vê a superficie reflectidora de nenhum d'elles, e por tanto não póde ser reproduzida; o mesmo acontece quando a imagem dada por um espelho cae no prolongamento do outro.

Considerando os raios reflectidos primeiramente no espelho BC obtem-se outra serie de imagens $L'_{/}$, $L''_{/}$, $L'''_{/}$, $L^{IV}_{/}$.

É claro que, em consequencia da symetria, todas as imagens e o objecto estão no mesmo plano e são equidistantes do ponto C; por tanto estão n'uma circumferencia de circulo cujo centro é este ponto.

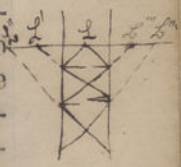
O numero das imagens é limitado, e tanto maior quanto menor é o angulo dos espelhos[1].

345.—**Kaleidoscopio.—Caixas captotricas.**—O *kaleidoscopio* é um instrumento fundado na multiplicação das imagens nos espelhos inclinados. Consta de um tubo de cartão ou de metal, no interior do qual estão dois espelhos inclinados; ha n'uma das extremidades, uma pequena caixa cylindrica de tampos de vidro, com o exterior despolido, contendo pequenos objectos, como contas, pedaços de vidros córados, de rendas, de papel, etc.; na outra extremidade do tubo ha uma abertura por onde se observa. É curiosa a variedade das combinações de todos os objectos com as suas imagens symetricamente dispostas.

As *caixas captotricas* são kaleidoscopios de mais de dois espelhos dispostos verticalmente junto das paredes internas de uma caixa prismatica, fig. 129: aquellas paredes são fendidas acima dos espelhos a fim de se poder olhar para o interior. A caixa é fechada superiormente por um vidro despolido. Com este instrumento é maior a multiplicação das imagens e mais vasto o seu campo; além d'isso pódem observar simultaneamente muitas pessoas.

Fig. 129

346.—**Multiplicação das imagens pelos espelhos parallelos.**—Com dois espelhos planos parallelos voltados um para o outro passa-se um phenomeno semelhante ao da reproducção das imagens nos espelhos inclinados, com a differença que todas as imagens estão na perpendicular aos espelhos conduzida pelo objecto, e são theoricamente em numero illimitado. Na pratica o numero tem limite porque as successivas reflexões enfraquecem muitissimo a intensidade lumi-



[1] No num. XII do *Jornal de Sciencias Mathematicas*, assim como no nosso *Tratado d'Optica*, publicamos um processo geral que dá o numero total de imagens.

nosa; por isso apenas se distinguem as primeiras imagens. É claro que as imagens não são identicas, e apresentam-se em relação ao objecto, alternadamente voltadas em sentidos contrarios. Assim, um homem, collocado entre dois espelhos e olhando para um d'elles, vê uma serie de imagens alternadamente de frente e de costas.

Nas salas, galerias e escadas empregam-se os espelhos collocados uns em frente dos outros para lhes augmentar apparentemente a extensão e o explendor das luzes.

347.—**Multiplicação de imagens nos espelhos de vidro.**—Nos espelhos ordinarios de vidro, formados de uma lamina de faces parallelas com a posterior coberta de um amalgama de estanho, dá-se um phenomeno semelhante ao da multiplicação das imagens nos espelhos parallelos.

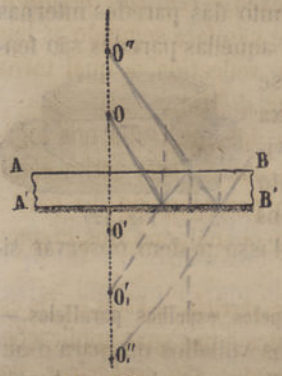


Fig. 130

Sejam *A B* e *A' B'*, fig. 130, as duas faces da lamina de vidro, as quaes funccionam como dois espelhos planos parallelos; e seja *O* o objecto que se observa pela reflexão.

O olho, em consequencia da sua posição, vê apenas a primeira das imagens, *O'*, dadas pelo espelho *AB*, porque as outras, como O'', ficam para o lado opposto; em quanto que vê todas as do espelho *A'B'*, percebendo principalmente a primeira d'ellas, *O'₁*, porque é muito mais intensa.

Reconhece-se este phenomeno observando n'um espelho de vidro a chamma de uma vela. Vê-se primeiro uma imagem pouco intensa, formada pela primeira superficie reflectidora; depois uma segunda muito intensa, e por detraz d'ella muitas outras, cuja intensidade decresce successivamente até se tornar nulla.

Para evitar esta multiplicação de imagens, empregam-se

de preferencia nas experiencias rigorosas de physica os espelhos metallicos, os quaes teem só uma superficie reflectidora.

348.—Luz diffusa.—Se os corpos fossem perfeitamente polidos reflectiriam regularmente a luz sem lhe alterar e composição, e não seriam visiveis: é assim que um bom espelho dá a conhecer a sua presença pela moldura e pelas imagens dos corpos que o cercam. A muitos individuos terá acontecido irem de encontro a um bom espelho collocado no vão de uma porta, imaginando que se dirigem para outra sala, em communicação com aquella onde estão.

Como, em geral, a superficie dos corpos não é polida, e apresenta muitas asperezas, a luz que incide sobre elles reflecte-se seguindo direcções que, não concorrendo em certos e determinados pontos, não dão imagens dos objectos que emittem a luz. Chama-se a esta reflexão—*reflexão irregular*—sem que isto queira dizer que se não faça segundo as leis ordinarias da reflexão. A luz assim reflectida, a qual torna visiveis os corpos, denomina-se *luz diffusa.*

É a luz diffusa que nos illumina durante o dia nos logares onde não chegam os raios directos do sol; assim como faz com que não seja instantanea a passagem do dia para a noite, e vice-versa, dando logar ao phenomeno dos *crepusculos*, etc.

349.—Espelhos curvos.—Espelhos esphericos.—Fócos.—Os espelhos curvos empregados em optica e nas suas applicações teem fórma definida geometricamente; são *esphericos*, *parabolicos*, *cylindricos*, etc. Faz-se uso mais frequente dos esphericos, que podem ser *concavos* ou *convexos*, conforme é polida a face interna ou a externa.

Um *espelho espherico* é a superficie concava ou convexa de uma cálote espherica. A secção feita por um plano que passa pelo centro da esphera é um arco de circulo *XY*, fig. 131, conhecido pelo nome de *meridiana* do espelho: o ponto *C*, centro da esphera, denomina-se *centro de curvatura*, e o ponto médio *A*, *centro de figura* do espelho: a

recta AC é o *eixo principal;* qualquer linha MC tirada pelo centro de curvatura e terminando no espelho é um *eixo secundario.* O angulo XCY denomina-se *abertura do espelho.*

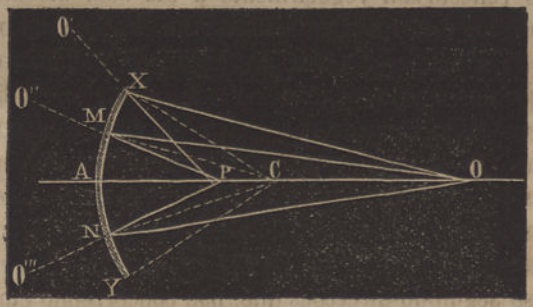


Fig. 131

Os raios enviados por um ponto luminoso para um espelho espherico depois de reflectidos concorrem sensivelmente n'um ponto, ou são divergentes e os seus prolongamentos é que concorrem para um ponto, situado por detraz do espelho: qualquer d'estes pontos recebe o nome de *fóco,* o primeiro é *real,* o segundo *virtual.*

350.—**Fócos dos espelhos esphericos concavos.**—Nos espelhos esphericos concavos distinguem-se tres especies de fócos: *fóco principal, fóco conjugado* e *fóco virtual.*

fócos reaes são todos os conjugados.

Se a luz vem de uma distancia infinita, como acontece sensivelmente voltando o espelho para o sol, os raios são parallelos: consideremos os raios parallelos ao eixo principal AO, fig. 132, e seja MS um d'elles; sendo C o centro de curvatura, a normal no ponto de incidencia, M, é o raio MC, e o raio reflectido MF obtem-se fazendo o angulo FMC egual a SMC. O ponto F do eixo principal é o *fóco principal;* porque por elle vão passar os raios reflectidos obtidos com um feixe parallelo a AO[1]: fica proximamente equidistante

Fócos reaes estão collocados entre o fóco principal e o infinito.

Fóco principal é um fóco conjugado com o ∞ (infinito)

[1] Isto não é absolutamente verdade, e só se póde admittir nos espelhos de abertura pequenissima; os raios reflectidos não pas-

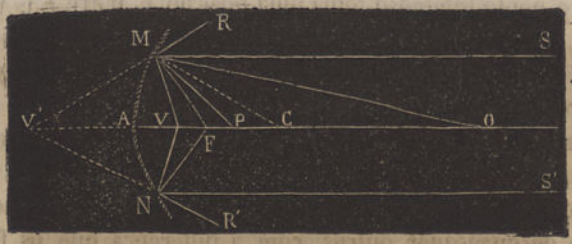


Fig. 132

1º $d = \infty$, $d' = \frac{r}{2}$
2º $d < \infty > r$, $d' > \frac{r}{2} < r$
3º $d > \frac{r}{2} < r$, $d' > r < \infty$
4º $d = \frac{r}{2}$, $d' = \infty$
5º $d < \frac{r}{2}$, $d' = \infty$

de A e de C[1], por tanto a sua distancia AF do espelho, denominada *distancia focal principal*, é egual a $\frac{r}{2}$, sendo r o raio do espelho.

Um ponto O collocado a uma distancia finita do espelho envia raios OM, que fazem com a normal angulos menores que os feitos pelos raios parallelos, incidentes nos mesmos pontos; por tanto o fóco P existe entre F e C; este fóco diz-se *conjugado*, porque o ponto luminoso collocado em P tem o fóco em O. porque podemos mudar o fóco para o ponto luminoso, e vice-versa.

Se o ponto O se aproxima de C, o seu fóco P caminha tambem para este ponto, coincidindo com elle quando o ponto luminoso o attinge. Continuando o ponto a caminhar para o espelho, o fóco afasta-se successivamente do ponto C, e quando o primeiro chega ao fóco principal F os raios reflectidos tornam-se parallelos ao eixo.

sam pelo mesmo ponto do eixo principal, cortam-se dois a dois em volta d'este eixo formando uma superficie brilhante denominada *caustica:* a este phenomeno dá-se o nome de *aberração de esphericidade.*

[1] O triangulo MFC é isosceles; porque o angulo FCM, egual a CMS, por ser alterno interno a respeito d'elle, é egual a FMC; por conseguinte $MF = FC$. Como se suppõe sempre muito pequena a abertura do espelho, podemos admittir que FA é egual a FM; por tanto $FA = FC$.

Se o ponto luminoso toma uma posição V, entre F e A, os raios incidentes VM fazem com a normal angulos maiores que FMC: por tanto os reflectidos hão de fazer angulos maiores que SMC, isto é, serão divergentes, e os seus prolongamentos concorrerão n'um ponto V', situado por detraz do espelho: o fóco V' é um *fóco virtual*.

O que dizemos dos pontos situados sobre o eixo principal diz-se de quaesquer outros, com a differença que os fócos formam-se então nos *eixos secundarios*. Obteem-se esses fócos com extrema facilidade advertindo que aos raios incidentes parallelos ao eixo correspondem raios reflectidos que passam pelo fóco principal, isto é, pelo ponto do eixo equidistante do centro de curvatura e do de figura do espelho. Assim, para construir o fóco do ponto L, fig. 133, conduz-se o eixo secundario LN e o raio LM parallelo ao eixo: sendo F o fóco principal, aquelle raio segue depois de reflectido o caminho MF; por tanto o fóco de L é l.

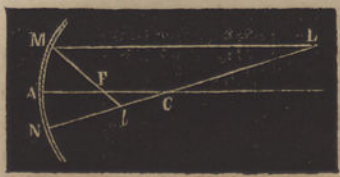


Fig. 133

351.—**Fócos dos espelhos esphericos convexos.**—Nos espelhos esphericos convexos os raios reflectidos são sempre divergentes, fig. 134; por tanto os fócos são sempre virtuaes.

$d = \infty$

$d' = \frac{r}{2}$

Sendo os raios incidentes parallelos ao eixo, como SI,

$d < \infty$

$d' < \frac{r}{2}$

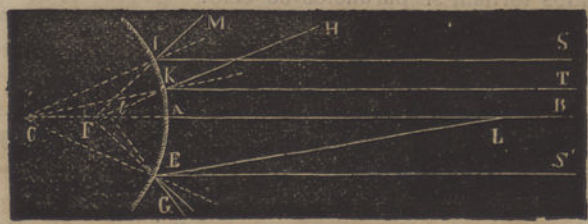


Fig. 134

TK, etc., os raios reflectidos IM, KH, etc., prolongados cortam este eixo n'um ponto F, que por analogia se deno-

mina *fóco principal virtual*. Este ponto também divide ao meio o raio de curvatura *A C*.

Se os raios incidentes *L E*, por ex., partem de um ponto *L* situado a uma distancia finita, o fóco virtual *l* fórma-se entre o fóco principal *F* e o espelho: por conseguinte todos os fócos dos espelhos esphericos convexos existem na extensão *A F*, isto bem entendido para os pontos situados no eixo principal. O fóco de um ponto collocado fóra do eixo principal obtem-se por uma construcção identica á que se emprega nos espelhos concavos.

352.—Imagens formadas pelos espelhos esphericos concavos.— A imagem de um objecto é a reunião dos fócos dos seus pontos; obtem-se por conseguinte construindo esses fócos, ou pelo menos os sufficientes para determinar a posição e grandeza d'aquella imagem. Conforme elles são *reaes* ou *virtuaes*, assim as *imagens* são tambem *reaes* ou *virtuaes:* dá-se o primeiro caso quando o objecto está além do fóco principal, e o segundo quando está entre este ponto e o espelho.

Construcção das imagens reaes.—Seja *O O'*, fig. 135, o

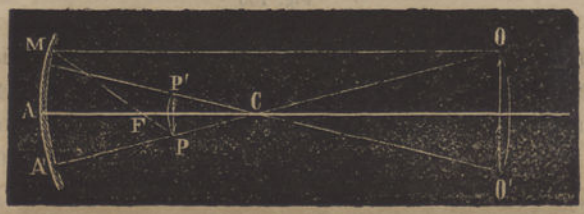


Fig. 135

objecto collocado em frente do espelho concavo *A'M*, além do seu fóco principal *F*. Conduzam-se os eixos secundarios *O A'*, *O'C*, dos pontos extremos e construam-se os fócos conjugados d'esses pontos; o que se faz, como dissemos, tirando por cada um d'elles um raio *O M* parallelo ao eixo principal, depois a recta que une o ponto de incidencia no espe-

lho com o fóco principal, e emfim prolongando esta ultima até encontrar o eixo secundario respectivo. Obtem-se assim o ponto *P* fóco conjugado de *O*, e *P'* fóco de *O'*. A imagem é por tanto *real* e *invertida*. Em quanto o objecto está além do centro de curvatura *C*, a imagem fica entre este ponto e o fóco principal; é menor que o objecto, tanto mais quanto mais distante elle está. É claro, em virtude da conjugação dos fócos, que se o objecto tem a posição *PP'*, a imagem se formará em *OO'*: assim o objecto collocado entre o fóco principal e o centro de curvatura tem a imagem sempre além d'este ultimo ponto, maior que o mesmo objecto, e tanto maior quanto mais proximo elle está do fóco principal.

Construcção das imagens virtuaes.—Se o objecto *AB*, fig. 136, está entre o espelho e o fóco principal *F*, a ima-

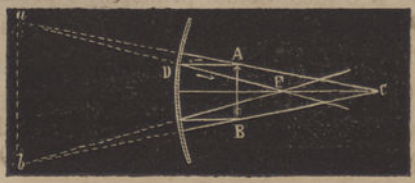


Fig. 136

gem é *virtual*, como dissemos: a sua construcção não differe da que acabamos de descrever. Assim a imagem do ponto *A* obtem-se conduzindo o eixo secundario *AC*, o qual se prolonga para a parte posterior do espelho; tirando o raio *AD* parallelo ao eixo, e a recta *DF*, que une o ponto de incidencia com o fóco principal. Esta recta diverge do eixo secundario; porém o seu prolongamento corta o prolongamento d'este eixo no ponto *a*, o qual é a *imagem virtual* do ponto *A*. Da mesma maneira se obtem o fóco *b* de *B*. A imagem procurada é por conseguinte *ab*.

D'esta construcção se conclue que as *imagens virtuaes* dos espelhos concavos são *direitas* e *maiores* que os objectos, tanto maiores quanto mais perto elles estão do fóco principal.

353.— **Imagens obtidas com os espelhos esphericos convexos.**— Como n'estes espelhos não ha fócos reaes, as imagens são sempre virtuaes. A fig. 137 indica a sua construcção: *O O'*

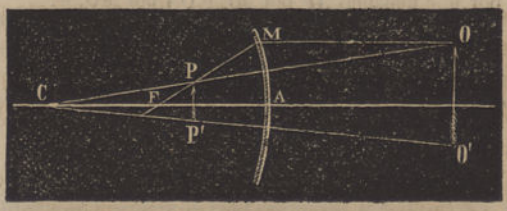


Fig. 137

é o objecto; *O C* e *O'C* os eixos secundarios extremos, e *OM* um raio emittido pelo ponto *O* parallelamente ao eixo principal: sendo *F* o fóco virtual principal, o prolongamento do raio reflectido é *MF*; por tanto é *P* o fóco conjugado de *O*. Da mesma maneira se obtem o fóco *P'* de *O'*; de modo que a imagem é *PP'*.

As imagens virtuaes formam-se por detraz do espelho no angulo dos eixos secundarios extremos, logo: *as imagens obtidas com os espelhos esphericos convexos são sempre virtuaes, direitas e menores que os objectos.*

354.— **Formulas dos espelhos esphericos de abertura muito pequena.**— Seja *O* o ponto luminoso, fig. 138, situado em frente de um

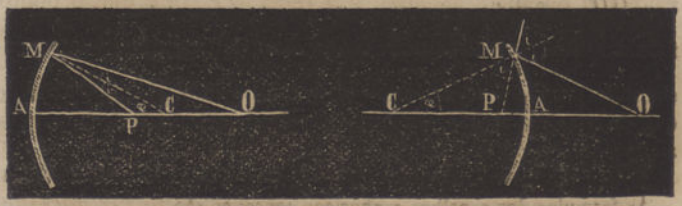


Fig. 138

espelho espherico de abertura pequenissima, concavo ou convexo, a uma

distancia OA, que designamos por p. Consideremos um raio incidente OM e o reflectido MP: como MC é a bissectriz do angulo PMO do triangulo PMO, ou do seu externo, temos $\frac{PC}{MP}=\frac{CO}{MO}$: representando a distancia AP por p' e tomando AP por MP e OA por MO, é:

Nos espelhos concavos	Nos espelhos convexos
$\frac{r-p'}{p'}=\frac{p-r}{p}$	$\frac{r-p'}{p'}=\frac{p+r}{p}$
$\frac{r}{p'}-1=1-\frac{r}{p}$	$\frac{r}{p'}-1=1+\frac{r}{p}$
$\frac{1}{p}+\frac{1}{p'}=\frac{2}{r}$ .....(a)	$\frac{1}{p'}-\frac{1}{p}=\frac{2}{r}$ .....(b)

São estas as formulas dos espelhos esphericos, applicaveis apenas com rigor aos pontos proximos do seu centro de figura, e com sufficiente aproximação até 4 ou 5.º de abertura do espelho. Estas formulas mostram que o valor de p' só depende de p; por conseguinte todos os raios enviados por um ponto O vão passar, depois de reflectidos, pelo mesmo ponto P.

A semelhança dos triangulos OCO' o PCP', fig. 135 e 137, dá, no caso dos espelhos concavos, $\frac{PP'}{OO'}=\frac{r-p'}{p-r}$, e no dos espelhos convexos $\frac{PP'}{OO'}=\frac{r-p'}{p+r}$: substituindo em logar de r o seu valor tirado das formulas d'estes espelhos vem, em qualquer dos casos, $\frac{I}{O}=\frac{p'}{p}$, designando por I e O as grandezas da imagem e do objecto. Esta relação quando se refere ás imagens invertidas dos espelhos concavos costuma affectar-se com o signal *menos*.

355.—Discussão das formulas dos espelhos esphericos concavos. —As formulas dos espelhos esphericos concavos são

$$\frac{1}{p}+\frac{1}{p'}=\frac{2}{r}, \quad \text{e} \quad \frac{I}{O}=-\frac{p'}{p}.$$

Lembraremos que na deducção da primeira attribuimos a p' o signal $+$ para os fócos reaes: por conseguinte quando p' for negativo devemos concluir que o fóco fica por detraz do espelho, sendo então *virtual*.

Deve notar-se mais que em quanto p' não mudar de signal a imagem é invertida.

Para a discussão vamos suppor que o objecto caminha do infinito para o espelho, e escrevemos as formulas da maneira seguinte:

$$p' = \frac{r}{2 - \frac{r}{p}}, \qquad \text{e} \qquad \frac{I}{O} = -\frac{p'}{p}.$$

1.º—*Suppondo o objecto a uma distancia infinita*, o que equivale a considerar os raios parallelos ao eixo principal é

$$p = \infty \qquad p' = \frac{r}{2} \qquad I = \text{zero}$$

a imagem tem dimensões minimas e fórma-se no fóco principal, o qual, como se vê, dista do espelho metade do raio de curvatura.

2.º—*Suppondo o objecto a uma distancia finita além do centro de curvatura*, é

$$p > r \qquad p' > \frac{r}{2} \qquad I < O$$

3.º—*Se o objecto está no centro de curvatura*, é

$$p = r \qquad p' = r \qquad I = O$$

D'estas duas ultimas hypotheses conclue-se que à medida que o objecto se aproxima do centro aproxima-se tambem a imagem d'este ponto e augmenta de extensão, até se tornar egual ao objecto, sobrepondo-se-lhe exactamente, quando elle chega ao centro.

4.º—*Se o objecto está entre o centro de curvatura e o fóco principal*, temos

$$p < r \quad \text{e} \quad > \frac{r}{2} \qquad p' > r \qquad I > O$$

5.º—*Suppondo que o objecto chega ao fóco principal*, é

$$p = \frac{r}{2} \qquad p' = \infty \qquad I = \infty$$

quer isto dizer que dando a p os valores que primitivamente tinha p',

p' toma os valores de p crescendo indefinidamente, e a imagem, sempre invertida, cresce tambem até ao infinito.

6.º— *Se o objecto está entre o fóco principal e o espelho,* é $p < \frac{r}{2}$, p' torna-se negativo, e egual a $\frac{r}{\frac{r}{p} - 2}$; o seu valor absoluto é por tanto sempre maior que p[1]; por isso a imagem é direita e maior que o objecto; é tambem virtual, porque se fórma por detraz do espelho.

7.º— Quando $p = 0$ $p' = 0$; isto é, *no centro de figura, a imagem sobrepõe-se ao objecto.*

Estes resultados verificam-se quanto ás imagens reaes com o apparelho representado na fig. 139, que consta de um espelho concavo MN,

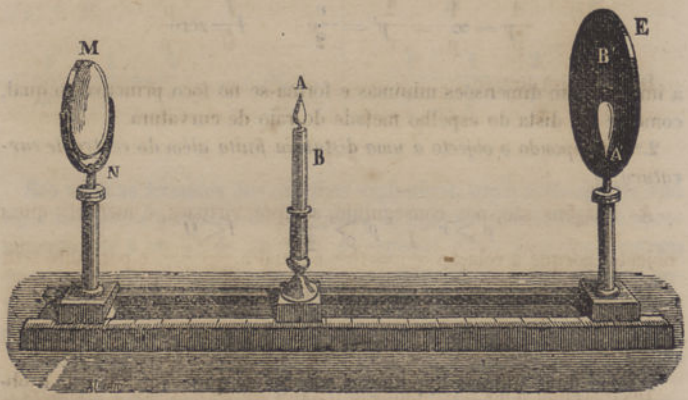


Fig. 139

de uma vela AB e de um alvo E, sendo estas tres peças moveis em uma ranhura de bordos graduados em millimetros. Quando a vela está muito distante do espelho vê-se uma pequena imagem invertida desenhada no alvo, que deve estar entre o espelho e a vela; aproxi-

[1] Suppondo $p = \frac{r}{2+\alpha}$, é $p' = -\frac{r}{\frac{r}{\frac{r}{2+\alpha}} - 2} = -\frac{r}{2+\alpha-2} = -\frac{r}{\alpha}$

por tanto é sempre em valor absoluto $p' > p$.

mando esta é preciso afastar o alvo e recebe-se uma imagem maior; quando a vela chega ao centro de curvatura do espelho a imagem está tambem n'esse ponto e é da grandeza do objecto; continuando a aproximar a vela do espelho, a imagem continua a afastar-se e augmenta: é o caso representado na figura.

Verifica-se com este apparelho a fórmula dos espelhos concavos, medindo as distancias p e p': reconhece-se então que $\frac{1}{p}+\frac{1}{p'}$ é constante para as differentes posições da vela, e egual a $\frac{2}{r}$, sendo r o raio do espelho.

356.—Discussão das formulas dos espelhos esphericos convexos. — As fórmulas d'estes espelhos são

$$\frac{1}{p'}-\frac{1}{p}=\frac{2}{r} \quad \text{e} \quad \frac{I}{O}=\frac{p'}{p}.$$

Da primeira tira-se

$$p'=\frac{r}{2+\frac{r}{p}}.$$

As imagens são, por conseguinte, sempre virtuaes, e menores que o objecto, porque a relação $\frac{I}{O}=\frac{p'}{p}$ é egual a $\frac{r}{2p+r}$, e por tanto sempre menor que unidade.

Quando $p=\infty$ é $p'=\frac{r}{2}$ e $I=0$.

Decrescendo p decresce tambem o valor de p', e cresce a grandeza da imagem, porque é $\frac{p'}{p}=\frac{r}{2p+r}=\frac{I}{O}$, até que para $p=0$ é $p'=0$ e $I=O$. N'este caso a imagem sobrepõe-se ao objecto e tem a extensão d'elle.

357.—Determinação do raio de curvatura dos espelhos esphericos.—Na discussão dos numeros antecedentes e em todas as applicações dos espelhos esphericos suppõe-se conhecido o raio de curvatura: não o sendo determina-se pelo processo seguinte.

Se o espelho é concavo expõe-se aos raios solares, fazendo com que o seu eixo principal seja parallelo á direcção d'elles; a posição onde se fórma a imagem menor e mais intensa do sol, é o fóco principal, e o dobro da sua distancia ao espelho é o raio procurado.

Sendo o espelho convexo usa-se do seguinte artificio. Reveste-se a sua

superficie de uma substancia não reflectidora, deixando apenas a descoberto dois pontos M e N, fig. 140, collocados na mesma meridiana e equi-

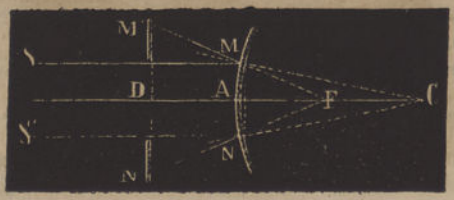


Fig. 140

distantes de A: expõe-se aos raios solares e recebem-se os raios reflectidos n'um alvo, que tem uma abertura para deixar passar os raios incidentes. Por tentativas colloca-se o alvo a uma distancia tal do espelho que seja $M'N'=2MN$: n'essa posição é $AD=AF=\frac{r}{2}$, em consequencia da semelhança dos triangulos $FM'N'$ e FMN.

358.— **Espelhos parabolicos.— Applicações.—** Os *espelhos parabolicos* são superficies polidas com a fórma de um paraboloide de revolução, isto é, são gerados por um arco de parabola AM, fig. 141, girando em torno do seu eixo AX.

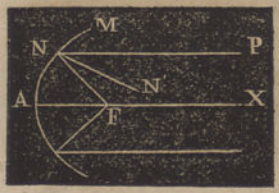


Fig. 141

Estes espelhos, não obstante serem de mais difficil construcção que os espherico, são-lhes preferiveis como reflectores, porque não teem aberração de espherico, isto é, um ponto luminoso collocado exactamente no fóco mathematico do paraboloide produz um feixe perfeitamente cylindrico parallelo ao seu eixo. Provém isto da propriedade conhecida da parabola, que se enuncia dizendo que: *a normal a qualquer ponto divide ao meio o angulo que o raio vector faz com a linha parallela ao eixo;* por conseguinte sendo F o fóco da parabola, no qual suppomos um ponto luminoso, qualquer raio FN segue, depois de reflectido, na direcção NP, parallelamente ao eixo da parabola: reciprocamente, os raios parallelos ao eixo vão depois da reflexão convergir rigorosamente no fóco F.

Por este motivo os espelhos parabolicos empregam-se de preferencia aos esphericos, para construir os reflectores dos pharoes, dos candieiros das viaturas ordinarias, das carruagens dos caminhos de ferro, das lampadas destinadas a illuminar as escadarias, etc.; advirta-se porém que, como as chammas dos candieiros teem dimensões apreciaveis, ha

sempre divergencia nos raios reflectidos, por isso que a luz parte de pontos mais ou menos distantes do fóco.

359.—**Espelhos cylindricos e conicos.—Anamorphoses.**—A formação das imagens nos espelhos planos e nos espelhos esphericos, permitte conhecer o que se passa nos espelhos cylindricos e conicos de base circular. Se o espelho é um cylindro recto a imagem tem as dimensões do objecto na direcção das geratrizes e outras dimensões na direcção transversal; porque os raios que se reflectem nas geratrizes formam ahi as imagens como sobre espelhos planos, e os que se reflectem nas secções transversaes, na circumferencia de uma secção recta, formam imagens como sobre um espelho espherico de raio egual ao do cylindro. Nos espelhos conicos convexos a imagem conserva as dimensões do objecto na direcção das geratrizes, porém fica com ellas reduzidas no sentido transversal, tanto mais quanto mais perto do vertice se reflectem os raios.

Segundo os principios que acabamos de indicar podem ver-se, pela reflexão nos espelhos cylindricos e conicos, imagens regulares de figuras na apparencia irregulares e monstruosas, posto que desenhadas segundo regras determinadas. Estas figuras denominam-se *anamorphoses*. A fig. 142 representa uma anamorphose desenhada no cartão *A B* e vista n'um espelho cylindrico *C*, collocado perpendicularmente sobre o cartão. O observador collocado em frente do espelho vê a imagem regular entre a superficie reflectidora do cylindro e o eixo.

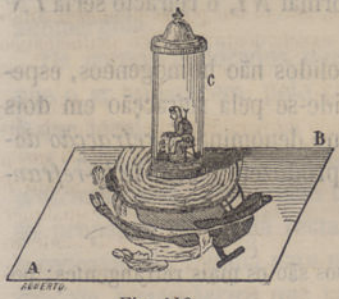


Fig. 142

Fig. 143

A fig. 143 representa na parte inferior uma anamorphose conica desenhada circularmente, e no centro a figura regular que se observa assentando o espelho conico no cartão, como se vê na parte superior da figura, collocando o olho no prolongamento do eixo do cone.

IV.—Refracção da luz.—Prismas e lentes

360.—Refracção simples e dobrada.—Um raio de luz passando obliquamente de um meio para outro, do ar para a agua, ou vice-versa, por ex., é desviado, aproximando-se ou afastando-se da normal á superficie de separação dos dois meios: este phenomeno, já mencionado no num. 338, é conhecido pela denominação de *refracção da luz.*

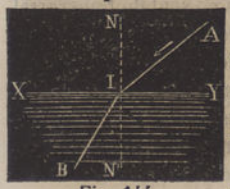


Fig. 144

Assim, seja XY, fig. 144, a superficie de separação dos dois meios, AI o *raio incidente* e NN' a normal a XY no ponto de incidencia I: o *raio refracto* é IB, por ex.; o angulo AIN diz-se *angulo de incidencia*, e BIN' *angulo de refracção:* no caso considerado, este angulo é menor que aquelle, isto é, a luz aproxima-se da normal; o contrario teria logar se a luz caminhasse do segundo para o primeiro meio: conforme acontece uma ou outra coisa, o segundo meio diz-se *mais ou menos refrangente* que o primeiro[1].

Se o raio incidente fosse a normal NI, o refracto seria IN' e não haveria *refracção.*

A luz atravessando alguns solidos não homogeneos, especialmente certos crystaes, divide-se pela refracção em dois feixes distinctos: este phenomeno denomina-se *refracção dobrada*, e as substancias que o produzem dizem-se *bi-refrangentes*[2].

[1] Em geral os corpos mais densos são os mais refrangentes; porém esta regra tem excepções.

[2] Gosam apenas d'esta propriedade as substancias crystallisadas não symetricas em torno de um ponto; porém as outras podem tornar-se bi-refrangentes accidentalmente, alterando-se-lhes a estructura pela compressão, como acontece com o vidro.

361.—**Exemplos de alguns effeitos vulgares da refracção.**—Os raios *OA*, *OB*, etc. dirigidos do objecto *O*, fig. 145, collocado debaixo d'agua, são desviados da normal quando penetram no ar, tomando as direcções *AA'*, *BB'*, etc., cujos prolongamentos concorrem sensivelmente sobre a normal *ON* n'um ponto *O'*, superior a *O*; por conseguinte um individuo fóra d'agua collocado em posição propria para re-

Fig. 145


Fig. 146

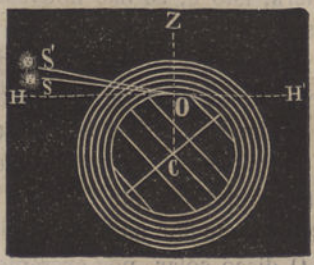


Fig. 147

ceber os raios *AA'*, *BB'*, etc., vê o objecto mais elevado. Isto acontece a todos os corpos mergulhados n'um meio mais refrangente do que o ar: por este motivo uma vara mergulhada em parte e obliquamente na agua parece quebrada, fig. 146; porque se eleva apparentemente a porção submergida.

Os corpos collocados n'um meio menos refrangente do que o ar apparecem, pelo contrario, n'uma posição inferior á que teem.

A refracção nas differentes camadas d'ar de densidade crescente para a superficie da terra faz com que a luz não se propague em linha recta, mas segundo uma curva com a concavidade voltada para nós. É este o phenomeno da *refracção atmospherica* que nos faz ver sobre o horisonte os astros que estão abaixo d'elle. De feito, os raios emittidos por um astro *S*, fig. 147, caminham em linha recta até encontrar a atmosphera, depois começam a refractar-se e seguem uma linha curva concava em referencia á terra; de modo

que o observador collocado em *O* vê o astro em *S'*, no prolongamento do ultimo elemento curvilineo.

A refracção atmospherica é nulla para os raios verticaes e augmenta com a sua obliquidade, tornando-se maxima no horisonte; por isso vemos muito tempo acima do horisonte os astros que estão abaixo d'elle. Assim, o sol nasce mais cedo e põe-se mais tarde do que o faria se não fosse a atmosphera, isto é, se não houvesse a refracção. Na Europa central o dia maior prolonga-se por este motivo 8,5 minutos, e nas regiões polares a presença do sol acima do horisonte prolonga-se mais de um mez.

Variando a refracção com a altura, as constellações, o sol e a lua parecem achatados verticalmente quando estão proximos do horisonte, porque a elevação produzida pela refracção é maior na parte inferior do que na superior.

O disco solar, por exemplo, apresenta-se com a fórma de uma oval não regular, composta de duas metades de ellipses com o mesmo eixo maior, porém com os semieixos menores muito deseguaes, sendo menor o da ellipse inferior.

Ás vezes as camadas atmosphericas não estão homogeneas e são irregularmente misturadas, por fórma que o disco solar vê-se no horisonte sob apparencias muito extraordinarias. A fig. 148 representa algumas das apparencias irregulares observadas á borda do mar em Dunkerque por Biot e Mathieu.

362.—**Leis da refracção simples: demonstração.**—As leis da refracção simples, conhecidas pela denominação de *leis de Descartes*, são as duas seguintes:

1.ª *O raio incidente e o raio refracto correspondente estão no mesmo plano normal á superficie de separação dos dois meios;*

2.ª *É constante a relação entre os senos*[1] *dos angulos de incidencia e de refracção, para os mesmos meios.*

[1] Descrevendo um arco com qualquer raio *R* e com o centro no

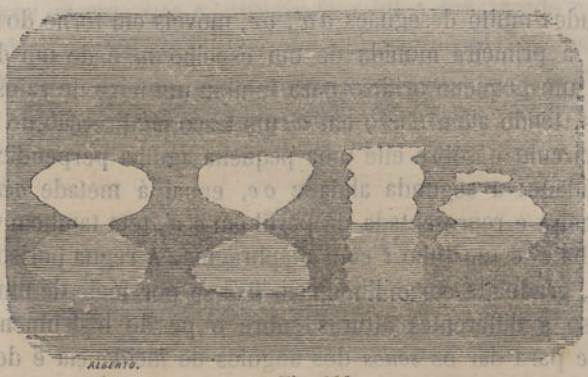


Fig. 148

Demonstram-se estas leis com o apparelho representado na fig. 149. É um circulo graduado vertical *A A* com duas

O raio é semi-cylindrico porque o raio refracto sai normal

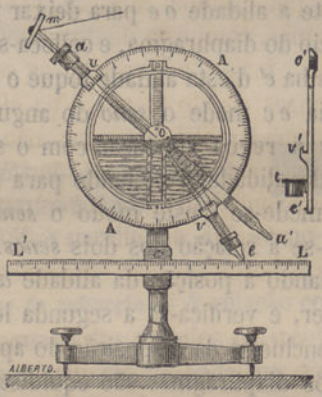


Fig. 149

vertice do angulo, e baixando do ponto em que elle corta um dos lados, a perpendicular sobre o outro, a relação entre esta perpendicular e o raio *R* denomina-se *seno do angulo:* o seu valor maximo é unidade, e corresponde ao angulo de 90°.

Variando o angulo, porém conservando constante o raio *R*, a relação entre os senos é egual á relação entre aquellas perpendiculares.

alidades muito deseguaes *a a'*, *o e*, moveis em torno do centro: a primeira munida de um espelho *m* e de um disco com um pequeno orificio para limitar um feixe de raios solares, tendo além d'isso em *a'* um traço na direcção do raio do circulo e sobre elle uma pequena agulha perpendicular á alidade: a segunda alidade *o e*, egual á metade *o a'* da primeira e representada de perfil em *o' e'*, tem tambem uma agulha *e'* e um tubo *t* com diaphragma. A regua horisontal *L L'*, graduada em millimetros, fixa-se por meio de um parafuso a differentes alturas sobre o pé do instrumento e serve para dar os *senos* dos angulos de incidencia e de refracção. No centro do circulo está um vaso semi-cylindrico de vidro contendo liquido até ao nivel do centro.

Para verificar as leis volta-se o espelho *m* de modo que um raio incidente *a o* chegue ao centro do circulo; dispõe-se convenientemente a alidade *o e* para deixar passar o raio refracto pelo orificio do diaphragma, e colloca-se a regua *L L'* de modo que a agulha *e'* d'esta alidade toque o seu bordo superior; a distancia *e c* mede o *seno* do angulo de refracção. Eleva-se depois a regua até tocar com o seu bordo superior a agulha da alidade *a a'*, tendo para isso levantado a outra alidade; mede-se d'este modo o *seno* do angulo de incidencia e faz-se a relação dos dois *senos*. Repete-se esta experiencia variando a posição da alidade *a a'*, tantas vezes quantas se quizer, e verifica-se a segunda lei.

A primeira conclue-se da disposição do apparelho; porque as aberturas dos diaphragmas são equidistantes do circulo vertical, e estão por conseguinte n'um plano perpendicular á superficie do liquido.

Demonstram-se as leis de Descartes nos solidos substituindo o vaso semi-cylindrico por um semi-cylindro de substancia solida transparente, e repetindo as mesmas operações.

363.—**Lei de reciprocidade.—Consequencia.**—Fazendo a experiencia do numero antecedente, porém com os meios em

ordem inversa, isto é, obrigando a luz a passar dos solidos ou dos liquidos para o ar, reconhece-se que os raios seguem o mesmo caminho, tendo-se mudado o angulo de refracção [illegible] incidencia e vice versa: por conseguinte a re-

gulos BAN' e HBA são eguaes por serem alternos internos é $OAN = CBH'$; porém como BH' é parallela a AN, segue-se que BC é parallela a AO.

Fig. 150

364.—**Indices de refracção.**—A relação constante para dois meios entre os senos dos angulos de incidencia e de refracção, varia com a natureza de cada um d'estes meios e denomina-se *indice relativo de refracção:* representando-o por n temos $n = \frac{\text{sen } i}{\text{sen } r}$. Em virtude do principio do numero antecedente, o indice relativo entre o segundo e o primeiro meio é $\frac{1}{n}$. Para evitar confusões não se considera entre dois meios senão um d'estes dois numeros, o que é superior á unidade. Assim quando a luz se refracta entre dois meios,

alidades muito deseguaes *a a'*, *o e*, moveis em torno do centro: a primeira munida de um espelho *m* e de um disco com um pequeno orificio para limitar um feixe de raios so-

363 = Lei de reciprocidade: a relação entre os senos dos angulos incidencia e de refracção, quando a luz se propaga atravez d'um meio para outro é inversa da relação entre os senos dos angulos de incidencia e de refracção, quando a luz se propaga em sentido contrario.

Eleva-se depois a regua até tocar com o seu bordo superior a agulha da alidade *a a'*, tendo para isso levantado a outra alidade; mede-se d'este modo o *seno* do angulo de incidencia e faz-se a relação dos dois *senos*. Repete-se esta experiencia variando a posição da alidade *a a'*, tantas vezes quantas se quizer, e verifica-se a segunda lei.

A primeira conclue-se da disposição do apparelho; porque as aberturas dos diaphragmas são equidistantes do circulo vertical, e estão por conseguinte n'um plano perpendicular á superficie do liquido.

Demonstram-se as leis de Descartes nos solidos substituindo o vaso semi-cylindrico por um semi-cylindro de substancia solida transparente, e repetindo as mesmas operações.

363.—**Lei de reciprocidade.—Consequencia.**—Fazendo a experiencia do numero antecedente, porém com os meios em

ordem inversa, isto é, obrigando a luz a passar dos solidos ou dos liquidos para o ar, reconhece-se que os raios seguem o mesmo caminho, tendo-se mudado o angulo de refracção em angulo de incidencia, e vice-versa; por conseguinte a relação constante, entre os senos dos dois angulos é tambem inversa do que era no primeiro caso: assim, sendo do ar para a agua de $\frac{4}{3}$, é de $\frac{3}{4}$ da agua para o ar. Isto é um caso particular da *lei de reciprocidade*, lei geral de optica que se enuncia da maneira seguinte: *a luz que atravessa um systema de corpos transparentes segue sempre o mesmo caminho, qualquer que seja o sentido da propagação.*

D'esta lei conclue-se que a luz atravessando um meio de faces parallelas não é desviada; porque sendo OA, fig. 150, o raio incidente na primeira face, AB o raio incidente na segunda e BC o raio emergente, temos a egualdade $\frac{sen\ OAN}{sen\ BAN'} = \frac{sen\ CBH'}{sen\ HBA}$, e como os angulos BAN' e HBA são eguaes por serem alternos internos é $OAN = CBH'$; porém como BH' é parallela a AN, segue-se que BC é parallela a AO.

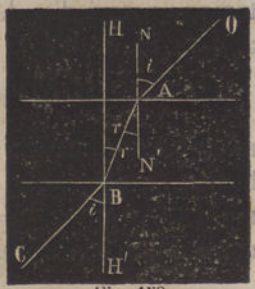


Fig. 150

364.—**Indices de refracção.**—A relação constante para dois meios entre os senos dos angulos de incidencia e de refracção, varia com a natureza de cada um d'estes meios e denomina-se *indice relativo de refracção:* representando-o por n temos $n = \frac{\text{sen } i}{\text{sen } r}$. Em virtude do principio do numero antecedente, o indice relativo entre o segundo e o primeiro meio é $\frac{1}{n}$. Para evitar confusões não se considera entre dois meios senão um d'estes dois numeros, o que é superior á unidade. Assim quando a luz se refracta entre dois meios,

toma-se sempre para angulo de incidencia o maior dos dois angulos que ella faz com a normal. É por este motivo que os indices de refracção se representam sempre por numeros maiores que unidade.

Se a luz passa do vacuo para uma substancia, o indice de que acabamos de tratar só depende da natureza d'esta substancia; é por tanto um numero que serve para a definir e que constitue um dos caracteres physicos mais importantes: denomina-se *indice absoluto*, ou simplesmente *indice de refracção* da substancia.

Como o indice de refracção do ar é muito pequeno[1] em relação ao da maior parte dos solidos e liquidos, despresa-se o seu valor, n'um grande numero de applicações, e toma-se para *indice* de uma substancia o indice relativo do ar e d'essa substancia[2].

365.—Angulo limite.—Reflexão total.—A formula $n=\frac{\text{sen } i}{\text{sen } r}$ mostra que á medida que cresce o valor de i cresce tambem o de r: quando o primeiro attinge o seu valor maximo, isto é, quando $i=90^\circ$, o valor de r é tambem maximo e dado pela expressão

$$\text{sen } R=\frac{1}{n}:$$

o angulo R denomina-se então *angulo limite;* porque o cone descripto com a geratriz OL, fig. 151, sendo $LON=R$, marca o limite de todos os raios refractos que podem penetrar pelo ponto O.

Se a luz caminha em sentido contrario, isto é, do meio inferior para o superior, os raios comprehendidos no cone

[1] O seu valor é 1,00029.

[2] Em rigor não é isto assim, e para passar do indice relativo de uma substancia em relação ao ar para o indice absoluto, é preciso multiplicar o primeiro pelo indice do ar.

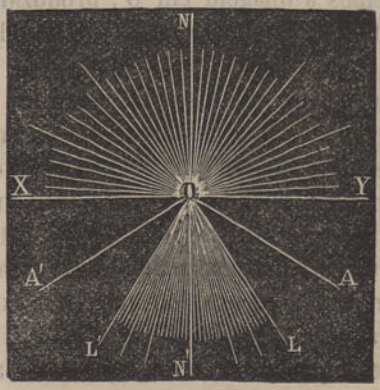


Fig. 151

LOL' saem em parte para cima e o resto reflecte-se; considerando porém um raio AO fóra do cone, para o qual sen $r > \frac{1}{n}$, tem-se sen $i > 1$, o que é impossivel. N'este caso não póde, com effeito, haver refracção, e reconhece-se na direcção OA' um feixe de luz muito intensa: diz-se então que ha *reflexão total*, o que quer dizer que sob uma incidencia maior que o angulo limite não póde a luz passar para o outro meio.

Uma experiencia muito simples demonstra o phenomeno da reflexão total: colloque-se sobre uma banca e proximo de uma das extremidades um copo com agua, e a uma certa distancia um objecto qualquer O, fig. 152: a uma distancia conveniente este objecto não póde ser visto olhando por cima do copo através da agua, porque sendo o angulo Oin superior ao angulo limite, nenhum dos raios póde emergir na superficie do liquido: olhando do outro lado, de baixo

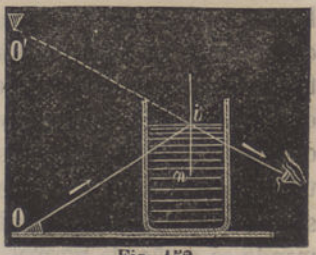


Fig. 152

para cima, vemos a imagem em *O'*, produzida pelos raios reflectidos totalmente na superficie do liquido; por tanto symetrica de *O* em relação a esta superficie.

366.—**Miragem.**—A reflexão total é a causa da *miragem*, isto é, do phenomeno que nos apresenta as imagens invertidas dos objectos distantes e pouco elevados, como se houvesse por baixo d'elles um grande espelho, ou uma grande superficie de agua. Observa-se frequentemente nos paizes quentes e particularmente nas planicies arenosas do Egypto, onde o celebre Monge o estudou quando a expedição franceza esteve n'aquelle paiz, em 1798 e 1799.

O phenomeno produz-se no Egypto com as povoações estabelecidas nas pequenas elevações salientes em vasta planicie, sensivelmente horisontal, para ficarem ao abrigo das innundações do Nilo: quando os raios solares aquecem mais o terreno, este parece terminar na distancia de quatro kilometros, pouco mais ou menos, por uma inundação geral; as povoações, avistadas a distancia, parecem ilhas situadas no meio de um lago, e abaixo da superficie ficticia d'este veem-se imagens invertidas das casas, das arvores, etc. Á medida que nos aproximamos a illusão diminue até desapparecer de todo.

Este phenomeno, observado tambem nos nossos climas, foi explicado por Monge da maneira seguinte.

Quando o ar está tranquillo, póde acontecer que as camadas em contacto com o terreno, fortemente aquecido pelos raios solares, se conservem em repouso n'um estado de equilibrio instavel, com as camadas mais frias e mais densas por cima; então os raios de luz, que vem dos objectos distantes e pouco elevados, e que são por conseguinte pouco inclinados ao horisonte, atravessam camadas de ar de densidade decrescente, afastam-se sempre da normal, chegam a uma camada sob o angulo limite, reflectem-se totalmente seguindo depois um caminho inverso e symetrico, aproximando-se então da normal, como se vê na fig. 153. O ob-

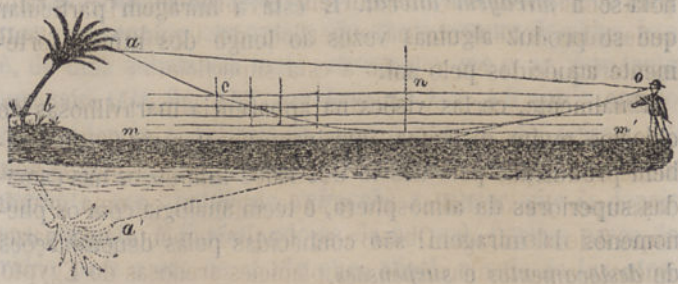


Fig. 153

servador vê as imagens no prolongamento dos ultimos elementos dos raios, por isso as percebe invertidas.

Os raios que vem da atmosphera reflectem-se de uma maneira analoga e dão a apparencia do lençol de agua, cujo brilho não deixa distinguir o solo; porém para que isto tenha logar, é preciso que se descubra a atmosphera perto do horisonte a fim de os raios serem sufficientemente obliquos. Eis o motivo porque só nos paizes de planicie, como no Egypto, se apresenta o lago de agua.

Observa-se muitas vezes a miragem no mar quando o ar mais frio que a agua está bastante tranquillo; são n'esse caso as camadas superiores mais refrangentes que as inferiores dilatadas pelo contacto com a agua mais quente.

Ás vezes a miragem apresenta as imagens invertidas collocadas superiormente aos objectos, como se tem observado no mar; porém este phenomeno é menos frequente, porque só póde produzir-se quando a certa altura ha camadas de ar horisontaes e de densidades rapidamente decrescentes, para que os raios sejam bastante reflectidos e soffram a reflexão total n'uma camada superior: este phenomeno denomina-se *miragem inversa*.

Se as camadas de densidades crescentes se dispõem verticalmente, como quando perto das costas ou das montanhas uma parte está aquecida pelo sol e outra na sombra,

nota-se a *miragem lateral*. É esta a miragem particular que se produz algumas vezes ao longo dos muros fortemente aquecidos pelo sol.

Finalmente, certas visões na apparencia maravilhosas de objectos muito distantes, invisiveis directamente, são tambem produzidas pelo desvio dos raios luminosos nas camadas superiores da atmosphera, e teem analogia com os phenomenos da miragem: são conhecidas pelas denominações de *deslocamentos* e *suspensões*.

367.—Prismas.—Dá-se o nome de *prisma*, em optica, a um meio transparente comprehendido por duas faces planas inclinadas uma sobre a outra: a recta em que estas faces se cortam, denomina-se *aresta* ou *vertice* do prisma; o angulo diedro formado por ellas denomina-se *angulo refrangente* do prisma.

Os prismas geralmente empregados são triangulares rectos, fig. 154; porém as suas bases, isto é, as faces triangulares nunca se consideram, e a terceira face rectangular, opposta á aresta, é que recebe o nome de *base* do prisma.

A secção triangular *BAC*, fig. 155, feita por um plano perpendicular ás arestas, denomina-se *secção principal* do prisma e a recta *BC base*. No que vamos dizer suppomos que a refracção se faz n'uma secção principal.

Fig. 154

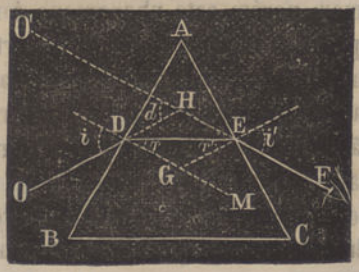


Fig. 155

368.—**Marcha dos raios de luz através dos prismas.**—Os prismas empregados em optica são quasi sempre de vidro, isto é, de uma substancia mais refrangente que o ar; por tanto um raio *OD*, fig. 155, *incidente* na face *AB* sob o angulo de incidencia *i*, refracta-se para o interior do prisma segundo *DE*, aproximando-se da normal e fazendo, por conseguinte, um angulo de refracção *r* menor que *i*; depois sae segundo *EF* afastando-se da normal, porque passa do vidro para o ar: de modo que, afinal, o *raio de luz atravessando o prisma é desviado para a base d'este.*

O angulo *OHO'* do raio incidente com o emergente denomina-se *desvio do prisma*. Um observador collocado em *F* e recebendo o raio emergente vê o objecto em *O'*; por isso se diz que *os objectos vistos através dos prismas parecem desviados para o vertice d'estes.*

Acontece o contrario do que deixamos dito, quando a substancia do prisma é menos refrangente que o ar; então os raios são quebrados para o vertice; por tanto os objectos vistos através do prisma são desviados para a base. Observa-se isto com um prisma ôco de vidro fazendo-lhe o vacuo, ou enchendo-o de um gaz menos refrangente do que o ar, como o hydrogeneo, por exemplo.

O desvio dos prismas augmenta com o angulo refrangente e com o indice de refracção da sua substancia.

Demonstra-se o augmento do desvio com o indice de refracção empregando o *polyprisma*, fig. 156, que é um prisma composto de muitos do mesmo angulo, mas de substancias diversas, como *flint-glass*, quartzo, *crown-glass*, etc. Uma linha recta vista através d'elle apparece partida, formada de partes collocadas a differentes alturas; mais elevada a que se observa através do *flint-glass*, que é mais refrangente, e em alturas de crescentes as outras.

Reconhece-se o augmento de desvio com o angulo refrangente, fazendo uma experiencia com o *prisma de angulo variavel*, fig. 157, composto de duas laminas parallelas de cobre *aa'* e *bb'* ligadas a um disco horisontal *oo'*, e de dois vidros *oc* e *o'c'*, moveis em torno de charneiras

Fig. 156

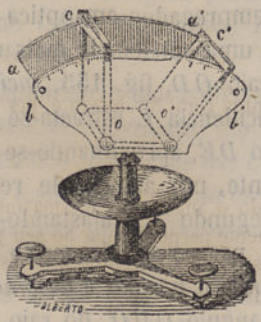


Fig. 157

o, o', entre os quaes se deita agua ou um liquido mais refrangente; fazendo variar a inclinação d'estes vidros muda-se á vontade o angulo refrangente e observa-se que o desvio varia no mesmo sentido: aquelle angulo mede-se pelas graduações das extremidades b, b', que são arredondadas em arcos de circulo.

369.—Fórmulas do prisma.—É claro que os angulos de incidencia, de refracção e de emergencia no prisma, relativos a um raio OD, fig. 154, ou aos raios parallelos a esta direcção, estão ligados pelas relações

$$\text{sen } i = n \text{ sen } r \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

$$\text{sen } i' = n \text{ sen } r' \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2)$$

sendo n o indice de refracção da substancia do prisma. Como o angulo refrangente A é egual a EGM, e este é egual a $r + r'$, por ser externo do triangulo EDG, temos

$$r + r' = A \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (3)$$

Pelo mesmo motivo é, no triangulo HDE,

$$d = HDE + HED = i - r + i' - r';$$

por tanto

$$d = i + i' - A \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (4)$$

Estas quatro expressões são as formulas do prisma.

Se o prisma é menos refrangente que o ar, ou que o meio em que está mergulhado, o desvio é

$$d = r - i + r' - i',$$

ou

$$d = A - (i + i').$$

A fórmula geral do desvio é, por conseguinte,

$$d = \pm (i + i' - A)$$

Sendo o angulo do prisma muito pequeno, e o raio incidente sensivelmente perpendicular ao seu plano bissector, são tambem muito pequenos os angulos feitos com as duas normaes, e podem tomar-se os arcos pelos senos: então é $i = n r$, $i' = n r'$, e o desvio

$$d = \pm \left[n (r + r') - A \right] = \pm \left[n A - A \right].$$

isto é,

$$d = \pm (n - 1) A.$$

Esta fórmula, frequentemente empregada nas applicações, mostra que *o desvio é sensivelmente proporcional ao angulo do prisma.*

370.—Condição da emergencia nos prismas.— Os prismas são empregados umas vezes para desviar os raios de luz, de modo que incidindo na face BA, fig. 158, saiam pela face AC; outras vezes para fazer sair os raios pela face BC, reflectindo-se totalmente em AC.

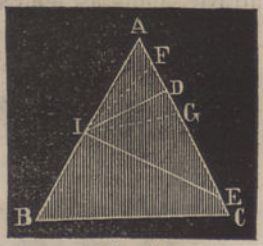


Fig. 158

Vamos estabelecer as condições da emergencia na face AC.

Conduza-se pelo ponto de incidencia I a normal ID á face de emergencia AC, e imagine-se o cone com o eixo ID, o vertice I, e o semi-angulo no vertice egual ao angulo limite da substancia do prisma; é claro que só passam na face de emergencia do prisma os raios que, incidindo em I, o atravessam dentro d'este cone. Imaginando um segundo cone com o mesmo vertice, com o eixo IE perpendicular á face de incidencia e com o semi-angulo no vertice egual ao angulo limite, já sabemos (365) que dentro d'elle estão contidos todos os raios que penetram no prisma pelo ponto I. Por conseguinte para que haja emergencia na face AC, é preciso que os dois cones se interceptem, o que exige que o angulo DIE seja menor que o dobro do angulo limite; e como elle é egual ao angulo refrangente do prisma, concluimos

que, para haver *emergencia* em um prisma, é preciso que o angulo refrangente seja inferior ao dobro do angulo limite da substancia de que é formado. Assim, n'um prisma de vidro basta que o angulo refrangente seja de 90°, para que não haja emergencia de nenhum raio.

371.—**Desvio minimo.**—Demonstra o calculo, recorrendo ás fórmulas do prisma, e reconhece-se pela experiencia, que o desvio de um raio de luz através de um prisma é minimo quando o angulo de incidencia é egual ao de emergencia.

Faz-se a experiencia introduzindo na camara escura um feixe de raios solares e marcando a posição em que elle se projecta na parede opposta; colloca-se depois no trajecto do feixe um prisma de arestas verticaes, a que se dá movimento de rotação em torno de um eixo vertical, para um e outro lado: reconhece-se d'este modo que a imagem do orificio de camara escura se aproxima successivamente do ponto marcado na parede até chegar a uma posição, da qual se afasta depois. A esta posição corresponde o desvio minimo, e é facil reconhecer que os feixes incidente e emergente são egualmente inclinados sobre as faces do prisma.

372.—**Lentes: convergentes e divergentes.**—Denominam-se *lentes*, em optica, os meios transparentes terminados por duas superficies esphericas, ou por uma superficie esphérica e uma plana. Em virtude da refracção, os raios de luz atravessando as lentes convergem ou divergem: as lentes são *convergentes*, quando teem mais grossura na parte média que nos bordos; e *divergentes* no caso contrario.

As *lentes convergentes* podem apresentar as tres fórmas indicadas na fig. 159; a lente *A* diz-se *bi-convexa*, a *B plano-convexa* e a *C concavo-convexa* ou *menisco convergente*.

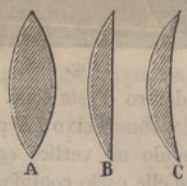


Fig. 159

Fig. 160

As *lentes divergentes* podem apresentar as fórmas *D*, *E* e *F*,

fig. 160: a primeira denomina-se *bi-concava*, a segunda *plano-concava* e a terceira *concavo-convexa* ou *menisco divergente*.

Os centros das espheras a que pertencem as superficies das lentes denominam-se *centros de curvatura*, e a recta indefinida que passa por elles diz-se *eixo principal*. Nas lentes que teem uma superficie plana, o eixo é a perpendicular a esta superficie conduzida pelo centro de curvatura da face curva.

Denomina-se *centro optico* o ponto *O* do eixo principal, fig. 161, que gosa da propriedade de que os raios, que atravessam a lente passando por elle, não soffrem desvio. Determina-se a sua posição conduzindo pelos centros *C* e *C'* dois raios de curvatura parallelos *CA*, *C'A'* e unindo os seus extremos pela recta *AA'*:

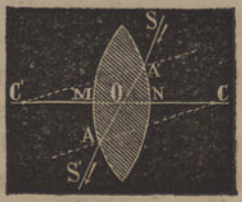


Fig. 161

o ponto de intersecção d'esta recta com o eixo principal é o centro optico. De feito sendo parallelos os planos tangentes nos pontos *A* e *A'*, o raio que segue segundo *AA'* atravessa a lente como se caminhasse através de um meio de faces parallelas; por tanto não soffre desvio.

Dá-se o nome de *eixo secundario* a qualquer recta conduzida pelo centro optico, distincta do eixo principal.

As propriedades das lentes convergentes, assim como as das lentes divergentes, são completamente independentes da sua fórma particular; por esse motivo, para fixar as idéas, consideramos apenas as lentes *bi-convexas* e as *bi-concavas*.

373.—**Fócos das lentes convergentes.**—Nas lentes convergentes distinguem-se, como nos espelhos concavos, tres especies de fócos: *fóco principal*, *fóco conjugado* e *fóco virtual*.

O *fóco principal* é o ponto *F*, fig. 162, do eixo principal por onde passam sensivelmente todos os raios depois de atravessarem a lente, tendo incidido sobre ella parallelamente áquelle eixo: a sua distancia *FA* á lente diz-se *distancia fo-*

cal principal. Reciprocamente, se o ponto luminoso está em *F*, os raios emergentes são parallelos ao eixo.

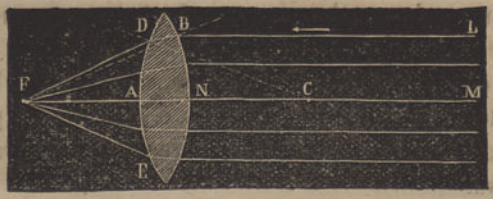


Fig. 162

Para que isto seja assim é preciso que a superficie esphérica comprehenda poucos graus[1].

Nas lentes convergentes consideram-se por tanto dois fócos principaes, um de cada lado, em posição invariavel: nas lentes ordinarias, que são de *crown-glass*[2], estes pontos coincidem sensivelmente com os centros de curvatura.

Suppondo um ponto luminoso *L* collocado além do fóco *F* da lente, fig. 163, como os raios divergentes d'elle, *LB*

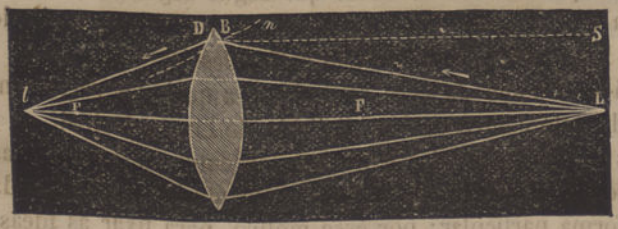


Fig. 163

[1] Em rigor formam-se *causticas*, apreciaveis quando a abertura das lentes não é muito pequena; e nota-se o phenomeno da *aberração de esphericidade*, (Veja a 1.ª nota da pag. 246).

[2] Nos instrumentos de optica empregam-se duas qualidades differentes de vidro, tanto para formar as lentes como os prismas: o *flint-glass*, que é um silicato de potassio e chumbo, e o *crown-glass*, que é o silicato de potassio e calcio.

por ex., fazem com a normal Bn angulos maiores que os feitos pelos raios parallelos, os angulos de refracção correspondentes tambem hão de ser maiores; de sorte que os raios emergentes se reunem do outro lado da lente n'um ponto l além do fóco principal. O ponto l diz-se *fóco conjugado* de L; por isso que, á semelhança do que acontece com os espelhos, o ponto luminoso collocado em l tem o seu *fóco* em L. A mesma construcção mostra que o fóco de um ponto se afasta indefinidamente de um dos fócos da lente, á medida que o ponto luminoso se aproxima do outro fóco, e já sabemos que chegando a este ponto deixa de haver fóco conjugado, porque os raios emergem parallelamente ao eixo: diz-se então que o fóco conjugado tem logar no infinito.

Se o ponto luminoso L está entre o fóco e a lente, fig. 164,

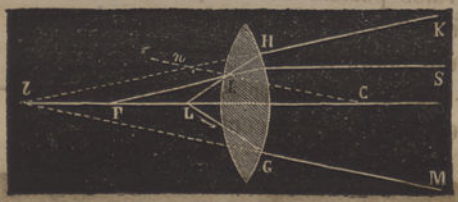


Fig. 164

os raios emergem divergentes do eixo: os seus prolongamentos concorrem porém para o mesmo lado do ponto luminoso, n'um ponto l, que é o seu *fóco virtual*. Assim as lentes convergentes dão apenas *fócos virtuaes*, quando os pontos luminosos estão entre ellas e os seus fócos principaes.

O que fica dito é completamente applicavel aos pontos situados fóra do eixo principal, com a differença porém de que os fócos se formam então nos *eixos secundarios*.

374.—**Fócos das lentes divergentes.**—N'estas lentes não ha senão fócos virtuaes, porque os raios que emergem são sempre divergentes.

Consideremos em primeiro logar os raios incidentes parallelos ao eixo, como SI, $S'K$, etc., fig. 165. Estes raios

Fig. 165

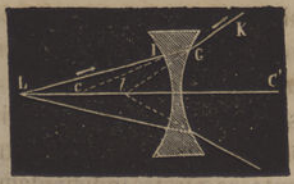


Fig. 166

penetram na lente approximando-se da normal CI, CK, etc., por conseguinte afastando-se já do eixo; depois emergem desviando-se da normal, e mais se afastam d'aquelle eixo. Os seus prolongamentos concorrem sensivelmente no ponto F, denominado *fóco virtual principal*.

Se os raios partem de um ponto L, fig. 166, uma construcção identica mostra que se fórma um fóco conjugado virtual n'um ponto l.

375.—**Imagens formadas pelas lentes convergentes.**—Seja AB, fig. 167, o objecto e O o centro optico da lente: para obter

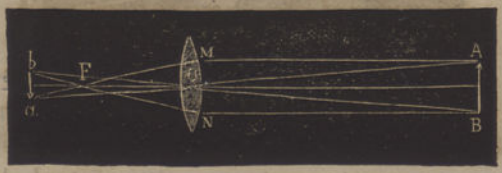


Fig. 167

a imagem conduzam-se os eixos secundarios de A e B e para ter os fócos d'estes pontos tirem-se os raios AM e BN parallelos ao eixo principal; como estes raios depois de atravessar a lente vão passar pelo fóco principal F, tracem-se as linhas MF e NF, e prolonguem-se até encontrarem os eixos secundarios respectivos: os fócos são por tanto a e b, e ab é a imagem procurada.

Em quanto os fócos são reaes, isto é, em quanto o objecto está além do fóco principal, as imagens são *reaes* e *invertidas:* quanto ás suas dimensões dependem evidentemente da distancia do objecto á lente; assim o objecto *AB* produz a imagem *ab* menor que elle; se o objecto fosse collocado em *ab* a sua imagem seria *AB* maior que *ab*.

Um objecto *AB*, fig. 168, collocado entre a lente *O* e o seu fóco principal *f* dá uma imagem *virtual*, e por conseguinte *direita* e *amplificada:* a figura indica a sua construcção, perfeitamente identica á que acima mencionamos.

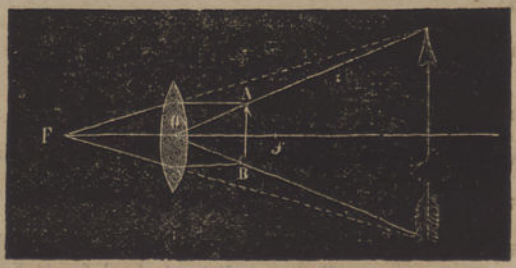


Fig. 168

376.—**Imagens formadas pelas lentes divergentes.**—As imagens formadas pelas lentes divergentes são evidentemente todas *virtuaes,* e por consequencia *direitas* e *menores* que o objecto. A figura 169 indica a construcção: *AB* é o objecto, *AO* e *BO* os eixos secundarios dos seus pontos extremos;

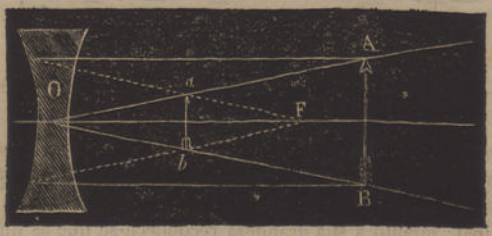


Fig. 169

conduzem-se por A e B raios parallelos ao eixo, os quaes depois de atravessarem a lente são divergentes e os seus prolongamentos concorrem no ponto F, fóco principal; por tanto os pontos a e b, em que estas linhas cortam os eixos secundarios, são os fócos virtuaes de A e B, e ab a imagem procurada.

377.—**Formulas das lentes.—Discussão.—** As formulas das lentes são perfeitamente analogas ás dos espelhos, porém expressas na distancia focal e não no raio r de curvatura.

Representando por f a distancia focal principal das lentes, as formulas são:

Para as lentes convergentes: $\frac{1}{p}+\frac{1}{p'}=\frac{1}{f}$.

Para as lentes divergentes: $\frac{1}{p'}-\frac{1}{p}=\frac{1}{f}$.

A relação entre a grandeza da imagem e do objecto é dada sempre pela expressão $\frac{I}{O}=\frac{p'}{p}$.

N'estas formulas suppõe-se muito pequena a superficie das lentes e despresa-se a espessura d'estas: a distancia focal f está ligada com os raios de curvatura r e r' das duas superficies e com o indice de refracção n da substancia da lente pela formula seguinte

$$\frac{1}{f}=(n-1)\left(\frac{1}{r}+\frac{1}{r'}\right).$$

Discussão.— 1.º— Nas lentes convergentes temos

$$\frac{1}{p}+\frac{1}{p'}=\frac{1}{f} \qquad \frac{1}{p'}=\frac{1}{f}-\frac{1}{p}=\frac{p-f}{pf};$$

por tanto

$$\frac{p'}{p}=\frac{f}{p-f} \quad \text{e} \quad \frac{I}{O}=\frac{f}{p-f};$$

Isto mostra que as imagens são *reaes*, e por tanto invertidas, quando o objecto está collocado a uma distancia da lente maior que a distancia focal principal: quanto á sua grandeza reconhece-se que as imagens são maiores que o objecto em quanto é $p<2f$, são eguaes a elle quando

$p = 2f$, e então é tambem $p' = 2f$, e são mais pequenas quando aquella distancia é maior que $2f$.

Quando a distancia do objecto á lente é menor que a distancia focal principal, as imagens são sempre virtuaes, direitas e maiores que o objecto; porque então é $\frac{1}{p} - \frac{1}{p'} = \frac{1}{f}$, e por conseguinte

$$\frac{I}{O} = \frac{f}{f-p}.$$

Estes resultados podem verificar-se, para as imagens reaes, com um apparelho semelhante ao da fig. 139, com a differença que o espelho é substituido por uma lente, e esta é collocada entre o alvo e a luz.

2.º— Nas lentes divergentes é

$$\frac{1}{p'} - \frac{1}{p} = \frac{1}{f} \qquad \frac{1}{p'} = \frac{1}{p} + \frac{1}{f} = \frac{f+p}{pf},$$

isto é,

$$\frac{p'}{p} = \frac{f}{f+p}.$$

Por conseguinte

$$\frac{I}{O} = \frac{f}{f+p}.$$

Quer isto dizer que as imagens são sempre menores que o objecto, virtuaes, e por tanto direitas.

V.—Dispersão da luz

378.—**Chromatica.**—O estudo que temos feito dos raios da luz é completamente geometrico, isto é, refere-se apenas á sua direcção; porém, independentemente da direcção e intensidade, os raios luminosos produzem impressões differentes sobre o orgão visual, as quaes se attribuem a differentes qualidades, que denominamos *côres*.

A parte da optica, que estuda as côres, é a *chromatica*.

379.—**Espectro solar.—Dispersão da luz.**— Recebendo n'uma camara escura, por uma abertura circular praticada n'uma das paredes, um feixe de raios solares *S A*, fig. 170, dirigindo-o sobre um prisma *P*, de arestas horisontaes e com o vertice voltado para o chão, vemos na parede opposta da camara escura e para a parte superior uma imagem do sol alongada na direcção perpendicular ás arestas do prisma, conservando as dimensões da abertura na direcção parallela, e córada com todas as côres do arco-iris.

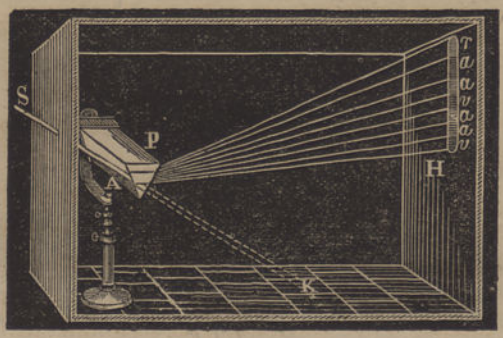


Fig. 170

Esta experiencia é devida a Newton, o qual deu á imagem córada do sol o nome de *espectro solar*, e ao phenomeno da separação das côres o de *dispersão*.

As côres principaes que se distinguem no espectro são as seguintes, collocadas na ordem ascendente da sua refrangibilidade:

Vermelha, alaranjada, amarella, verde, azul, anilada e roxa.

Estas côres não occupam espaços eguaes do espectro; a mais extensa é a roxa e a menos a alaranjada.

Note-se porém que as côres do espectro não são só estas; ha realmente uma infinidade d'ellas, de limites mal definidos, e que se fundem umas nas outras.

Para produzir um espectro solar com as sete côres principaes bem distinctas, convém que a abertura da camara escura seja de poucos millimetros de diametro, o angulo do prisma de 60°, e a distancia do alvo 5 a 6 metros.

380.—**Theoria de Newton.**—Newton explicou o phenomeno da dispersão admittindo que a luz branca do sol era composta de uma infinidade de raios de diversas côres, simples, indecomponiveis por novas refracções e dotados de desegual refrangibilidade[1].

Para confirmar este principio vamos demonstrar o seguinte:

1.°—*Que as diversas côres do espectro reunidas dão o branco;*

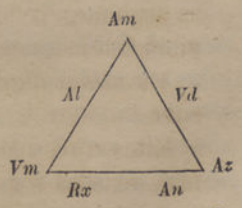
2.°—*Que as côres do espectro são simples;*

3.°—*Que os raios do espectro são desegualmente refrangiveis.*

381.—**I. Recomposição da luz branca.**— Demonstra-se que da sobreposição de todos os raios do espectro solar resulta a luz branca, com as experiencias seguintes:

1.ª—Dirigindo o espectro solar através d'uma lente biconvexa, fig. 171: collocando no fóco um alvo recebe-se n'este uma imagem branca do sol.

[1] Brewster admittia apenas tres côres simples: *vermelha, amarella e azul,* distribuidas mui desegualmente em toda a extensão do espectro, e dando pela sua mistura em proporções muito diversas as sete côres mencionadas. Apesar de não estar admittida esta theoria, fazemos menção d'ella, porque permitte mnemonisar bem a successão das côres.



Imaginem-se nos tres vertices de um triangulo as tres côres *vermelha* (*Vm*), *amarella* (*Am*) e *azul* (*Az*): o alaranjado (*Al*) que fica entre as duas primeiras, resulta da sua mistura; o verde (*Vd*) é a mistura das duas ultimas, e o *anilado* e *roxo* resultam da terceira e primeira conforme o predominio da côr primitiva.

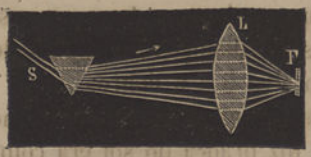


Fig. 171

Fig. 172

2.ª—Recebendo o espectro formado por um prisma sobre outro prisma da mesma substancia e de egual angulo refrangente, collocado em sentido contrario, fig. 172: os raios tornam-se parallelos e formam um feixe de luz branca.

3.ª—Dirigindo os raios do espectro para um espelho concavo, e collocando no fóco um alvo de vidro despolido, no qual se fórma a imagem do sol.

4.ª—Recebendo os raios do espectro sobre sete espelhos moveis, fig. 173, dando-lhes direcções convenientes para

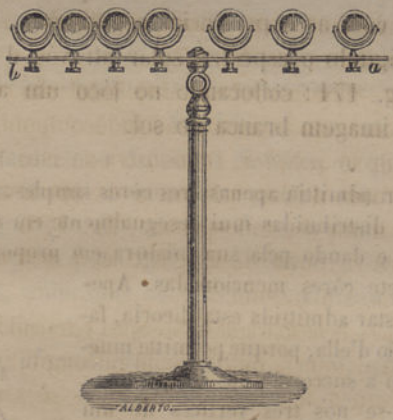


Fig. 173

que os raios concorram depois da reflexão n'um ponto da parede; vê-se n'este ponto uma imagem branca do sol.

5.ª—Fazendo girar rapidamente um disco de cartão no

qual estejam as sete côres em tiras de papel, dispostas do centro para a circumferencia, de modo que completem um certo numero de espectros successivos, fig. 174: a retina

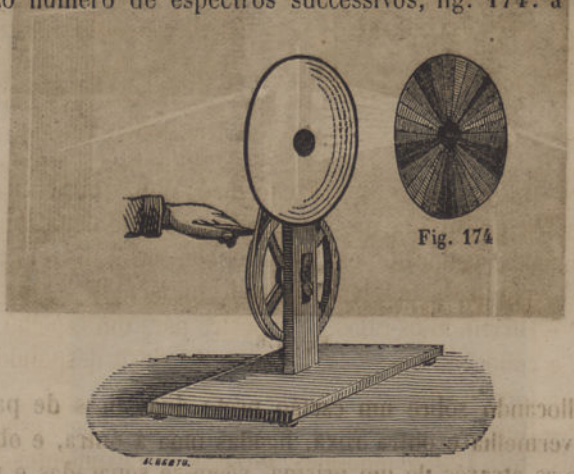


Fig. 174

Fig. 175

receberá simultaneamente a impressão das sete côres, e o disco parecerá branco, fig. 175.

382.—II.—**Demonstração da simplicidade das côres do espectro.** —As sete côres do espectro são indecomponiveis pelo prisma, e dizem-se *simples*. Demonstra-se isto facilmente isolando cada uma d'ellas, por meio de um alvo furado, e recebendo-as n'um segundo prisma, fig. 176.

Reconhece-se novo desvio, isto é, a refracção, porém a côr conserva-se a mesma.

383.—III.—**Demonstração da desegual refrangibilidade dos raios.** —É em consequencia da desegual refrangibilidade dos raios, que compõem a luz branca, que elles se separam atravessando o prisma e dão á imagem do sol a fórma alongada. Assim o roxo, que é mais desviado para a base do prisma, é o mais refrangivel e o vermelho o menos.

Varias experiencias directas demonstram completamente este principio.

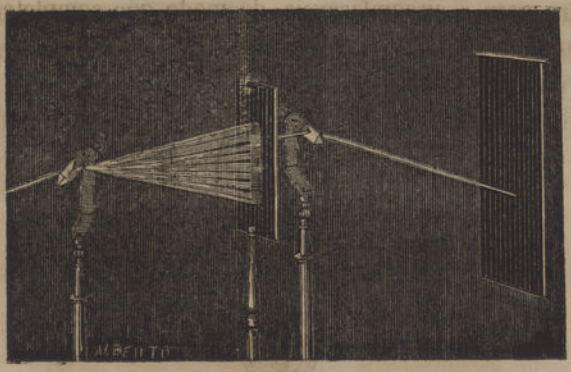


Fig. 176

Collocando sobre um cartão preto duas tiras de papel, uma vermelha e outra roxa, ligadas uma á outra, e observando-as através de um prisma, vêem-se separadas e mais desviada a roxa.

Recebendo o espectro produzido por um prisma horisontal, sobre um prisma vertical da mesma natureza e de egual angulo refrangente, obtem-se um espectro inclinado de 45°, resultado das duas refracções eguaes, uma vertical e outra horisontal: se os raios do espectro fossem egualmente refrangiveis é claro que o prisma vertical deveria desvial-os egualmente, e o espectro obtido com os prismas cruzados seria ainda vertical, porém mais desviado para a base do segundo prisma.

Newton variou esta experiencia de uma maneira notavel; sobrepoz sobre o mesmo alvo dois espectros inversos dados por dois prismas identicos collocados parallelamente, porém com os vertices para lados oppostos, e recebendo cada qual um feixe de luz solar; depois observou este duplo espectro com um terceiro prisma collocado entre os primeiros perpendicular a elles, e viu os dois espectros, desviados para o vertice do novo prisma, dispostos em cruz.

A experiencia dos prismas cruzados torna-se curiosa, e decisiva, dispondo os prismas de modo que se receba sobre um alvo a imagem do raio directo, o espectro de cada um dos prismas e o espectro de ambos.

Para este fim collocam-se os dois prismas como representa a fig. 177, sendo o circulo pontoado o feixe de raios

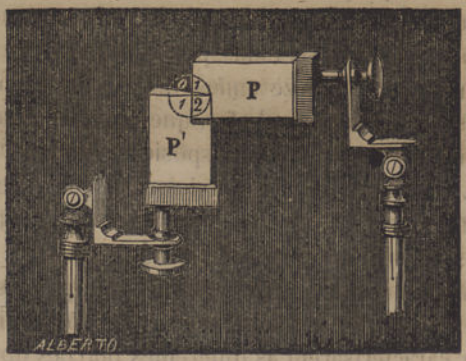


Fig. 177

solares. É claro que a porção do feixe que passa no quadrante 0 não soffre dispersão, porque não se refracta, e dá no alvo a imagem branca *A*, fig. 178; os raios que passam nos quadrantes 1,1 soffrem uma só refracção nos prismas

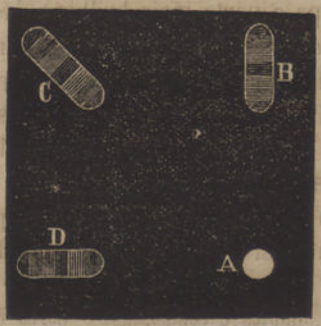


Fig. 178

P e *P'* e dão, o primeiro o espectro vertical *B*, o segundo o espectro horisontal *D*; finalmente os raios do quadrante 2 atravessam os dois prismas e dão o espectro obliquo *C*.

384.—**Riscas do espectro.**—O espectro solar não é continuo, isto é, não tem raios de todas as refrangibilidades comprehendidas entre os extremos; porque apresenta muitas linhas obscuras, perpendiculares ao seu comprimento e mui desegualmente repartidas. Estas linhas, denominadas *riscas do espectro*, foram observadas pela primeira vez por Wollaston em 1802, e quinze annos depois foram objecto de estudos especiaes de Fraunhofer, que observou mais de 600, sempre pela mesma ordem e disposição, qualquer que fosse o prisma, com tanto que a luz viesse do sol, directamente, ou reflectida pelos astros ou pelas nuvens. Variam porém quando os raios proveem de diversas origens.

Fraunhofer notou oito riscas principaes, que designou pelas primeiras lettras do alphabeto, e que são muito importantes por caracterisarem as differentes porções do espectro, fig. 179. No vermelho estão as tres primeiras, *A*, *B*, *C*; a

Fig. 179

quarta, *D*, occupa a parte mais brilhante do espectro entre o alaranjado e o amarello: n'esta côr ha tres muito distinctas, a ultima das quaes é representada por *E*; a verde contém tres, quasi equidistantes, a média das quaes é representada por *F*; a linha *G* fica entre o azul e o anilado, finalmente a *H* termina o roxo.

Multiplicando as refracções em muitos prismas e observando com um bom oculo teem-se contado mais de 3000 riscas.

385.—**Côres simples e compostas.**—**Côres complementares.**—Newton dividia as côres em *simples* e *compostas:* as pri-

meiras são as que se distinguem em um espectro bem puro; as segundas são formadas pela mistura de côres simples.

Podemos variar á vontade as côres compostas repetindo qualquer das experiencias descriptas no num. 381, e tendo o cuidado de interceptar alguns raios simples em differentes proporções.

Fazendo a primeira experiencia e interceptando algumas côres com um prisma de angulo muito agudo, obtem-se duas côres compostas, entre as quaes estão repartidos os elementos da côr branca. Estas côres, cuja mistura produz a branca, denominam-se *complementares:* são complementares uma da outra as côres *vermelha* e *verde; alaranjada* e *azul; amarella* e *roxa.*

386.—**Espectro das differentes luzes.**—A luz das differentes origens é sempre composta e por isso produz espectros, nos quaes não se encontram novas côres, nem diversa disposição; porém faltam, em geral, algumas, predominando sempre aquella que predomina na luz artificial.

Os espectros das luzes artificiaes não apresentam riscas obscuras, e pelo contrario teem linhas muito brilhantes em posições determinadas.

Nas luzes artificiaes predomina quasi sempre o amarello e isso explica o phenomeno de parecer verde á noite o que de dia é azul; porque o azul junto com o amarello produz a côr verde.

387.—**Propriedades das diversas partes do espectro solar.**—O espectro solar apresenta tres propriedades, a *luminosa,* a *calorifica* e a *chimica,* em differente intensidade nos seus diversos pontos.

A *intensidade luminosa* é maxima no amarello e alaranjado, e quasi nulla no roxo e no vermelho.

A *intensidade calorifica* é quasi nulla no roxo, cresce até ao vermelho e ainda além d'esta extremidade do espectro, adquirindo um maximo na parte obscura. Isto mostra que ha um *espectro calorifico,* que se sobrepõe em parte ao lu-

minoso, e que uma grande parte das irradiações calorificas do sol são obscuras e menos refrangiveis que os menos refrangiveis raios luminosos. Para distinguir os raios calorificos de diversa refrangibilidade, diz-se que tem *thermocroses* diversas.

A *intensidade da acção chimica* é maxima na côr roxa e na parte obscura do espectro além d'esta côr, e é quasi nulla no amarello, no alaranjado e no vermelho.

A acção chimica da luz é muito complexa. Umas vezes decompõe certos corpos, como acontece aos compostos binarios de alguns metaes, o chlorureto de prata, por exemplo, que ennegrece quando se expõe á luz, porque abandona uma parte do metal. Outras vezes a luz produz combinações: assim uma mistura do chloro e hydrogeneo, que se conserva indefinidamente nas trevas, exposta á luz produz uma grande detonação resultante da violenta combinação dos dois gazes. O oxygeneo adquire tambem, sob a acção solar, a tendencia para se combinar com as materias organicas; foi com uma experiencia d'esta natureza que Niepce imaginou em 1813 a arte photographica.

A luz solar preside ás acções chimicas que teem logar nas folhas das plantas, no acto da respiração; á formação da materia córante das folhas e das flores, etc.

As tres propriedades das differentes partes do espectro deram logar á consideração de tres especies de raios: *raios luminosos; raios calorificos* e *raios chimicos;* porém hoje não se admittem estas tres irradiações distinctas, sobrepostas em parte no espectro por serem da mesma refrangibilidade; admitte-se pelo contrario, em cada ponto do espectro uma só irradiação, capaz de manifestar-se pela luz, pelo calor e pela acção chimica.

388.—**Theoria da côr dos corpos.**—Os corpos opacos só podem ser vistos por *diffusão*, isto é, pela luz que reflectem irregularmente na superficie: a sua côr é por tanto a que resulta da mistura dos raios espectraes que diffundem. Se

diffundem todas as côres simples nas mesmas proporções em que entram no espectro, são *brancos;* se não diffundem luz alguma, são *pretos;* se diffundem só os raios verdes, são *verdes*, etc. Não sendo os corpos esclarecidos com a luz solar, a sua côr depende evidentemente da luz empregada; é por esse motivo que alguns objectos apresentam de noite côres differentes das que teem de dia.

Os corpos transparéntes deixam passar muitos raios de luz e reflectem outros; póde por isso acontecer que a sua côr seja differente quando vistos pela reflexão ou por transmissão; as côres tambem dependem da espessura, porque ella influe nos raios absorvidos: assim a agua em sufficiente espessura é alaranjada ou vermelha por transmissão, e verde ou azul por diffusão. Não se julgue porém que a côr transmittida deve ser sempre complementar da reflectida, isto só acontece quando o corpo não absorve luz alguma. Ha corpos vermelhos por transmissão e por diffusão; porque reflectem uma parte dos raios vermelhos incidentes, transmittem outra parte e absorvem os raios das demais côres.

O grau de polido da superficie dos corpos influe na sua côr, como bem se observa no marmore e nas madeiras. Os corpos tambem, ás vezes, teem côr differente quando em massa ou quando reduzidos a pó; reconhece-se isto nos metaes, cujo pó é muitas vezes negro.

389.—**Côr do ar.**—Se não fosse a atmosphera, a abobada celeste apresentar-se-nos-hia negra; porém como o ar reflecte diffusamente os raios azues e absorve os outros, faz que vejamos o *ceu azul.* (A faz reflecte-se uma parte do ar)

Se os raios do sol atravessam uma grande espessura da atmosphera perdem tambem n'esta os raios azues; por tal motivo, quando o astro está proximo do horisonte os seus raios parecem vermelhos, purpureos ou amarellos.

A grande intensidade da luz, diffundida pela atmosphera durante o dia, faz que só vejamos os astros á noite; sobre

as altas montanhas ou em um balão podem ver-se de dia, porque nas regiões elevadas da atmosphera é pequena a quantidade de luz diffusa e o ceu parece-nos quasi negro; o mesmo acontece observando do fundo de um poço.

390.—**Aberração de refrangibilidade.—Achromatismo.**— Vimos (377) que a distancia focal de uma lente dependia do indice de refracção, o qual é differente para as diversas côres do espectro; d'aqui resulta que uma lente, assim como um prisma, além de refractar a luz, decompõe-n'a, e apresenta, por conseguinte, para um feixe solar, sete fócos distinctos, sendo o mais proximo o da côr roxa, que é a mais refrangivel, e o mais distante o da vermelha.

Este defeito denomina-se *aberração de refrangibilidade.*

Assim, cada objecto tem uma infinidade de imagens correspondentes aos raios simples por elle enviados; as imagens sobrepoem-se em grande parte da sua superficie, não sendo n'esses pontos alterada a côr do objecto; porém nos bordos não se faz a sobreposição e elles ficam *irisados.*

Consegue-se em parte o *achromatismo* das lentes, isto é, a destruição do defeito mencionado, associando lentes convergentes com lentes divergentes de outra substancia, de modo que não destruindo a refracção, que se deseja, se compense a aberração propria de cada lente. O que é possivel, por não serem proporcionaes a dispersão e a refracção.

391.—**Arco-iris.**—O *arco-iris* é um phenomeno atmospherico muito conhecido e visivel unicamente quando o observador voltando costas para o sol se colloca defronte de nuvens que produzam chuva. Resulta da decomposição da luz solar através das gotas d'agua, combinada com a reflexão no seu interior. O arco apresenta as sete côres do espectro, sendo a vermelha a mais elevada.

Quasi sempre sobre este arco apparece outro menos intenso e com as côres dispostas em ordem inversa, isto é, com o roxo na parte superior.

O arco-iris inferior é formado pelos raios solares que penetram na parte superior das gotas, e que soffrem só uma reflexão interior: o arco-iris exterior é formado pelas gotas

mais elevadas, que recebem a luz pela parte inferior, a qual se reflecte duas vezes dentro d'ellas; por isso diminue mais de intensidade. Imaginando diversas gotas sobrepostas, sobre que incidam raios solares, o observador recebe d'ellas raios de diversas côres; as gotas caem, mas são substituidas por outras em quanto chove, e por tanto a impressão na retina não cessa.

A fig. 180 representa a marcha dos raios em quatro go-

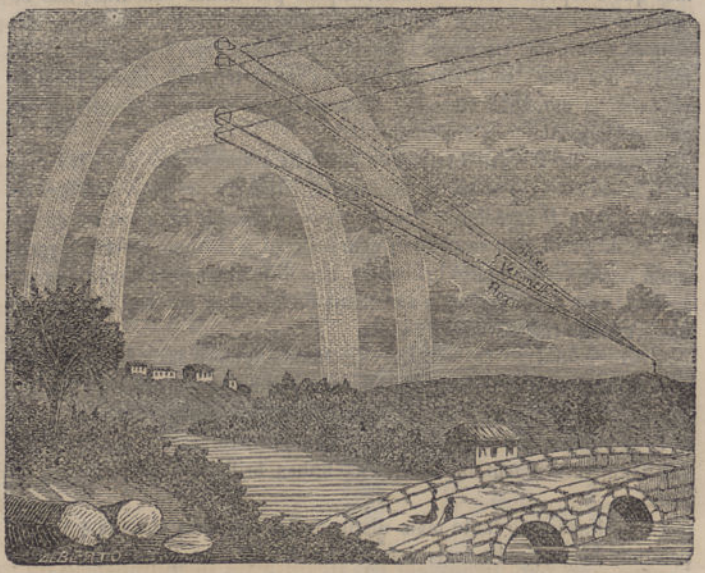


Fig. 180

tas, duas para cada arco; é claro que ás gotas intermedias correspondem as côres intermedias do espectro.

Noticia sobre a analyse espectral

392.—Espectro dos corpos incandescentes e das chammas.— Vimos que o espectro solar era interrompido por linhas obscuras; não se observa isto nos corpos solidos incandescentes, cujos espectros são sempre continuos. Os gazes incandescentes dão espectros pouco apparentes, nos quaes se destacam algumas riscas tão brilhantes e invariaveis que já em 1822 Herschel dizia poderem servir para caracterisar e analysar as materias em combustão.

Assim, a luz do alcool salgado é amarella e apresenta a risca *D* muito viva, observada em todas as combustões feitas em presença dos saes de soda: a risca *D* caracterisa por conseguinte o *sodio*. Se é um sal de cobre ou de prata, que se mistura com o alcool, a chamma é verde e apresenta riscas verdes muito brilhantes, mas differentes para o cobre e para a prata: com a estroncianna a chamma é vermelha, por ser formada de um grupo de riscas vermelhas, etc.

393.—Analyse espectral.—Kirchhoff e Bunsen, fazendo muitas experiencias com as chammas de enxofre, sulfureto de carbone e hydrogeneo (no ar) mostraram que:

1.º A combinação em que entra o metal, a natureza das chammas e a sua temperatura, não modificam as linhas brilhantes pertencentes ao metal;

2.º As linhas são tanto mais distinctas quanto mais elevada é a temperatura da chamma e mais volatil a combinação em que entra o metal;

3.º Introduzindo muitos metaes na mesma chamma, cada um d'elles produz as linhas que o caracterisam, como se estivesse só.

Partindo d'estas leis publicaram em 1855 um novo methodo de analyse qualitativa, com o qual é facil reconhecer rapidamente em qualquer substancia a presença da minima quantidade de corpos, que pelos methodos ordinarios não seria facil determinar.

A seguinte experiencia demonstra que a analyse espectral é mais sensivel do que todos os outros methodos de analyse. Faz-se detonar n'uma sala de 60 metros cubicos 3 milligrammas de chlorato de soda, misturado com assucar de leite, e observa-se no logar mais distante da detonação a linha caracteristica do sodio: admittindo que todo o sodio é uni-

formemente espalhado na sala e levado pouco a pouco para a chamma com o ar que alimenta a combustão, conclue-se que em cada segundo chega á chamma $\frac{1}{2000000}$ do milligramma, e isto basta para que appareça a risca caracteristica. Não admira pois que se reconheça o sodio quasi por toda a parte.

Por este processo d'analyse descobriu-se que o lithio, julgado raro, é um dos metaes mais espalhados no globo, ainda que em pequena quantidade; encontra-se na agua do mar, em certos quartzos, nas cinzas das madeiras, nas cinzas dos cereaes, no leite de muitos animaes, etc.

Com este methodo foi descoberto o rubidio, o cœsio, o thalio e o indio: o primeiro é caracterisado por duas linhas vermelhas muito intensas e duas roxas menos vivas; o segundo por duas azues muito brilhantes e muito proximas; o terceiro por uma linha verde, e o quarto por uma linha anilada.

394.—Espectroscopios.—Os srs. Kirchhoff e Bunsen imaginaram um apparelho, que denominaram *espectroscopio*, proprio para fazer a analyse espectral; a fig. 181 representa o apparelho modificado por Duboscq

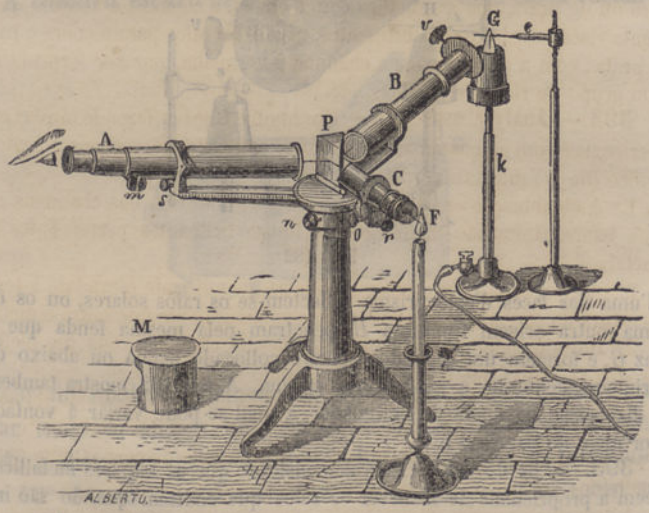


Fig. 181

e Grandeau. Consta de tres oculos montados sobre o mesmo pé e dirigidos para o mesmo prisma de flint *P*, o qual, na occasião da experiencia,

se cobre com uma caixa cylindrica *M* munida de tres aberturas voltadas para os tres oculos. O oculo *B* serve de collimador; recebe por uma fenda os raios da luz *G*, cujo espectro se quer analysar, e deixa-os sair em um feixe parallelo, porque atravessam duas lentes, a primeira das quaes os faz convergir no fóco da segunda. O oculo *A* serve de ocular do instrumento; por elle se observam os raios emergentes do prisma, e dando-lhe movimento de rotação em torno d'este póde-se dirigir para os differentes pontos do espectro: tem tambem duas lentes; a primeira dá uma imagem real e invertida muito perto da segunda, que funcciona de lupa e produz uma imagem do espectro oito vezes maior.

Determinam-se as distancias das diversas riscas com o micrometro traçado sobre uma lamina de vidro *C*, esclarecida pela chamma *F*, a qual se observa pela reflexão na face de emergencia do prisma *P*.

Para comparar dois espectros, observando-os simultaneamente, colloca-se na parte superior da fenda do oculo *B* um pequeno prisma de vidro *i*, fig. 182, o qual cobre uma parte da fenda e faz as vezes de espelho.

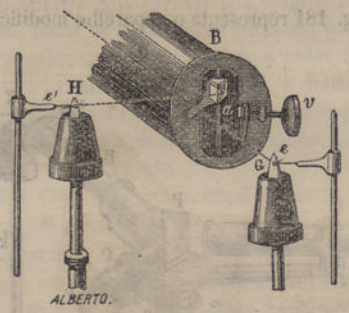


Fig. 182

N'uma das faces d'este prisma reflectem-se os raios solares, ou os de uma outra origem luminosa *H*, penetram pela mesma fenda que a luz *G*, e formam um segundo espectro collocado acima ou abaixo do primeiro, conforme a posição do prisma. A fig. 182 mostra tambem a disposição da fenda do collimador, a qual se póde variar á vontade por meio do parafuso *v*.

395. — **Luz do sol.** — Está demonstrado que os vapores metallicos teem a propriedade de absorver os raios que emittem quando são incandescentes, isto é, aquelles que formam as riscas brilhantes do espectro; é preciso porém que a sua temperatura seja inferior á do corpo que dá o espectro continuo.

Este facto e a circumstancia de coincidirem muitas das riscas obscu-

ras do espectro solar com riscas brilhantes caracteristicas de muitos metaes, leva-nos a crer que a luz do sol provém de um nucleo de temperatura muito elevada, cercado por uma atmosphera menos quente contendo vapores metallicos: o nucleo dá um espectro continuo, porém estes vapores absorvem alguns raios constituindo as riscas obscuras, cuja posição indica a natureza d'aquelles metaes.

VI.—Instrumentos de optica.—Photographia

396.—**Camaras escuras.**—Dissemos no num. 333 em que consistia uma *camara escura:* para empregar este instrumento no desenho tem-se-lhe dado varias fórmas com o fim de augmentar a nitidez e o brilho das imagens e de tornar estas direitas.

A *camara escura de gaveta*, fig. 183, é uma caixa rectan-

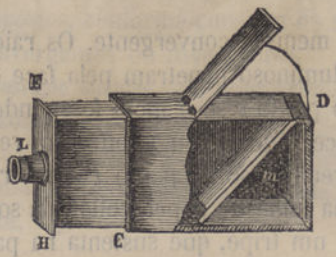


Fig. 183

gular de madeira formada de duas partes, que podem entrar mais ou menos uma na outra a fim de variar á vontade a distancia do alvo á lente *L*: um espelho *m* inclinado de 45° desvia os raios de luz e faz com que a imagem se forme sobre um alvo de vidro despolido, collocado horisontalmente na parte posterior da camara e convenientemente abrigado da luz por um anteparo.

Na *camara escura de prisma* um prisma triangular *ABC*, fig. 184, serve ao mesmo tempo de lente convergente e de espelho. Para esse fim a face *AB* é plana e as outras *AC* e *BC* teem uma curvatura tal, que, pelas suas refracções combinadas na immergencia e emergencia dos raios, produzam

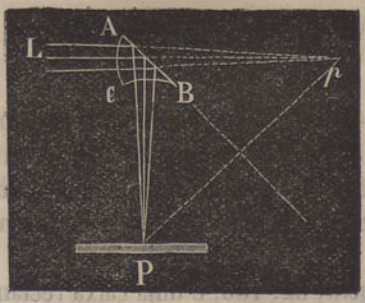


Fig. 184

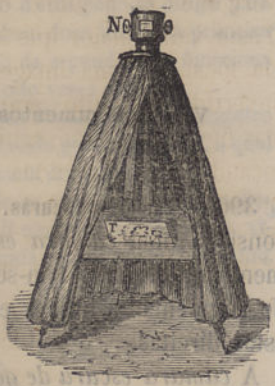


Fig. 185

o effeito de um menisco convergente. Os raios *L* emittidos por um ponto luminoso penetram pela face convexa *AC* e concorreriam no ponto *p* se o meio fosse indefinido por detraz d'aquella face; porém como soffrem a reflexão total na face plana *AB* reunem-se no ponto *P* symetrico de *p* a respeito d'ella: uma folha de papel, collocada sobre uma prancha apoiada em um tripé, que sustenta na parte superior o prisma contido n'um estojo metallico, recebe as imagens dos objectos exteriores. O tripé é envolvido por uma cortina preta, formando uma pequena camara, dentro da qual se colloca o desenhador, fig. 185.

397.—**Lanterna magica.**—A *lanterna magica* é um instrumento que, introduzido na camara escura, dá sobre o alvo imagens amplificadas de pequenos objectos, a fim de serem observadas por muitos espectadores. É uma lanterna fig. 186, com um candieiro *R* munido de reflector parabo-

lico, em frente do qual está uma lente *C* destinada a convergir os raios luminosos sobre figuras translucidas pintadas no vidro *b b*. Uma segunda lente convergente *c*, a uma distancia d'este vidro maior que a distancia focal, dá uma imagem real, invertida e muito amplificada das figuras; por conseguinte collocando estas invertidas obteem-se as imagens direitas: esta ultima lente póde afastar-se ou aproximar-se do vidro *bb*, a fim de que as imagens se formem nitidas sobre o alvo.

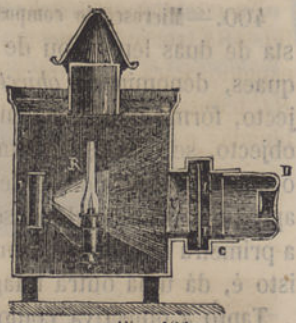


Fig. 186

398.— **Microscopios.**— Denominam-se *microscopios* os instrumentos que auxiliam a visão, quando é muito pequeno o diametro apparente dos objectos proximos.

Dividem-se os microscopios, assim como todos os instrumentos d'optica fundados nas propriedades das lentes, em *simples* e *compostos*, conforme constam de um só ou de muitos vidros convergentes ou divergentes.

399.— **Microscopio simples.**— O *microscopio simples* ou *lupa* é uma lente convergente de curto fóco, com a qual se observa o objecto collocado entre ella e o seu fóco principal. N'estas circumstancias, a imagem é, como se sabe, virtual, maior e direita, fig. 187.

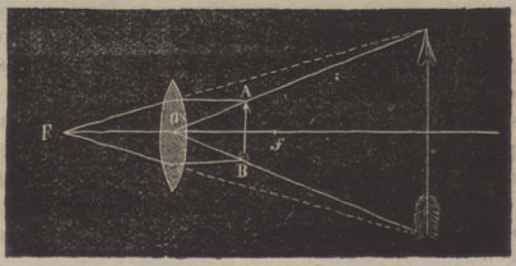


Fig. 187

400.—**Microscopio composto.**—O *microscopio composto* consta de duas lentes, ou de dois systemas de lentes, um das quaes, denominado *objectiva*, porque se volta para o objecto, fórma uma imagem real, invertida e maior do que o objecto, se este está além do fóco principal e perto d'elle; o outro systema de lentes, denominado *ocular*, porque se aproxima do olho do observador, funcciona de lupa quando a primeira imagem se fórma entre ella e o seu fóco principal, isto é, dá uma outra imagem ainda mais amplificada.

Tanto a objectiva como a ocular são de curto fóco e fixas; porque, não obstante dever formar-se a primeira imagem sempre áquem do fóco principal da ocular, consegue-se isto variando a distancia do objecto á objectiva.

A fig. 188 indica a formação das imagens n'um micros-

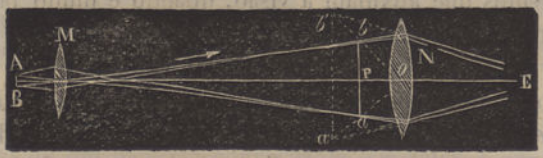


Fig. 188

copio composto no caso simples de duas lentes: *AB* é o objecto muito pequeno collocado perto do fóco da objectiva *M*, a qual dá a primeira imagem *ab* entre o fóco principal e a lente ocular *N*: esta dá a segunda imagem $a'b'$.

401.—**Oculos.**—Denominam-se *oculos* os instrumentos d'optica formados só de lentes, cujo fim é aproximar e tornar distinctas as imagens dos objectos afastados. Os *oculos astronomicos* constam de dois systemas de lentes convergentes, objectiva e ocular, dispostos como no microscopio composto, com a differença que a objectiva é de fóco comprido e póde aproximar-se ou afastar-se da ocular, a fim de que a imagem dada por esta se forme á distancia da visão distincta do observador. As imagens são invertidas, o que não tem inconveniente quando se observam os astros.

Nos *oculos terrestres* tornam-se direitas as imagens interpondo á ocu-

tar e á objectiva um systema de duas lentes eguaes e parallelas; porém as quatro lentes absorvem muito a luz, e por isso é preferivel a disposição dos *oculos de Galileo*, fig. 189, que dá imagens direitas só com duas

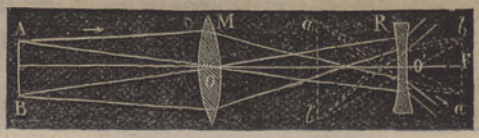


Fig. 189

lentes, sendo divergente a ocular *R*, collocada entre a objectiva *M* e o logar da sua imagem real *ab*. D'este modo os raios, convergentes para os differentes pontos d'esta imagem, divergem e formam entre as lentes outra imagem *a'b'* virtual e direita.

O binoculo de theatro é composto de dois oculos de Galileo.

402.—Telescopios.—Os *telescopios* são tambem instrumentos de ver ao longe; porém differem dos oculos em que a objectiva é um espelho concavo, que não tem aberração de refrangibilidade e póde ser de grandes dimensões tornando muito amplificante o apparelho.—A imagem dada pela objectiva é observada com uma lente ocular.

No *telescopio de Gregory*, fig. 190, o espelho concavo *MN*, que é a ob-

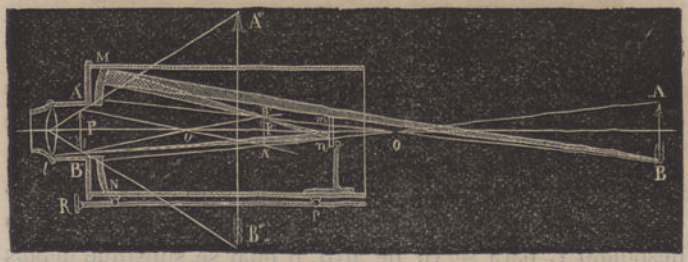


Fig. 190

jectiva, tem uma abertura central, a que corresponde a ocular *l*: um outro espelho concavo *mn*, muito pequeno, collocado a distancia da primeira imagem *AB* dada pela objectiva um pouco superior á sua distancia focal, produz uma segunda imagem *A'B'*, já amplificada, perto da ocular *l*, a qual, funccionando de lupa, augmenta-a ainda mais.

No *telescopia de Newton*, fig. 191, o espelho *MN* não é furado; o outro espelho espherico é substituido por um prisma rectangulo de vidro, em cuja hypothenusa se faz a reflexão total, e a ocular *l* está collocada

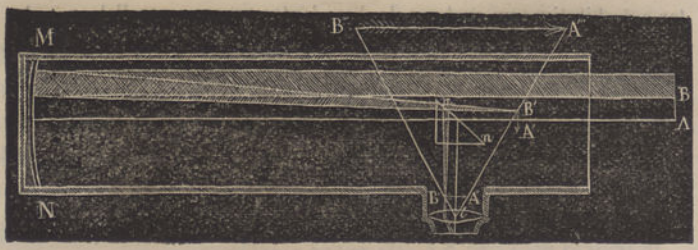


Fig. 191

n'um pequeno tubo perpendicular ao telescopio, de modo que a observação se faz de lado.

Foucault introduziu aperfeiçoamentos importantes no telescopio de Newton, já augmentando muito o poder reflectidor da objectiva, já diminuindo-lhe o peso, e finalmente anullando a aberração de esphericidade. O espelho é de vidro, e não de metal, tem a fórma parabolica e é prateado por um processo especial.

403.—Idéa geral sobre a photographia.—Machina photographica. —A *photographia* é a arte que tem por fim fixar sobre um alvo por meio de processos chimicos as imagens obtidas na camara escura. É fundada na acção chimica da luz sobre os saes de prata, e sobre as materias organicas.

O apparelho empregado, ou a *machina photographica*, é uma pequena camara escura *AB*, fig. 192, apoiada sobre um tripé, e composta de duas partes *A* e *B* que entram uma na outra. É fixa a parte *B*, que tem o systema de lentes denominado a *objectiva;* é movel a *A*, que recebe um vidro despolido *C* para servir de alvo, o qual se substitue depois por uma chapa coberta com uma camada de substancia impressionavel.

O processo photographico ordinario compreende duas partes bem distinctas: o preparo do *cliché* ou da *prova negativa* sobre vidro, e o preparo das provas positivas sobre papel.

1.° Tira-se a *prova negativa*, (assim chamada, porque os claros e escuros do quadro veem invertidos, isto é, negro

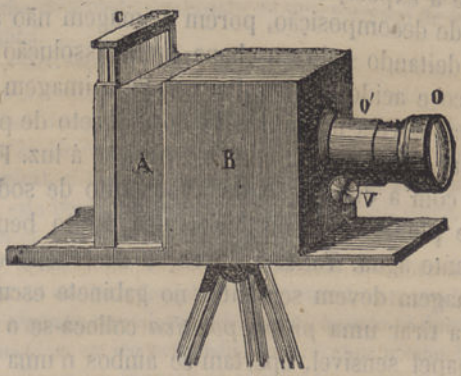


Fig. 192

onde é branco, e vice-versa), começando por *metter a machina em fóco;* para este fim volta-se a machina para o objecto que se quer reproduzir, tendo-a collocado a uma distancia conveniente e em relação com a grandeza que deve ter o desenho; move-se a ocular *O O'* por meio do parafuso *V* até que a imagem se forme no vidro *C*, com a maxima nitidez. Feito isto substitue-se este vidro por um vidro impressionavel, sobre o qual se deixa actuar a imagem durante certo tempo; por ultimo faz-se apparecer esta imagem no vidro e fixa-se.

Prepara-se a chapa impressionavel limpando-a muito bem; deitando-lhe uma camada de collodium liquido, que é uma dissolução de algodão-polvora em alcool e ether, a que se junta uma porção de iodureto de potassio, e mergulhando-a antes de sêcca n'um banho de nitrato de prata, o qual torna opalina a camada de collodium transformando o iodureto de potassio em iodureto de prata, substancia impressionavel. É claro que esta ultima operação deve ser feita n'um gabinete escuro ou apenas esclarecido pela luz que atravessa um vidro amarello-alaranjado. A acção chimica dos raios luminosos que atravessam este vidro é nulla.

Durante a exposição á luz o iodureto de prata soffre um principio de decomposição, porém a imagem não apparece: *revela-se* deitando sobre a chapa uma dissolução de acido pyrogalhico e acido acetico. Para *fixar* a imagem é preciso dissolver as partes não atacadas do iodureto de prata, aliás a chapa enegreceria toda com a exposição á luz. Faz-se esta operação com a dissolução de hyposulfito de soda ou cyanureto de potassio, e por fim lava-se muito bem a chapa com bastante agua. Tanto a operação de revelar como a de fixar a imagem devem ser feitas no gabinete escuro.

2.º Para tirar uma *prova positiva* colloca-se o *cliché* sobre um papel sensivel, apertam-se ambos n'uma prensa, e expõem-se á luz. Terminada a exposição introduz-se o papel n'um banho de chlorureto de ouro para dar um *tom* conveniente ao desenho; fixa-se este com hyposulfito de soda, e lava-se.

Esta operação póde recomeçar-se quantas vezes se quizer, de modo que o mesmo *negativo* serve para tirar muitas *provas positivas*.

O papel prepara-se mettendo-o primeiramente em um banho de sal marinho, e depois n'outro de nitrato de prata, o qual transforma este sal em chlorureto de prata, substancia impressionavel.

VII.—Idéa geral da refracção dobrada e da polarisação da luz

404.—**Crystaes de um eixo.—Secção principal.**—Alguns crystaes bi-refrangentes (360) teem a propriedade de dar uma só imagem dos objectos, quando se observa através d'elles n'uma direcção determinada: a esta direcção dá-se o nome de *eixo optico*, e áquelles crystaes o de *crystaes de um eixo*.

N'estes crystaes denomina-se *secção principal* qualquer plano conduzido pelo eixo optico.

Os crystaes de um eixo mais frequentemente empregados em optica são o spatho de islandia (carbonato de cal), o crystal de rocha (quartzo) e a tormalina.

405.—**Refracção dobrada nos crystaes de um eixo.**—Recebendo a luz através d'estes crystaes, em qualquer direcção differente do eixo, vêem-se duas imagens, uma das quaes segue as leis de Descartes (362) e por isso se diz *imagem ordinaria*, em quanto que a outra não as segue, em geral, e diz-se *imagem extraordinaria*. Em qualquer secção principal, esta imagem segue porém a primeira lei, isto é, está no plano de incidencia, mas não segue a segunda.

406.—**Polarisação da luz.**—Cada uma das imagens obtidas com um crystal de um eixo desdobra-se novamente, em geral, quando atravessa um segundo crystal; excepto porém, quando as duas secções principaes coincidem ou são perpendiculares, porque n'estas circumstancias cada uma d'aquellas imagens dá só uma das imagens correspondentes, ordinaria ou extraordinaria. Fazendo a experiencia com a imagem ordinaria obtem-se a imagem ordinaria correspondente quando as secções são parallelas, e a extraordinaria quando são perpendiculares; o contrario acontece com a imagem extraordinaria.

A luz perdeu, por conseguinte, pela refracção dobrada uma das propriedades que tinha antes: diz-se que está *polarisada*.

Recebendo a luz polarisada sobre um espelho de vidro sob a incidencia de 57°, 35′, e fazendo girar este espelho de modo a levar o plano de incidencia a todos os azimuths, reconhece-se que a luz se reflecte em grande proporção n'um certo plano, e que esta proporção decresce continuamente até se tornar minima no azimuth perpendicular. Em todos os casos a proporção de luz refractada é complementar da reflectida.

São estes os caracteres distinctivos do novo estado da luz.

Note-se porém, que a luz adquire tambem pela refracção simples, e principalmente pela reflexão em determinadas circumstancias, estes mesmos caracteres. Assim a luz *polarisa-se* tambem pela reflexão e pela refracção simples. E podemos dizer que a *polarisação da luz* é a propriedade que a luz adquire, depois de se reflectir ou refractar em circumstancias determinadas, de não se tornar a reflectir ou refractar, completa ou parcialmente, tambem em circumstancias especiaes.

407.—**Plano de polarisação.**—Convencionou-se denominar *plano de polarisação da luz* ao plano de incidencia n'um espelho a que corresponde a maxima quantidade de luz reflectida.

Se a luz se polarisou pela reflexão, o *plano de polarisação* é o plano d'esta reflexão: se se polarisou pela refracção simples aquelle plano é normal ao da refracção.

Na refracção dobrada o raio ordinario polarisa-se no plano da secção principal, e o raio extraordinario no plano perpendicular a esta secção.

Tudo isto se reconhece recebendo a luz polarisada sob o angulo de 57°, 35′ n'um espelho que se leva a todos os azimuths.

408.— **Luz natural e luz polarisada.**— A *luz natural* é devida, como se sabe, aos movimentos vibratorios propagados n'um certo meio. Está provado que estas vibrações são *transversaes* (244) e perpendiculares aos raios luminosos, isto é, ás linhas de propagação; porém executam-se em todos os planos conduzidos por estas linhas.

Na luz completamente *polarisada* as vibrações fazem-se só no plano perpendicular ao plano de polarisação; é por esse motivo que esta luz não póde reflectir-se nem refractar-se em certos planos.

O que deixamos dito parece-nos sufficiente para se fazer uma perfeita idéa da *luz polarisada*, a qual é muito mais comum que a luz natural.

CAPITULO XI

ELECTRICIDADE ESTATICA

I.—Noções preliminares

409.— **Electricidade.**— Esfregando com a lã um pau de lacre, de resina, de vidro e de muitas outras substancias, e aproximando-o de objectos muito leves, como bocadinhos de papel, barbas de pennas, serradura de madeira, etc., vê-se que estes são attraidos, e que apoz o contacto são immediatamente repellidos.

Ha duas especies d'electricidade: por conductibilidade e por influencia.

Foi no ambar amarello que primeiramente se observou este phenomeno, e do seu nome grego *electron* proveiu a denominação de *electricidade*, que hoje se emprega indistinctamente para indicar a causa de um grande numero de

phenomenos, estes mesmos phenomenos, e ainda o ramo da physica que se occupa do seu estudo.

Os corpos n'estas circumstancias dizem-se *electrisados*, e o caracter que define esse novo estado é a attracção dos corpos leves. Os corpos não electrisados dizem-se no *estado neutro* ou *natural*.

410.—**Electroscopios.—Pendulo e agulha electrica.**—Denominam-se, em geral, *electroscopios* os instrumentos empregados para examinar se os corpos estão ou não electrisados. O mais simples é o *pendulo electrico* que consta de uma bola de sabugueiro suspensa por um fio de seda a uma haste de vidro.

A agulha electrica, formada de um arame de cobre terminado por duas pequenas espheras ôcas do mesmo metal, é tambem electroscopio simples e muito sensivel.

411.—**Corpos bons e maus conductores da electricidade.**—O phenomeno da electrisação pela fricção é geral e manifesta-se não só esfregando os corpos com a lã, mas com qualquer outra substancia; se alguns corpos, como os metaes, não apresentam o mesmo phenomeno, é porque a electricidade desenvolvida nos pontos friccionados espalha-se immediatamente por todo o corpo e perde-se na terra; com effeito ligando esses corpos a um cabo de vidro e pegando n'este, em quanto os esfregamos, o phenomeno manifesta-se em toda a sua plenitude.

D'aqui vem a distincção de substancias *boas conductoras* da electricidade, taes como os metaes, o carvão, a agua, etc., nas quaes a electricidade communicada a um ponto se espalha promptamente por toda a sua extensão; e substancias *más conductoras*, como o vidro, a resina, o enxofre, o ar secco, a seda, etc., nas quaes a electricidade não se espalha com facilidade.

412.—**Isoladores.**—Como a terra é composta de substancias conductoras da electricidade, acontece que os corpos conductores electrisados postos em contacto com ella per-

A lã se denomina-se reservatorio commum.

A resina é hygrometrica, e o vidro não

dem immediatamente a electricidade. Evita-se isto separando-os do solo por um corpo mau conductor, o qual por esse motivo recebe o nome de *isolador*.

Os isoladores mais geralmente empregados são o vidro, a seda e as resinas: para que o vidro isole melhor costuma-se cobrir com uma camada de resina. O ar secco tambem é isolador; não acontece o mesmo ao ar humido.

413.—**Duas especies de electricidade: positiva e negativa.**—Já dissemos que é geral o phenomeno da electrisação pela fricção; porém as differentes substancias electrisadas não apresentam phenomenos identicos.

Se aproximarmos da bola do pendulo electrico no estado neutro um cylindro de vidro friccionado com a lã, veremos que é attraida e logo repellida depois de tocar no vidro; porém se lhe apresentarmos a pequena distancia um pau de resina tambem friccionado com a lã, reconheceremos que a bola repellida pelo vidro é attraida pela resina.

As duas substancias—o vidro e a resina—exercem por tanto acções oppostas: d'ahi resultou a distincção de duas especies de electricidade, a *vitrea*, que se desenvolve no vidro, e a *resinosa* que se manifesta na resina; e, como acabamos de ver, estas electricidades attraem-se mutuamente, e repellem-se a si mesmas.

A especie de electricidade, que adquire um corpo friccionado com outro, não é sempre a mesma, e depende da natureza d'este ultimo; por isso aquellas denominações são inconvenientes. Assim, a lã fica com a electricidade resinosa quando fricciona o vidro e com a vitrea quando fricciona a resina.

Convencionou-se denominar *electricidade positiva* a que se desenvolve no vidro friccionado com a lã, e *electricidade negativa* a que se acha na resina tambem friccionada com a lã. Estas denominações não teem inconveniente, porque n'essas circumstancias aquellas substancias adquirem sempre a mesma especie de electricidade.

O que fica dito permitte-nos enunciar a lei seguinte: *os corpos carregados de electricidades do mesmo nome repellem-se, e os que estão carregados de electricidades contrarias attraem-se.*

414.—**Electricidade estatica e dynamica.**— Os phenomenos electricos, que vamos estudar, dependem do estado particular em que a electricidade se apresenta nos corpos: póde estar em repouso, accumulada na sua superficie, constituindo a *electricidade estatica;* ou póde apresentar-se em movimento atravessando a massa dos corpos em fórma de corrente, constituindo a *electricidade dynamica.* A 1.ª é produzida principalmente pelo attrito, a 2.ª pelas acções chimicas.

Trataremos em primeiro logar da producção e dos phenomenos da electricidade estatica, e depois do desenvolvimento, caracteres e propriedades da electricidade dynamica.

Antes de começar daremos uma breve noticia das *theorias electricas.*

415.—**Theorias electricas.**—Para explicar os phenomenos electricos teem-se apresentado diversas theorias, duas das quaes, a de Franklin e a de Symmer, tiveram aceitação durante muito tempo.

1.º—Na theoria de Franklin os phenomenos electricos são devidos a um fluido imponderavel, cujas moleculas se repellem mutuamente, sendo attraidas pela materia ponderavel, e perdendo a tendencia de mutua repulsão quando combinadas com ella. Todos os corpos conteem este fluido, porém a sua capacidade para elle varia: se um corpo encerra a quantidade de fluido que corresponde á sua capacidade não se produz o effeito electrico, e diz-se que o corpo se apresenta no estado natural; se esta quantidade varia, para mais ou para menos, perturba-se o equilibrio natural e manifestam-se os phenomenos electricos: o corpo diz-se electrisado positiva ou negativamente.

Um corpo póde pois electrisar-se pela addição ou pela

subtracção de fluido electrico, ou pelo fluido que tendo sido originariamente distribuido por egual em todo o corpo veiu por fim a accumular-se segundo uma certa direcção, de modo que em um ponto ha falta e em outro excesso. Os corpos electrisados positivamente teem tendencia para dar aos outros o excesso da electricidade: os que estão electrisados negativamente tendem a tirar-lh'a para supprirem a falta de fluido que n'elles é caracteristica.

N'esta theoria a fricção faz passar a electricidade de um dos corpos para o outro, de maneira que ambos ficam electrisados, um positiva e outro negativamente.

2.º—Symmer admittia a existencia de dois fluidos electricos, denominados hoje *fluido positivo* e *fluido negativo*, cada um dos quaes se repellia a si mesmo e attraía o outro: suppunha que esses fluidos existiam combinados em todos os corpos, constituindo um fluido neutro ou natural, susceptivel de ser decomposto por differentes acções, e apresentando então os phenomenos electricos.

3.º—**Theoria moderna.**—Durante muito tempo foi adoptada quasi exclusivamente a theoria dos dois fluidos, de Symmer; porém modernamente, tendo os factos provado a existencia de uma ligação intima entre a luz, o calor e a electricidade, e explicando-se perfeitamente os phenomenos da luz e do calor pelos movimentos de um *ether*, admitte-se que os phenomenos electricos são tambem manifestações do mesmo ether, o qual, sendo excessivamente elastico, exerce repulsão sobre si mesmo e só póde existir na materia dos corpos, attraido por ella, como deve ser attraido pela terra, não sendo por conseguinte imponderavel, como se suppõe geralmente. D'este modo tornou-se a admittir de preferencia a theoria de Franklin, convenientemente modificada: suppõe-se que os corpos no estado natural teem uma certa quantidade do ether, e que perdendo parte d'elle ou recebendo mais se electrisam negativa ou positivamente. Não ha duas especies de electricidade; ha só uma que se apresenta

em dois estados contrarios, em excesso ou em falta, os quaes podem por tanto ser denominados *electricidade positiva* e *electricidade negativa*.

Assim, em quanto que o ether pelo seu movimento produz calor e luz, pela sua accumulação nos corpos produz electricidade. Na *electricidade estatica* ha apenas condensação ou rarefação do ether; na *electricidade dynamica* ha, além d'isso, transporte do ether através dos mesmos corpos.

Esta theoria está na infancia. Ainda não foi possivel explicar bem por ella os movimentos de attracção e repulsão, e outros phenomenos; por isso continuaremos a empregar a theoria de Symmer, como se faz nos *cursos*, por se prestar muito bem á explicação de todos os phenomenos.

416.—Origens da electricidade estatica.—As origens da electricidade estatica são *mechanicas*, *physicas* e *chimicas*.

1.º—Origens mechanicas.—O *attrito* é a origem principal da electricidade estatica. Sempre que se esfregam dois corpos um contra o outro, um adquire a electricidade positiva e o outro a negativa, em quantidades equivalentes. É um facto geral, que se póde demonstrar com dois discos de egual superficie, um de vidro e outro de metal revestido de lã ou de qualquer outra substancia, ligados ambos a cabos isoladores. Esfregando os discos um contra o outro e aproximando-os de um pendulo electrico, em quanto estão em contacto o pendulo não denuncia electricidade; porém aproximando-os separadamente de um pendulo carregado de electricidade conhecida, um attrae-o e o outro repelle-o.

A especie de electricidade que um corpo adquire pela fricção depende d'aquelle com que se fricciona, bem como da temperatura e do estado da superficie. O calor dá aos corpos a tendencia para adquirirem o fluido negativo. Para reconhecer a influencia da superficie basta notar que o vidro polido friccionado com a lã é positivo, e que o vidro despolido é negativo.

O calor tende a fazer perder a electricidade dos corpos.

Tambem são origens mechanicas da electricidade estatica a *pressão*, e o *lascado*, isto é, a divisão natural das substancias mineraes crystallisadas.

2.º—**Origens physicas.**—A origem physica mais apreciavel da electricidade é o *calor*. Desenvolve-se a electricidade estatica pelo calor em alguns crystaes e notavelmente na tormalina e no topasio. Um crystal aquecido egualmente em todo o comprimento adquire a electricidade *polar*, isto é, uma das suas extremidades torna-se positiva e a outra negativa.

3.º—**Origens chimicas.**—Póde-se dizer, em geral, que não ha phenomeno chimico, combinação ou decomposição, sem que se produza electricidade estatica: porém as acções chimicas são a principal origem da electricidade dynamica.

417.—Leis das attracções e das repulsões electricas.—As attracções e as repulsões electricas estão submettidas ás duas leis seguintes, analogas ás leis da attracção universal (84).

1.º *As attracções e as repulsões electricas variam na razão inversa do quadrado das distancias;*

$d = \frac{mm'}{r^2}$

2.º *São proporcionaes ao producto das quantidades de electricidade contidas nos corpos.*

Estas leis foram demonstradas experimentalmente por Coulomb, com um instrumento conhecido pela denominação de *balança electrica* ou *balança de Coulomb*.

Este instrumento, tambem conhecido pela denominação de *balança de torsão*, consta de uma caixa cylindrica ou cubica de vidro, fig. 193, tendo para a parte superior e ligado á parte média da tampa um tubo de vidro, movel em torno do seu eixo: este tubo termina por uma virola metallica *E F* com um nonio, sobre a qual se move um disco graduado: a este disco está fixo um fio de prata que desce pelo tubo até ao centro da caixa, e suspende uma agulha de gomma laca *B* terminada por uma esphera metallica *G* ou por um disco de ouropel. A tampa da caixa tem um orificio pelo qual se introduz uma esphera metallica *C* ligada a uma haste isoladora

Demonstra-se a 1.ª lei, quanto ás attracções, começando por desviar a agulha sem torcer o fio, e carregando as duas espheras de electricida-

A força de torsão do fio é proporcional ao angulo da agulha.

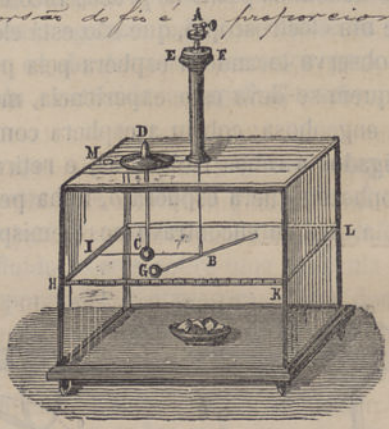


Fig. 193

des contrarias; quanto ás repulsões, levando as espheras ao contacto e electrisando-as depois com o mesmo fluido: variando em um ou outro caso a distancia das espheras, e medindo os angulos de torsão do fio, correspondentes ao equilibrio da esphera movel, nas differentes posições, conclue-se a lei. Demonstra-se a 2.ª roubando, pelo contacto com uma esphera no estado neutro, metade da electricidade de uma das espheras, e conservando estas ultimas á mesma distancia: repetindo a operação reconhece-se a mencionada lei.

II — Distribuição da electricidade

418.— Distribuição da electricidade nos corpos conductores.— A electricidade communicada a um corpo conductor accumula-se toda na sua superficie; é um facto que se demonstra com differentes experiencias. Electrisa-se a esphera ôca de latão *o*, fig. 194, isolada sobre uma columna de vidro, e furada na parte superior; toca-se interiormente com um pe-

queno disco de ouropel *b* ligado a uma haste de gomma laca, e que se denomina *plano de prova;* reconhece-se aproximando-o de um electroscopio, que não está electrisado, e o contrario se observa tocando a esphera pela parte externa. Coulomb, a quem se deve esta experiencia, modificou-a de uma maneira engenhosa: cobriu a esphera com dois hemispherios *m*, ligados a cabos isoladores, e retirando-os rapidamente reconheceu que a esphera *o*, tinha perdido toda a electricidade, a qual se encontrava nos hemispherios.

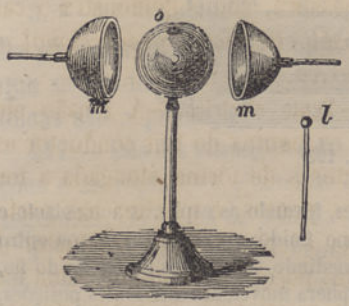


Fig. 194

Fig. 195

Com um sacco de cassa em fórma de cone, fig. 195, a cujo vertice está preso o fio de seda *cc'*, mostrou Faraday o mesmo phenomeno de uma maneira interessante: electrisando o sacco reconhece-se, com o plano de prova, que a electricidade está só na face externa; puxando pelo fio *cc'*, isto é, voltando o sacco, nota-se que a electricidade se transportou de uma para a outra face, a fim de occupar sempre a exterior.

419.—**Espessura ou densidade electrica.—Tensão.**—As experiencias do num. antecedente teem levado a admittir que o fluido electrico livre é accumulado na superficie dos corpos conductores, formando uma camada mais ou menos espessa: podemos dizer, por tanto, que quando augmenta ou diminue a carga electrica augmenta ou diminue a espessura

d'essa camada, ou, conservando-se constante a espessura, augmenta ou diminue a densidade do fluido: é por esse motivo que empregamos indistinctamente as denominações de *espessura* ou de *densidade electrica* para representar a quantidade de electricidade espalhada sobre a unidade de superficie.

O esforço que o fluido faz para se escapar constitue a *tensão electrica:* este esforço é proporcional ao numero de moleculas, isto é, á espessura electrica, e á força repulsiva que todo o fluido exerce sobre uma molecula isolada, força tambem proporcional á espessura, como demonstra o calculo; por conseguinte, *a tensão electrica é proporcional ao quadrado da espessura electrica.*

420.—**Poder das pontas.—Vento electrico.**—A tensão electrica é a mesma em todos os pontos de um conductor espherico; porém nos conductores de fórma alongada a tensão é diversa nos differentes pontos, e maxima nas partes aguçadas. Assim, uma ponta adaptada a um conductor dá rapido esgoto á electricidade; porque esta adquire uma tensão sufficiente para vencer a resistencia do ar: n'isto consiste o *poder das pontas*, descoberto por Franklin.

Aproximando a mão de uma ponta, que dá esgoto á electricidade, sente-se uma especie de sopro ligeiro capaz de inclinar a chamma de uma vela e até de a apagar; ha por tanto conjunctamente com o transporte de electricidade uma agitação do ar, que se denomina—*vento electrico.*

O vento electrico é o resultado da repulsão que o fluido exerce sobre as moleculas d'ar em contacto com a ponta e carregadas do mesmo fluido.

Na obcuridade vê-se uma luz fraca, que não tem o mesmo aspecto com o fluido positivo e o negativo; a fig. 196, representa o *penacho luminoso* n'estes dois casos; no primeiro é formado por um feixe divergente, no segundo por uma pequena estrella.

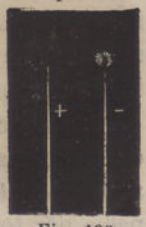


Fig. 196

Poder das pontas é a propriedade que têm os conductores terminados em ponta, de deixarem escapar a electricidade.

III — Influencia electrica

421.—Influencia electrica.—Dá-se o nome de *influencia electrica* ou de *inducção* á acção exercida a distancia pelos corpos electrisados sobre outros corpos: estes dizem-se *induzidos*, e aquelles *inductores*.

Costuma-se demonstrar esta acção aproximando de um corpo electrisado um cylindro metallico munido de varios pendulos electricos, distribuidos pelo seu comprimento. Reconhece-se assim, pela repulsão dos pendulos, a existencia da electricidade no cylindro, porém mui desegualmente distribuida em toda a sua extensão: é maxima a quantidade do fluido nos extremos, e nulla na parte média, um pouco mais para o lado do corpo inductor. Com um corpo carregado de electricidade conhecida, verifica-se que o fluido da extremidade mais proxima do corpo inductor é o do nome contrario ao d'este corpo, e é do mesmo nome o da extremidade opposta.

A repulsão dos pendulos augmenta até um certo limite, que não póde exceder-se: este limite dá-se quando a acção attractiva dos fluidos separados, vence a acção que determina a sua separação.

O estado electrico do cylindro cessa logo que termina a influencia do corpo electrisado: em quanto dura esta persiste aquelle estado, e o cylindro póde por sua vez exercer influencia sobre outro corpo.

Fazendo communicar o corpo induzido com o solo, por qualquer dos seus pontos, perde-se o fluido de nome egual ao do inductor e fica só o de nome contrario, o qual se espalha por todo o corpo induzido, logo que cessa a influen-

cia: é só assim que se póde recolher a electricidade por influencia, a qual, como se vê, é sempre de nome contrario á do corpo inductor.

422.—**Theoria da influencia electrica.**—Explicam-se geralmente os phenomenos da influencia electrica, admittindo que o fluido do corpo inductor actua a distancia sobre o fluido neutro do corpo induzido, o qual decompõe, attraindo o fluido do nome contrario e repellindo o do mesmo nome: n'esta theoria o ar, ou qualquer outro corpo isolador collocado entre os primeiros, fica inerte e apenas se oppõe á combinação das electricidades contrarias. Faraday, tendo reconhecido a influencia do meio isolador, admittiu que era por intermedio d'esse meio que se operava o phenomeno, polarisando-se as suas moleculas; esta idéa merece bastante consideração, porque tende a provar que as acções electricas não se manifestam sem a intervenção das particulas materiaes, estabelecendo-se assim analogia entre a electricidade e as outras forças da natureza.

423.—**Faisca electrica.—Ovo electrico.**—No caso da influencia electrica, quando as electricidades contrarias se teem accumulado nos pontos proximos dos dois corpos—inductor e induzido—e podem vencer a distancia que as separa, reunem-se produzindo uma explosão e uma luz, que denominamos *faisca electrica*. Todas as circumstancias que concorrem para que seja grande a quantidade dos fluidos separados pela influencia augmentam a faisca: é por isso que esta é muito maior sobre os bons conductores do que sobre os maus, e ainda maior se o bom conductor não está isolado, e se são grandes as superficies oppostas pelas quaes se faz a influencia.

A faisca é rectilinea quando tem pequena extensão; sinuosa e irregular, apresentando ás vezes pequenas ramificações, quando tem que vencer grandes distancias: sendo as cargas muito intensas apresenta a fórma de zig-zag de angulos agudos, e assemelha-se completamente ao raio.

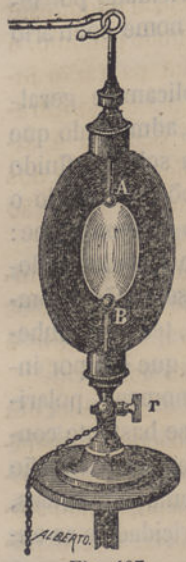


Fig. 197

O brilho da luz é tanto mais intenso quanto melhores conductores são os corpos entre os quaes se produz; e a sua côr varia não só com a natureza d'esses corpos, mas com a atmosphera ambiente e a pressão. Estudam-se os effeitos da pressão sobre o brilho da luz com o *ovo electrico*, fig. 197: é um globo de vidro apoiado sobre um pé de latão e disposto de modo que se póde separar d'elle e aparafusar-se na machina pneumatica, a fim de se lhe fazer o vacuo. O globo é atravessado em baixo e em cima por duas hastes de latão *A* e *B* terminadas em botão; a haste inferior *B* é fixa, e a superior *A* póde escorregar com fricção n'uma caixa de coiro, a fim de se aproximar ou afastar da primeira. Fazendo o vacuo no balão, pondo a haste *B* em communicação com o solo, e a haste *A* com uma forte machina electrica em actividade, observa-se entre os dois botões uma luz violacea fraca e continua. Deixando entrar o ar pouco a pouco, pelo movimento dado á torneira *r*, a tensão dos fluidos augmenta com a resistencia do meio, e a luz só apparece sob a fórma da faisca ordinaria.

Introduzindo no ovo electrico differentes gazes nota-se a influencia do meio sobre a côr da faisca.

Nos *tubos*, *globos* e *quadros scintillantes* mostram-se bonitos effeitos luminosos, todos resultantes das faiscas electricas, que saltam entre os vertices de pequenos losangos de estanho distribuidos por differentes fórmas sobre o vidro.

424.—Movimento dos corpos leves pela influencia electrica.— O movimento dos corpos leves, o primeiro phenomeno electrico observado, explica-se pela electrisação por influencia, que o precede. Assim, quando aproximamos do pen-

dulo electrico, no estado neutro, um corpo electrisado, este decompõe por influencia o fluido neutro d'aquelle pendulo, e como as acções attractiva e repulsiva variam na razão inversa do quadrado das distancias, predomina a acção attractiva sobre o fluido do nome contrario e o pendulo é attraido. Se elle está electrisado, a acção simples e mutua dos fluidos em presença é bastante para determinar a attracção ou a repulsão.

Depois do pendulo ser attraido e de tocar o corpo inductor é repellido, porque o mesmo fluido se espalha pelos dois corpos; mas isto leva algum tempo se o corpo leve é mau conductor, e faz-se rapidamente no caso contrario.

Aproximando de um pendulo conductor electrisado um corpo carregado da mesma especie de electricidade, manifesta-se logo a repulsão; porém diminuindo a distancia vemos que o pendulo se precipita sobre o corpo, sendo depois novamente repellido e com maior energia. Isto explica-se ainda pela decomposição por influencia do fluido neutro do pendulo, e pela accumulação do fluido contrario nos pontos mais proximos do inductor.

Costumam-se fazer algumas experiencias que tornam bem evidentes estes movimentos dos corpos leves.

O *carrilhão electrico*, fig. 198, consta de tres campainhas *A*, *B* e *C* suspensas a um travessão metallico em contacto com a machina electrica: duas das campainhas *A* e *B* communicam com a machina, porque estão suspensas por fios metallicos, a terceira *C*, suspensa por um fio de seda, está isolada da machina, mas communica com o solo por uma cadeia metallica: entre as campainhas estão dois pendulos metallicos tambem suspensos por fios de seda. Carregando a machina de electricidade, os pendulos são attraidos para as campainhas extremas, recebem pelo contacto a electricidade, são immediatamente repellidos, tocam a cam-

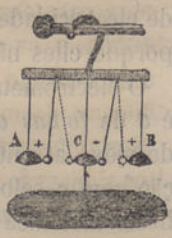


Fig. 198

painha média, e perdem a electricidade para o solo, ficando, por conseguinte, em circumstancias de recomeçar o mesmo phenomeno.

A fig. 199, representa um apparelho imaginado por Volta para explicar o engrossamento dos grãos da saraiva, que elle suppunha serem attraidos e repellidos entre duas nuvens. Consta de uma campanula de vidro assente sobre um fundo metallico com balas de sabugueiro, e atravessada na parte superior por uma haste metallica, terminada por um disco tambem metallico.


Fig. 199

O disco em communicação com a machina representa a nuvem superior; attrae as balas de sabugueiro, imagem dos grãos de saraiva, electrisando-as pelo contacto, e repelle-as depois contra o fundo do vaso. Este fundo, em contacto com o solo, representa a outra nuvem; dá esgoto á electricidade das balas, pondo-as em circumstancias de ser novamente attraidas, etc.

425.—**Electrometro de folhas de oiro.**—Dá-se impropriamente o nome de *electrometros* a certos electroscopios (410) aperfeiçoados, com os quaes se póde reconhecer a especie de electricidade que tem um corpo: dizemos impropriamente porque elles não medem a tensão electrica.

O electrometro mais geralmente empregado para este fim é o de *folhas de oiro*, fig. 200: consta de uma campanula de vidro assente sobre um fundo metallico em communicação com o solo, e atravessada na parte superior por uma haste metallica terminada em cima por um botão e que suspende em baixo duas folhas de oiro *B*, *C*. Para evitar que a humidade se deposite sobre o vidro envernisa-se com gomma laca a parte superior da campanula, e para que no interior o ar esteja bem secco introduzem-se-lhe pedaços de cal viva.

Fig. 200

Reconhece-se a especie de electricidade de um corpo aproximando-o do botão do electrometro, e tocando este com o dedo: d'essa fórma, em virtude da influencia, é attraido para o botão o fluido de nome contrario ao do corpo, e é repellido para o solo o do mesmo nome: afastando o dedo e depois o corpo electrisado, o primeiro fluido espalha-se nas folhas, as quaes, estando carregadas com a mesma electricidade, repellem-se tanto mais quanto maior é a quantidade de fluido que teem. Para determinar a natureza d'este fluido, basta aproximar do botão um corpo carregado de electricidade conhecida, positiva, por ex.; se o desvio augmenta ou diminue, o fluido é positivo ou negativo, e o do corpo é o contrario.

Para augmentar o desvio das folhas, e para as descarregar para o solo quando se desviam tanto que chegam a tocar a campanula, empregam-se duas columnas metallicas, ou duas laminas, collocadas em frente das folhas e em communicação com o solo.

426.—**Electrophoro.**—Denominam-se *machinas electricas* os apparelhos dispostos de modo que permittem recolher a electricidade desenvolvida pelo attrito. A mais simples é o

electrophoro, fig. 201, que consta de um bolo de resina *B* mettido n'um estojo de madeira ou de metal, e um disco *A* de de madeira coberto com uma folha de estanho, e munido de um cabo isolador de vidro *C*. Para obter electricidade com este apparelho começa-se por aquecer ligeiramente o bolo de resina para o seccar, e depois bate-se fortemente com uma pelle de gato, que lhe communica a electricidade negativa. Feito isto assenta-se-lhe em cima o disco conductor, o qual se electrisa por influencia, e conserva a electricidade positiva, tocando-lhe com a mão para fazer perder no solo a negativa: levantando o disco pelo cabo de vidro temos uma certa porção de electricidade positiva, que póde ser utilisada em varias circumstancias, e que produz uma faisca quando aproximamos do disco um dos dedos.

Fig. 201

Collocando novamente o disco sobre o bolo de resina, tocando-lhe com a mão e levantando-o depois, obtem-se nova quantidade de electricidade, e isto póde fazer-se durante mezes sem bater o bolo, porque a resina conserva por muito tempo a electricidade que adquiriu. Este facto ainda inexplicado deu o nome ao apparelho.

427.—**Machina electrica ordinaria, ou de Ramsden.**—As machinas electricas constam em geral, de tres partes: a *friccionadora*, a *friccionada* e a *collectora*.

Nas machinas electricas ordinarias, fig. 202, a parte *friccionadora* está entre duas reguas de madeira *P, P*, fixas verticalmente sobre uma banca *B*, que sustenta a machina: consta de dois pares de almofadas de crina *a, a* forradas de coiro. A parte *friccionada*, situada entre as almofadas, é um disco de vidro *D*, atravessado no centro por um eixo horisontal munido de manivella *M* para lhe dar movimento de

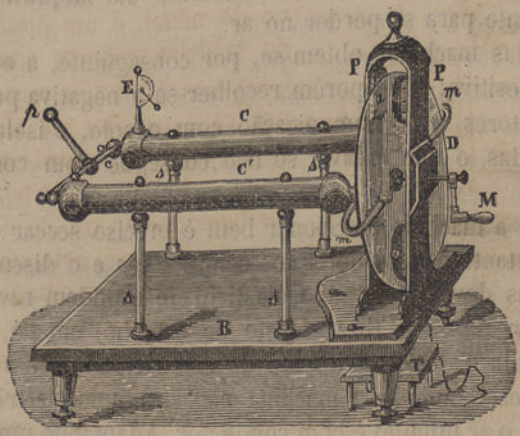


Fig. 202

rotação, obrigando-o a esfregar-se nas almofadas. A parte *collectora*, tambem denominada *conductora*, consta de um ou dois cylindros ôcos de latão *C,C'* isolados sobre columnas de vidro *s,s*: quando são dois estão ligados por uma haste horisontal *c* tambem de latão. Das extremidades dos cylindros proximas do disco destacam-se arcos metallicos *m,m* que o abraçam dos dois lados, sem lhe tocar, armados de pequenas pontas dirigidas perpendicularmente ás faces do disco.

A theoria d'esta machina é muito simples; funda-se na electrisação pelo attrito e pela influencia. O vidro electrisa-se positivamente pela fricção das almofadas, e estas recebem a electricidade negativa, que se esgota constantemente para o solo por intermedio das reguas de madeira, guarnecidas de folhas de estanho, pela banca da machina e por cadeias metallicas. O fluido positivo do disco decompõe por influencia o fluido neutro dos conductores, attrae o negativo que se esgota pelas pontas, sendo neutralisado promptamente o disco e posto em circumstancias de receber mais

electricidade, visto que continua a ser esfregado; o fluido positivo accumula-se nos conductores até adquirir tensão sufficiente para se perder no ar.

N'estas machinas obtem-se, por conseguinte, a electricidade positiva; póde porém recolher-se a negativa pondo os conductores em communicação com o solo, e isolando as almofadas, o que todavia se não consegue com commodidade.

Para a machina funccionar bem é preciso seccar e aquecer bastante os isoladores, os conductores e o disco: as almofadas devem ter muita elasticidade e podem revestir-se com *oiro mussivo* (bi-sulfureto de estanho) em pó, o qual augmenta o desenvolvimento de electricidade. Se a atmosphera está humida, a machina não accumula electricidade, porque o ar humido é bom conductor. Adaptando uma ponta ao conductor da machina, tambem esta não se carrega, porque a ponta esgota toda a electricidade. Obtem-se o mesmo resultado aproximando da machina uma ponta metallica em communicação com o solo, porque ella é influenciada pelo fluido da machina e dá prompta saída ao fluido contrario.

428.—Temos mencionado já bastantes experiencias que se effectuam com a machina electrica: n'este logar indicaremos apenas a experiencia do *banho electrico*, que se faz isolando um individuo sobre o tamborete de pés de vidro *T*, e pondo-o em communicação com a machina: esse individuo constitue assim o prolongamento da parte conductora do apparelho, e não sente coisa alguma, não obstante estar fortemente electrisado; tão sómente os cabellos, estando seccos, se levantam um pouco. Se outro individuo aproxima a mão, de qualquer parte do corpo da pessoa electrisada, tira-lhe uma faisca, e ambos soffrem uma pequena commoção, perfeitamente identica á que se sente aproximando a mão da machina em actividade.

429.—**Electrometro de Henley.**—Aprecia-se a tensão da ma-

china com um *electrometro de mostrador E*, fig. 202, que se põe em contacto com os conductores: consta de uma haste metallica ou de madeira, á qual está ligado um semi-circulo de marfim graduado; do centro d'este semi-circulo pende um fio de barba de baleia terminado por uma bola de sabugueiro, e está ligado de modo que póde mover-se em torno da extremidade superior. O fluido da machina espalha-se na haste do electrometro, com a qual está em contacto a bola de sabugueiro; electrisa esta e repelle-a, tanto mais quanto maior é a tensão. O angulo que o pendulo faz com a vertical dá uma idéa aproximada da carga da machina.

430.—**Machina de Van-Marum.**—A machina de Van-Marum está disposta de modo que permitte, á vontade, recolher a electricidade positiva, ou a negativa. Consta, fig. 203, de um disco de vidro *P*, cujo eixo

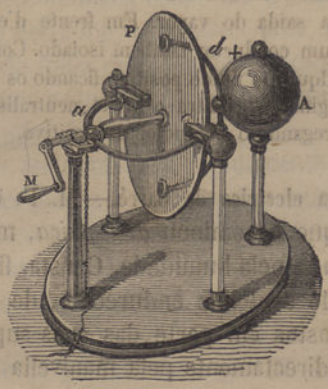


Fig. 203

é sustentado por uma columna de madeira, operando-se a fricção entre o mesmo disco e dois pares de almofadas, dispostas horisontalmente e isoladas sobre columnas de vidro. Um conductor principal fixo *A*, e dois conductores moveis *a* e *d*, um dos quaes tem a posição vertical quando o outro está horisontal, fazem parte do apparelho: estes ultimos em fórma de arco terminam por pequenos cylindros parallelos ao disco

e armados de pontas *c*, communicando o primeiro com o solo por meio de uma cadeia metallica. Dando ao arco *d* a posição vertical, e ao outro a horisontal, como a figura representa, o conductor *A* carrega-se de fluido positivo. Invertendo a posição dos conductores moveis, a esphera *A* recebe a electricidade das almofadas, que é a negativa, e o fluido positivo é subtraido pelo arco *a*, e derramado no solo.

431.—**Machina de Nairne.**—A machina de Nairne dá ao mesmo tempo as duas electricidades. O disco é substituido por um cylindro de vidro, movel entre dois conductores parallelos, isolados sobre columnas de vidro; um d'elles é armado de pontas metallicas, o outro tem a almofada destinada a friccionar o vidro: das extremidades d'estes conductores partem arcos metallicos, cujos extremos se podem aproximar tanto quanto se queira; um d'elles toma o fluido positivo pela influencia do vidro electrisado, o outro o fluido negativo das almofadas. Se quizermos um só d'estes fluidos basta pôr em communicação com o solo o conductor onde se accumula o outro.

432.—**Machina hydro-electrica de Armstrong.**—Esta machina funda-se no desenvolvimento da electricidade pelo attrito do vapor d'agua contra os orificios por onde se lhe dá esgoto. Consta essencialmente de uma caldeira assente sobre columnas de vidro, tendo muitas tubuladuras para a saída do vapor. Em frente d'estas ha um pente metallico ligado a um conductor tambem isolado. Com a agua distillada o jacto de vapor adquire o fluido positivo ficando os bicos com o negativo: o vapor dirigindo-se contra o pente neutralisa-se com o fluido negativo d'elle carregando o conductor do positivo.

433.—**Machina electrica de Carré.**—M. F. Carré imaginou uma machina, que denominou *dielectrica*, muito energica e pouco influenciada pela humidade. Consta, fig. 204, de dois discos *d* e *D* de cautchuc endurecido, de diametros deseguaes, sobrepostos em parte das suas superficies; o primeiro é movel directamente pela manivella *R*, e o segundo por uma corda sem fim que passa nas duas roldanas *R* e *r* muito deseguaes. O disco menor, que é o menos veloz, fricciona-se em duas almofadas *F* adquirindo o fluido positivo: actua por influencia através do disco *D* sobre o pente *p*, repelle o fluido positivo para a haste *h* e attrae o negativo, que as pontas esgotam; parte d'este fluido neutralisa o disco *d* e outra parte electrisa o disco *D*. Este disco, as-

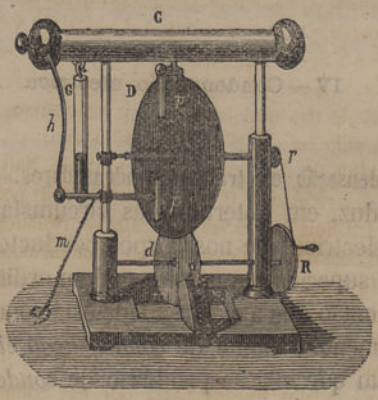


Fig. 204

sim electrisado negativamente, passando em frente de um segundo pente *p'* ligado ao cylindro *C* completamente isolado sobre duas columnas, rouba-lhe o fluido positivo para se neutralisar e deixa-lhe o negativo. Esta acção é auxiliada por um pente de folha de estanho collocado sobre uma lamina de cautchuc, a qual communica com o pente *p'*: é entre ambos que gira o disco *D*.

D'este modo accumulam-se rapidamente grandes quantidades de electricidades contrarias nas armaduras *C* e *h*, e produzem-se faiscas extensas graduando a distancia entre aquellas armaduras. Augmentam-se muito as faiscas pondo a haste *h* em communicação com o solo por meio da cadeia *m*, e os dois conductores *C* e *h* em contacto com as armaduras de uma garrafa de Leyde *G* (437), que se suspende n'um annel do cylindro *C*.

IV — Condensação electrica

434.—Condensação electrica.—Condensadores.—A influencia electrica produz, em determinadas circumstancias, a accumulação da electricidade nos corpos conductores em quantidade muito superior á que elles podem ordinariamente receber; diz-se então que a electricidade está condensada; dá-se a este phenomeno o nome de *condensação electrica*, e aos apparelhos em que ella se produz o de *condensadores*.

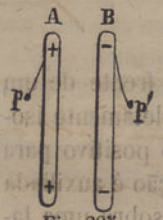


Fig. 205

435.—Theoria da condensação electrica.—Imaginemos dois discos metallicos, *A* e *B*, fig. 205, bastante proximos, separados por uma lamina de substancia isoladora, que póde ser o ar, e munidos de pendulos *p*, *p'*; esteja um d'elles *A* em communicação com a machina electrica e o outro *B* isolado. A electricidade positiva, que é a da origem, espalhar-se-ha no primeiro, como se reconhece pelo desvio do pendulo *p* e influindo sobre o segundo decomporá o seu fluido neutro, attrairá e será attraida pelo fluido negativo, deixando livre o positivo, que desvia o pendulo *p'*: as duas electricidades contrarias estarão como que dissimuladas sobre as faces dos discos voltadas uma para a outra, e a influencia cessará apenas quando a acção do fluido positivo livre do disco *B* neutralisar a acção do fluido existente no disco *A*. N'isto se resume o phenomeno simples da influencia electrica; estabelecendo porém a communicação do disco *B* com o solo, perde-se o seu fluido livre e fica só o dissimulado, por isso cae o pendulo *p'*, em quanto que no disco *A* fica o fluido dissimulado e uma porção de fluido livre; este ultimo actua de novo sobre o restante fluido neutro do disco *B*, decompõe

porque não exercem acção nenhuma exterior.

— Condições para que haja um condensador. É preciso que haja:

— 1º — dois discos metallicos;

— 2º — que um d'elles esteja em communicação com uma fonte constante d'electricidade e o outro em communicação com o solo.

---

nova porção, e assim vae augmentando a carga electrica dissimulada. Esta só tem limite quando o fluido livre do disco *A* adquire a tensão maxima, que um conductor independente póde receber.

436.—**Condensador de lamina de vidro.**—O conjuncto dos dois discos metallicos, denominados *armaduras*, e da lamina isoladora constitue um *condensador*. O condensador de lamina d'ar a que nos temos referido, serve só para estabelecer a theoria da condensação; não convém para as experiencias, porque exige grande aproximação dos discos, com risco de recomposição, quando as cargas attingem um certo limite. Emprega-se geralmente, em logar da lamina de ar, uma lamina de vidro, e então não ha aquelle risco, mas o effeito é mais complexo.

A fig. 206 representa um condensador simples de lamina de vidro. Os dois discos metallicos *AA'* e *BB'*, ambos ligados a cabos isoladores, estão separados por uma lamina de vidro; o inferior *BB'* communica com o solo, e o superior com o conductor da machina electrica, e assim se carrega. Se interceptarmos as duas communicações e deslocarmos a lamina de vidro pegando-lhe pelos bordos, reconheceremos que os discos metallicos não estão electrisados: se deixarmos os bordos do vidro, e pozermos uma das mãos sobre uma das faces e a outra na face opposta receberemos uma forte commoção. Isto mostra que os dois fluidos deixaram os conductores e estão condensados sobre as faces do isolador.

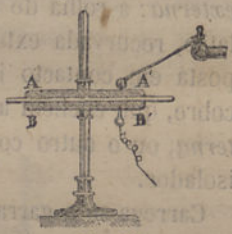


Fig. 206

Não só os dois fluidos se dirigem para as faces do isolador, mas penetram n'elle até uma certa profundidade; como se tem demonstrado por experiencia.

437.—**Garrafa de Leyde.**—A *garrafa de Leyde*, descoberta por acaso em 1746, é o condensador mais simples e mais

vulgar. É uma garrafa de vidro de paredes delgadas, fig. 207, coberta exteriormente até certa altura com uma folha

Fig. 207

de estanho *B*, que é o conductor, denominado *armadura externa:* a rolha do frasco é atravessada por uma haste de latão, recurvada exteriormente, terminada em botão *A*, e posta em contacto inferiormente com folhas delgadas de cobre, que enchem a garrafa e constituem a *armadura interna*, ou o outro conductor. O vidro da garrafa é o corpo isolador.

Carrega-se a garrafa pegando-lhe pela armadura externa e aproximando a interna do collector da machina em actividade, como indica a figura. D'este modo a electricidade positiva da machina espalha-se na armadura interna, actua por influencia através do vidro sobre a externa, attrae a electricidade negativa e repelle a positiva, que se perde no solo.

Fig. 208

Mostra-se que a electricidade se accumula sobre o vidro, dispondo a garrafa de modo que se possa desmontar, como se vê na fig. 208. Consta o apparelho de um vaso de metal *b* de fórma conica dentro do qual se ajusta o copo de vidro *v*, onde se introduz o segundo vaso metallico *a* terminado por um gancho. Carregando esta garrafa pela maneira ordinaria, assentando-a sobre

uma banca isolada, levantando com um cylindro de vidro o vaso *a* e com os dedos o copo *v*, reconhece-se que as armaduras não teem electricidade, em quanto que tocando com as mãos as duas faces de vidro recebem-se commoções e veem-se faiscas.

438.—**Jarras e baterias electricas.**—Dá-se o nome de *jarra* a uma grande garrafa de Leyde de gargalo mui largo, para que se possa collar interiormente um folha de estanho, que constitue a armadura interna. A haste que atravessa a rolha é recta, e termina na parte inferior por uma cadeia metallica em communicação com aquella armadura.

Dá-se o nome de *bateria electrica* á reunião de muitas jarras, geralmente 4, 6 ou 9, collocadas n'uma caixa de madeira forrada interiormente por uma folha de estanho, a qual põe em communicação todas as armaduras externas das jarras: as armaduras internas communicam por hastes metallicas, como se vê na fig. 209.

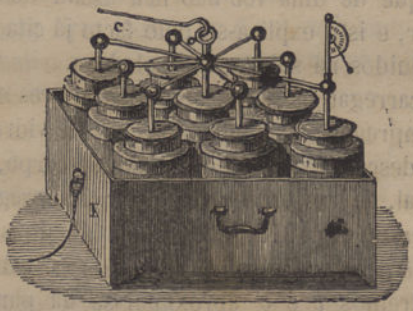


Fig. 209

Carrega-se a bateria communicando as armaduras internas com a machina por meio de uma haste metallica *c*, e as externas com o solo, por intermedio da caixa e de cadeias metallicas *K* presas ás argolas que estão em contacto com a folha de estanho.

439.—Descarga instantanea dos condensadores.—Excitadores.— A descarga instantanea de um condensador faz-se pondo em communicação as duas armaduras; para isso emprega-se geralmente um arco metallico formado de duas partes articuladas, denominado *excitador*, que se põe em contacto com a armadura externa, e se aproxima pela outra extremidade da armadura interna, fig. 210.

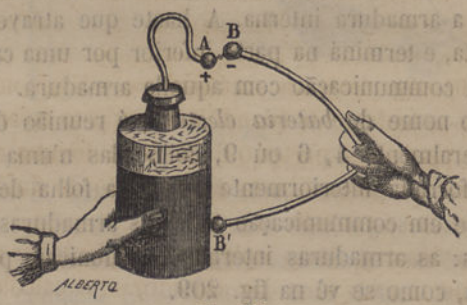


Fig. 210

Note-se que de uma vez não fica assim descarregado o condensador, e isto explica-se pelo facto já citado de penetrarem os fluidos na substancia isoladora.

Para descarregar os grandes condensadores e as baterias é preciso empregar o excitador de cabos de vidro. Querendo produzir a descarga através de qualquer corpo, de um pequeno animal, de um fio metallico, etc., emprega-se o *excitador universal*, fig. 211, que consta de duas hastes metallicas ac, $a'c'$, isoladas sobre columnas de vidro, podendo os seus extremos c e c' aproximar-se na parte superior de uma lamina t, destinada a receber os objectos através dos quaes se ha de fazer a descarga. Obtem-se esta pondo uma das hastes, ac por exemplo, em communicação com a armadura externa do condensador, por meio de uma cadeia que a figura representa, e aproximando a armadura interna da haste $a'c'$, ou communicando esta haste com aquella armadura por intermedio de um excitador ordinario.

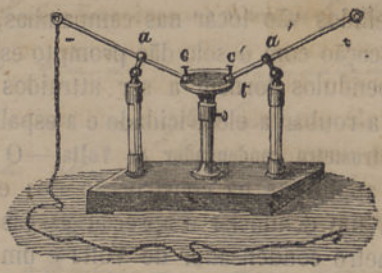


Fig. 211

440.—**Descarga lenta dos condensadores.**—Um condensador descarrega-se lentamente quando está exposto ao ar humido, porque se perde por partes o fluido livre de uma armadura e ao mesmo tempo se liberta uma porção do fluido da outra, esgotando-se no solo.

Faz-se a descarga lenta isolando o condensador e tocando alternadamente cada uma das armaduras: o calculo demonstra que para descarregar por este meio um condensador seria preciso um numero infinito de contactos, do mesmo modo que, para tirar todo o ar d'um recipiente com a machina pneumatica, seria preciso um numero infinito de excursões do embolo.

Torna-se apparente a descarga lenta de um condensador com uma garrafa cuja armadura interna termina em uma campainha, collocando-a no apparelho representado na fig. 212, que é uma especie de carrilhão electrico. Os dois pendulos são attraidos pelo fluido livre da armadura interna, roubam-lhe pelo contacto uma porção, e como são immedia-

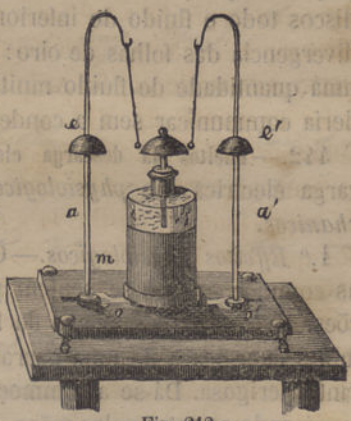


Fig. 212

tamente repellidos vão tocar nas campainhas, que estando em communicação com o solo dão prompto esgoto á electricidade: os pendulos tornam a ser attraidos e continuam d'este modo a roubar a electricidade e a espalhal-a no solo.

441.—Electrometro condensador de Volta.—O principio da condensação applica-se na construcção dos electrometros, que teem por fim denunciar e apreciar cargas fracas.

O electrometro condensador de Volta é um electrometro ordinario de folhas de oiro *f* com um condensador *PP'* na parte superior, fig. 213, formado de dois discos metallicos envernisados: as duas camadas de verniz constituem a lamina isoladora.

Fig. 213

Põe-se o corpo electrisado em contacto com o disco inferior por intermedio da haste *t*, e toca-se com a mão o superior, para estabelecer a communicação com o solo: as folhas divergem pouco e até ás vezes não divergem, porque é pequena a porção de fluido livre; porém separando os dois discos todo o fluido do inferior se torna livre e augmenta a divergencia das folhas de oiro: por esse meio recebem estas uma quantidade de fluido muito superior á que se lhes poderia communicar sem a condensação electrica.

442.—Effeitos da descarga electrica.—Os effeitos da descarga electrica são *physiologicos*, luminosos, *physicos*, *chimicos* e *mechanicos*.

1.º *Effeitos physiologicos.*—Os effeitos physiologicos são as commoções que se sentem principalmente nas articulações. É fraca a commoção da faisca da machina; porém é muito energica a de uma garrafa, e a de uma bateria é bastante perigosa. Dá-se a commoção a muitos individuos communicando-se estes pelas mãos, segurando o primeiro na ar-

— Effeitos luminosos — Arco electrico —

— Já vimos que a recomposição das duas electricidades se faz com desenvolvimento de luz, quando ellas têm sufficiente tensão. É o que acontece quando se tiram faiscas da machina electrica, da garrafa de Leyde, das baterias. Todas as circumstancias que concorrem para que seja grande a quantidade dos fluidos separados pela influencia augmentam a faisca: é por isso que esta é muito maior sobre os bons conductores do que sobre os maus, e ainda maior se o bom conductor não está isolado, e se são grandes as superficies apposta pelas quaes se faz a influencia. (Vêr o § 423 a pag. 315)

— Garrafa, tubo e quadros scintillantes. —

— A garrafa scintillante é uma garrafa de Leyde cuja armadura externa é formada por uma camada de verniz sobre a qual se espalha limalha de cobre, e por duas tiras de estanho, uma inferior que se põe em communicação com o solo por meio d'uma cadeia metallica, e outra superior, que fica a poucos centimetros de distancia do botão da armadura interna, cuja haste é muito recurvada.

Suspendendo-a á machina electrica, a garrafa descarrega-se espontaneamente quando a carga attinga um certo limite, dando faiscas entre o botão e á armadura externa, faiscas que se espalham sobre a lamalha produzindo m.t. bom effeito luminoso n'uma casa ás escuras.

Nos tubos e quadros scintillantes mostram-se bonitos effeitos luminosos, todos resultantes das faiscas electricas, que saltam entre os vertices de pequenos losangos d'estanho distribuidos por differentes formas sobre o vidro.

---

madura externa da garrafa e o ultimo aproximando a mão da armadura interna. Diz-se que os individuos collocados por esta fórma constituem a *cadeia*. Se estão isolados a commoção é egual para todos; aliás é menor para os que estão na parte média da referida cadeia.

A descarga faz contrair os musculos; prova-o uma experiencia curiosa feita com o *quadro fulminante*, que é um condensador muito simples formado de um quadro de vidro cercado de um caixilho de madeira, com duas laminas de estanho, sobre as faces do vidro; estas laminas não tocam o caixilho, apenas de um dos lados uma se prolonga por uma fita de estanho até á madeira. Collocando uma moeda sobre a lamina positiva de estanho, pegando no caixilho de modo que a mão toque o estanho da outra lamina, e carregando o condensador, quando com a outra mão se vae tirar a moeda recebe-se a faisca antes do contacto, e não se póde tirar o objecto porque os musculos se contraem.

2.º *Effeitos physicos*.—A descarga através de um conductor reduzido a pequenas dimensões, como um fio ou uma folha metallica, aquece-o muito, funde-o e até o póde volatilisar, como se verifica empregando o excitador universal.

Uma lamina de oiro fundida pela descarga electrica contra uma fita de seda ou uma lamina de vidro adhere a estes corpos: demonstra-o a experiencia da *prensa electrica*, que consiste em fundir uma lamina de oiro contra uma fita de seda, pondo de permeio um papel com aberturas, que de ordinario representa o retrato de Franklin.

Fazendo a descarga entre duas espheras, uma de oiro e outra de prata, a primeira apparece prateada e a segunda doirada nos pontos tocados pela faisca; parece que ha duplo transporte dos metaes nos dois sentidos.

A faisca electrica, pelo augmento de temperatura que produz, inflamma o ether, o alcool, a polvora e a resina em pó, quando atravessa estas substancias.

3.º *Effeitos chimicos*.—A descarga electrica, e até a faisca

das machinas, é capaz de produzir combinações e decomposições. Se dois gazes estão misturados nas proporções em que se combinam, uma só faisca basta para fazer a combinação; aliás é preciso um grande numero de faiscas.

A *pistola de Volta*, fig. 214, é um frasco de metal com a parede atravessada por uma haste tambem metallica, porém isolada d'ella e terminada em dois botões *A* e *B*, sendo este ultimo muito proximo da parede. Introduzindo-lhe uma mistura de duas partes de hydrogeneo e uma de oxygeneo; fechando-a com uma rolha; pondo-a por meio de uma cadeia em communicação com a armadura externa de um condensador, e aproximando do botão *A* a armadura interna, salta uma faisca contra este botão, e outra entre o botão *B* e o frasco: esta ultima, produzindo o vapor d'agua pela combinação dos dois gazes, faz saltar a rolha a distancia e com grande estampido.

Fig. 214

Fig. 215

4.º *Effeitos mechanicos.*—A descarga através dos corpos maus conductores produz sempre fracturas mais ou menos apparentes; demonstra-se com o apparelho denominado *fura-vidros* ou *fura-cartas*, fig. 215, no qual a faisca salta entre duas pontas metallicas dirigidas contra uma carta ou uma lamina de vidro *v*; faz-se isto pondo a armadura externa em contacto com o botão *a*, que communica com a ponta inferior, e aproximando a armadura interna do botão *b*, em que termina a ponta superior.

O furo é quasi sempre mais proximo da ponta negativa

do que da ponta positiva, se a experiencia se não realisa no ar rarefeito, e é notavel que o furo na carta apresenta os bordos levantados em ambas as faces.

D'aqui passa-se a pag. 352.

CAPITULO XII

ELECTRICIDADE DYNAMICA

I — Correntes hydro-electricas. — Pilhas

(pag. 354)

443. — **Experiencia de Galvani. — Galvanismo.** — Galvani, professor de anatomia em Bolonha, havendo, em 1786, preparado algumas rãs para estudos anatomicos, e tendo-as suspendido a uma grade de ferro por colxetes de cobre introduzidos entre a columna vertebral e os nervos lombares, notou que aquelles animaes mortos e mutilados se agitavam em vivas convulsões, quando tocavam as grades de ferro com os membros movidos pelo vento. Galvani viu n'este phenomeno um principio novo, e apenas se assegurou, por experiencias directas, de que as convulsões se davam sempre que aquelles animaes recentemente mortos se achavam em circumstancias identicas ás que primeiro tinha observado, publicou o seu descobrimento emittindo ao mesmo tempo uma theoria para lhe servir de explicação. Suppoz que as convulsões eram excitadas por um fluido electrico particular, que se dirigia dos nervos para os musculos por intermedio do cobre e do ferro, os quaes apenas serviam para estabelecer a

communicação entre os referidos orgãos[1]. Os animaes foram então considerados como garrafas de Leyde, constituindo os musculos e os nervos as duas armaduras.

Para reproduzir a experiencia de Galvani corta-se com uma tesoura uma rã viva, pela região lombar; despem-se os membros inferiores; põem-se a descoberto os nervos lombares, que são dois filetes brancos dispostos aos lados da columna vertebral; introduz-se debaixo d'elles um dos ramos do arco articulado *ZOC*, fig. 216, formado de cobre e zinco, e tocam-se com o outro ramo os musculos das pernas do animal: reconhece-se então em cada contacto que os musculos se contraem e se agitam, como se o animal readquirisse a vida e quizesse saltar.

Fig. 216

A theoria de Galvani foi bem recebida por todos os physicos, excepto por Volta, que apoiando-se em varias experiencias attribuiu o phenomeno das convulsões á electricidade desenvolvida pelo contacto dos dois metaes, servindo a rã de conductor e de electroscopio muito sensivel. É porém facil demonstrar, que os metaes não são indispensaveis á producção do phenomeno, e que são erradas as idéas de Volta, não obstante dos seus trabalhos ter resultado a invenção das pilhas. Como estes trabalhos foram provocados pelos factos descobertos por Galvani, dá-se ás vezes o nome de *galvanismo* ao ramo da electricidade posteriormente creado e desenvolvido.

[1] Alguns peixes, como a enguia electrica, a raia electrica, etc., dão fortes descargas, que podem fulminar o homem quando communica com elles por um conductor da electricidade: esta producção de electricidade é influenciada pelo systema nervoso dos animaes.

444.—**Theoria de Volta.—Força electro-motriz.**—Volta, para demonstrar o desenvolvimento da electricidade pelo contacto de dois metaes, fez varias experiencias com uma lamina metallica composta de dois rectangulos eguaes de zinco e de cobre soldados um ao outro, e estabeleceu a theoria seguinte para as explicar: 1.º o contacto de dois corpos heterogeneos origina uma *força electro-motriz*, que decompõe o fluido neutro, ficando um dos corpos com o fluido positivo e o outro com o negativo: esta força não tem a mesma intensidade com os diversos corpos, e é maxima entre o cobre e o zinco; 2.º a força electro-motriz decompõe sempre a mesma quantidade de fluido neutro, qualquer que seja o estado electrico inicial dos dois corpos; 3.º os liquidos não desenvolvem força electro-motriz pelo contacto com os metaes, e comportam-se como corpos conductores.

Hoje está plenamente demonstrado ser falsa a theoria de Volta, e que, ao inverso do que elle suppoz, é o contacto dos liquidos com os metaes a origem da força electro-motriz, ficando os liquidos com o fluido positivo e os metaes com o negativo: o contacto de dois metaes não desenvolve força electro-motriz.

O contacto do liquido com o metal produz tambem uma acção chimica, tanto mais energica quanto maior é a quantidade de fluidos separados; d'aqui vem o dizer-se que a electricidade é devida á acção chimica entre o liquido e o metal.

445.—**Pilha de Volta.**—Volta, como applicação da sua theoria, construiu um apparelho que immortalisou o seu nome: é a *pilha de columna*, fig. 217. Consta de uma serie de discos metallicos eguaes, cada um composto de duas laminas de cobre e zinco soldadas intimamente, collocados uns por cima dos outros, formando columna; os metaes differentes estão em presença, porém separados por outros discos de panno ou cartão humedecido com agua acidulada; a pilha fica disposta entre tres columnas de vidro fixas sobre uma base de madeira.

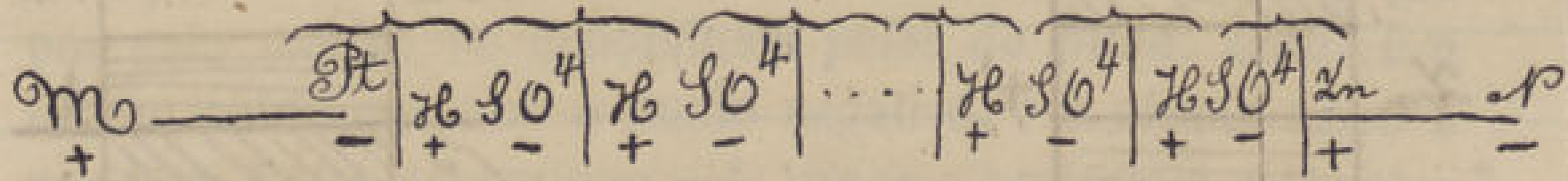

Fig. 217

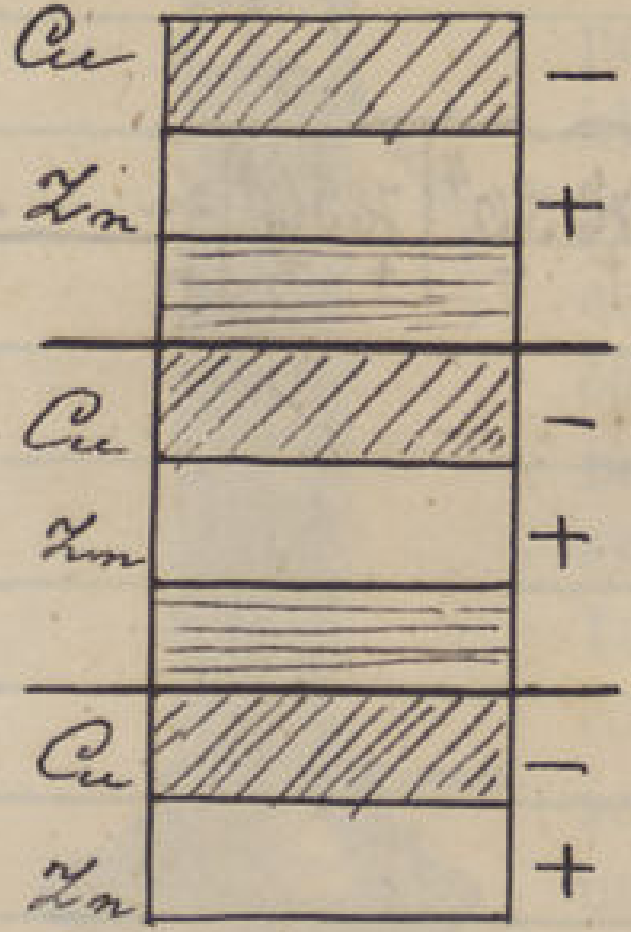
Volta deu o nome de *elemento* ou *par* de pilha a cada um dos discos formado pelos dois metaes; porém, segundo as idéas actuaes, *elemento* da pilha é o conjuncto da lamina de zinco de um disco com a lamina de cobre do outro e o disco humedecido intermedio: o zinco toma o fluido negativo e o liquido o positivo, que o cobre recebe pelo contrario. Tanto isto é assim que deitando n'um copo agua ligeiramente acidulada com acido sulfurico, e mergulhando n'ella uma lamina de zinco e outra de cobre isoladas, observa-se na primeira a electricidade negativa e na segunda a positiva.

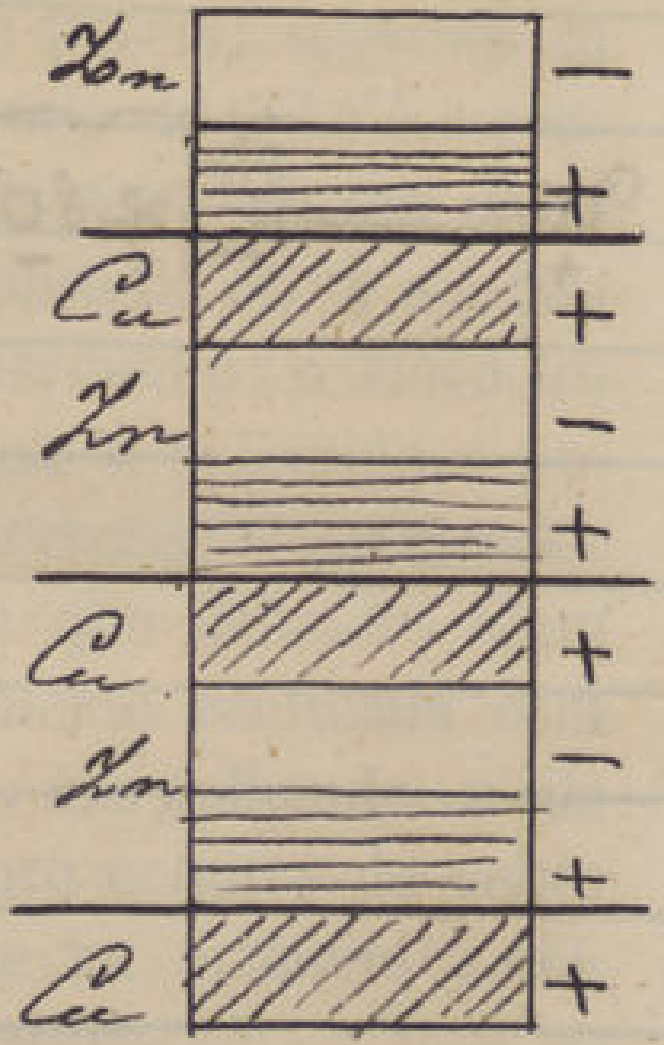
A pilha póde ter sómente um dos extremos isolado e o outro em contacto com o solo, ou tel-os ambos isolados. A experiencia mostra que no primeiro caso o extremo em contacto com o solo está no estado natural, e que no resto da pilha só existe uma especie de electricidade, que é positiva ou negativa conforme o apparelho repousa no solo pelo *elemento* que tem exteriormente o cobre ou pelo que tem o zinco. A distribuição electrica no segundo caso é differente; a parte média está no estado natural, e cada metade da pilha carregada de uma electricidade especial, crescendo a tensão dos fluidos a partir da parte média para os extremos. A metade que termina por um disco de zinco tem o fluido +; e a que termina por um disco de cobre tem o fluido —.

446.—**Tensão da pilha.**—O esforço que as electricidades accumuladas nos extremos da pilha fazem para se separar d'elles denomina-se *tensão da pilha*, e depende principalmente do numero de elementos. É preciso não a confundir com a *quantidade* de electricidade desenvolvida, a qual é dependente da superficie dos elementos e independente do seu numero.

(1) Depende tambem da resistencia interna da pilha.


Pt
H SO4
H SO4
H SO4
H SO4
Zn


Cu
Zn
Cu
Zn
Cu
Zn
−
+
−
+
−
+


Zn
Cu
Zn
Cu
Zn
Cu
−
+
+
−
+
+
−
+
+

447.—**Polos e reophoros da pilha.—Correntes.**—N'uma pilha isolada combinam-se as electricidades contrarias dos *pares* intermedios e accumulam-se os fluidos nos extremos, que por esse motivo se denominam *polos da pilha*. Como é o ultimo cobre que tem o fluido negativo, e o ultimo zinco o positivo, Volta denominou *polo zinco* o positivo e *polo cobre* o negativo: mas esta classificação é inadmissivel hoje, porque, de accordo com a theoria moderna, o cobre e o zinco extremos se consideram inuteis, e apenas destinados a conduzir as electricidades do zinco ou do cobre em contacto com os liquidos.

Em quanto estão separados os polos da pilha, as electricidades ahi accumuladas apresentam-se no estado de *tensão* ou *estatico*, e manifestam as propriedades ou effeitos estudados no capitulo antecedente. Para obter o movimento electrico denominado *corrente*, é preciso communicar entre si os polos, o que se faz por intermedio de dois fios de cobre ligados a elles: estes fios denominam-se os *reophoros da pilha*. Pondo em contacto os reophoros, as electricidades positiva e negativa accumuladas nos polos caminham de um para o outro a fim de se neutralisarem, pela mutua acção attractiva; ha por tanto corrente dupla, que é continua, por isso que a acção chimica reproduz constantemente as electricidades contrarias.

As correntes originadas pelo contacto dos liquidos com os metaes denominam-se *hydro-electricas*.

Para facilitar a explicação dos effeitos das correntes, *convencionou-se* considerar no fio conductor interpolar uma só corrente de *electricidade positiva* dirigida do polo positivo ao negativo, e através da pilha uma corrente de *electricidade negativa* do polo negativo ao positivo.

448.—**Pilha de caixa.**—A pilha de columna apresenta o inconveniente de se desseccar, e de por conseguinte enfraquecer, em virtude do peso dos elementos superiores o qual faz escorrer os liquidos. A *pi-*

lha de caixa não tem esse inconveniente: consta de uma caixa rectangular de madeira, envernisada por dentro com uma substancia isoladora, e contendo laminas de cobre e zinco, soldadas duas a duas, dispostas verticalmente com um intervallo, entre o cobre de uma e o zinco da outra. N'estes compartimentos deita-se agua acidulada, e nos ultimos collocam-se laminas de cobre, munidas de fios metallicos que são os reophoros.

449.—Pilha de Wollaston.—Esta pilha é uma modificação importante da antecedente, ou antes da *pilha de copos* imaginada por Volta. Os metaes de cada elemento mergulham n'um copo de vidro e estão ligados a uma travessa de madeira, que permitte tiral-os dos copos quando a pilha não deve funccionar. Além d'isso, tendo Wollaston reconhecido que as correntes eram tanto mais energicas quanto maiores e mais proximas eram as superficies mergulhadas no liquido, dispoz as laminas de zinco e cobre como representa a fig. 218. Os zincos *Z*, que

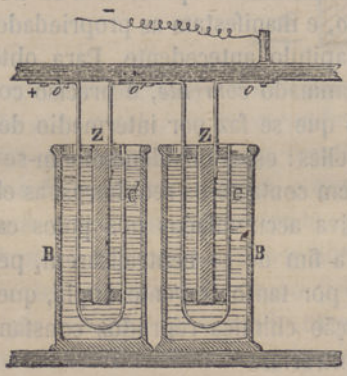


Fig. 218

são chapas rectangulares de 4 ou 5 millimetros de espessura sobre 20 centimetros de altura e 15 de largura, acham-se envolvidos pelo cobre *C*, reduzido a lamina pouco espessa e collocado a pequena distancia do zinco, sem o tocar.

450.—Pilhas seccas.—Dá-se este nome a umas pilhas em que a acção corrosiva dos acidos sobre os metaes é substituida pela de um solido hygrometrico. Entre estas pilhas é notavel a de Zamboni, que se obtem reunindo mil a dois mil discos de papel forte, cobertos por um lado com uma delgada folha de estanho e pelo outro com uma tinta de bioxydo de manganez desfeito em leite. Estes discos, depois de seccos collocam-se uns sobre os outros, com as faces heterogeneas em contacto;

Zn	$SO^4 Zn^2$	$SO^4 Cu$	Cu
—	$SO^4 \overset{+}{Zn} + H^2 + SO^4 H^2 \ldots + \overset{2}{H}$	$SO^4 H^2 + Cu$	

$$Zn + SO^4 H^2 = SO^4 Zn + H^2$$

$$\overset{+}{H}{}^2 + SO^4 H^2 = \overset{+}{S}O^4 H^2 + H^2$$

$$\overset{+}{H}{}^2 + SO^4 Cu = SO^4 H^2 + Cu$$

apertam-se bem entre dois discos de cobre collocados nas extremidades; ata-se o systema com um cordão de seda, e abriga-se da acção do ar por meio de uma camada de enxofre ou de gomma laca.

451.—**Pilhas de corrente constante.**—As pilhas descriptas, todas comprehendidas na denominação generica de *pilhas de um só liquido*, não se empregam hoje, porque a corrente electrica enfraquece muito rapidamente, tanto porque o liquido se altera, como principalmente porque dos depositos que apparecem sobre os metaes resulta augmento de resistencia no interior da pilha e *correntes secundarias* contrarias á principal.

Evitam-se taes inconvenientes com o emprego de dois liquidos; as *pilhas de dois liquidos* receberam por este motivo a denominação de *pilhas de corrente constante*. Vamos descrever as mais geralmente empregadas.

452.—**Pilha de Daniell.**—A *pilha de Daniell*, fig. 219, consta de um vaso de vidro ou de loiça *V*, contendo uma dissolução concentrada de sulfato de cobre, na qual mergulha um cylindro de cobre *C*, crivado de orificios e ligado superiormente a um galeria *G* tambem furada e cheia de crystaes d'aquelle sal. No interior do cylindro de cobre ha um vaso de barro muito puroso *P* cheio de agua acidulada com acido sulfurico, onde mergulha um cylindro de zinco *Z*. Aos dois metaes cobre e zinco ligam-se laminas de cobre *p* e *n*, as quaes constituem os reophoros.

Fig. 219

Emprega-se hoje mais frequentemente esta pilha com a seguinte modificação de Breguet: o zinco é collocado no vaso exterior, tem por conseguinte maior superficie, como convém para que seja grande a quantidade de electricidade

desenvolvida; o cobre, reduzido a um arame ligado a uma pequena galeria superior, fica no vaso poroso. É n'este vaso que se deita a dissolução do sulfato de cobre, e no exterior a agua acidulada.

O que fica descripto é apenas um *elemento* ou *par* da pilha; esta é a reunião de muitos pares, ligados por laminas de cobre, que põem em communicação o zinco de um com o cobre de outro, o zinco d'este com o cobre de um terceiro, e assim successivamente.

As acções que se passam em cada elemento são as seguintes: o zinco em presença do acido sulfurico decompõe a agua, apodera-se do oxygeneo, combina-se com o acido, constituindo o sulfato de zinco, ficando o metal com o fluido negativo e o liquido com o positivo: este fluido e o hydrogeneo livre dirigem-se através do vaso poroso sobre o cobre, que é o polo positivo; porém o gaz não se deposita, é absorvido pelo sulfato de cobre, decompondo-se este sal e libertando-se o acido, que vae depois através do vaso poroso substituir no vaso exterior o que foi absorvido pelo zinco: enfraquece assim a dissolução do sulfato de cobre, porém os crystaes collocados na galeria e mergulhados no liquido evitam isso dissolvendo-se pouco a pouco.

453.—**Pilha de Bunsen.**—A pilha de Bunsen differe da antecedente em ter em logar do cobre um cylindro ou um parallelipipedo de carvão e em ser este mergulhado em acido nitrico, que substitue a dissolução de sulfato de cobre. O zinco é ainda o polo negativo e é atacado pelo acido sulfurico da agua acidulada: o hydrogeneo e o fluido positivo de agua dirigem-se para o carvão; o acido nitrico serve para absorver aquelle gaz. Na fig. 220 está representada esta pilha em *P*, e ao lado as suas diversas partes separadas: o vaso exterior *F*; o cylindro de zinco *Z*; o vaso poroso *V* e o cylindro de carvão *C*: hoje o carvão emprega-se antes com fórma parallelipipeda.

As laminas de cobre *e* e *e'*, soldadas, ou apertadas sobre

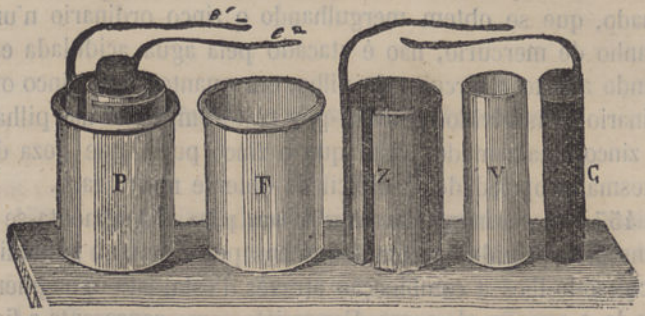


Fig. 220

o carvão e sobre o zinco, são os reophoros positivo e negativo.

A pilha de Bunsen é menos constante que a de Daniell, porque não regenera o acido sulfurico; é porém muito mais energica.

454.—**Pilha de Grove.**—Esta pilha differe da de Bunsen em ter uma lamina de platina em logar do carvão; é porém pouco empregada, apesar de ser a mais energica, porque a platina é cara e torna-se muito quebradiça sob a influencia da electricidade.

455.—**Pilha de Minotto.**—A pilha de Minotto é uma modificação importante da pilha de Daniell, com a vantagem de evitar os assiduos cuidados que esta reclama e de dispensar os vasos porosos, cuja duração é muito limitada. A pilha dispõe-se da maneira seguinte: no fundo de um copo colloca-se uma lamina de cobre, sobre ella uma camada de sulfato de cobre pulverisado, e por cima uma porção de areia; é n'esta que assenta o zinco, com a fórma de uma lamina enrolada em espiral, ou de uma grossa chapa crivada de orificios: ao disco de cobre liga-se um arame do mesmo metal, isolado dentro de um tubo de vidro ou de gutta-percha. Basta deitar agua sobre a areia até cobrir o zinco para que a pilha funccione durante muitos mezes.

456.—**Propriedade do zinco amalgamado.**—O zinco amalgamado, que se obtem mergulhando o zinco ordinario n'um banho de mercurio, não é atacado pela agua acidulada estando aberto o circuito da pilha, em quanto que o zinco ordinario é dissolvido. Convém por tanto empregar nas pilhas o zinco amalgamado, visto que o zinco puro, que goza da mesma propriedade, é difficil de obter e muito caro.

457.—**Agrupamento dos pares de uma pilha.**—Augmenta-se a tensão dos fluidos accumulados nos polos de uma pilha difficultando-lhes a combinação através d'esta, isto é, augmentando o numero de pares. Faz-se isto como representa a fig. 221, reunindo o carvão ou o cobre de um par ao zinco do

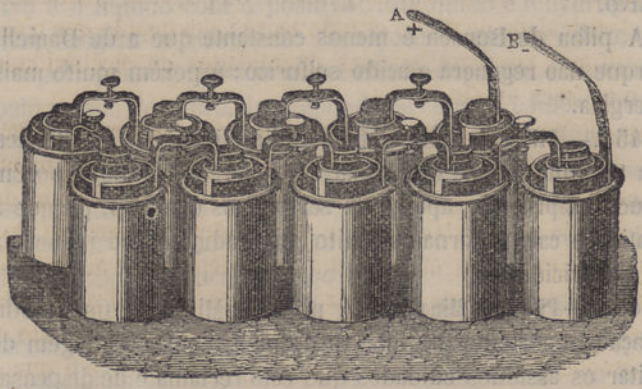


Fig. 221

outro, o carvão ou cobre d'este ao zinco de um terceiro, e assim successivamente. Querendo, pelo contrario, grande quantidade de fluidos, é preciso augmentar a superficie dos pares; o que se consegue reunindo os pares pelos polos do mesmo nome, isto é, pondo em communicação os zincos, de um lado, e os carvões, ou cobres, do outro.

II.—Effeitos da electricidade dynamica

458.—Os effeitos da electricidade dynamica são, assim como os da descarga electrica, *physiologicos*, *physicos*, *chimicos* e *mechanicos*.

os physicos são calorificos, luminosos, magneticos e de inducção

A differença que se observa entre estes effeitos e os da descarga provém de que esta estabelece uma corrente instantanea, em quanto que com a electricidade dynamica as correntes são continuas: na primeira ha pequena quantidade de electricidade de muito grande tensão, em quanto que n'estas ultimas circulam grandes quantidades de electricidade de mui fraca tensão.

Os effeitos physiologicos dependem principalmente da tensão, e por conseguinte do numero de pares da pilha; os effeitos physicos e mechanicos, pelo contrario, dependem da quantidade de electricidade, e por tanto da superficie dos pares da pilha; os effeitos chimicos dependem ao mesmo tempo da tensão e da quantidade; é indispensavel uma certa tensão para vencer a affinidade; porém conseguido isto a decomposição é tanto mais rapida quanto maior é a quantidade de electricidade, isto é, a superficie dos pares.

459.—I.—**Effeitos physiologicos.**—Designam-se por esta denominação os effeitos produzidos pela pilha sobre os animaes mortos ou vivos. Nos animaes recentemente mortos a corrente electrica produz movimentos extraordinarios, que simulam a renovação da vida. Os effeitos sobre os vivos reconhecem-se pegando com as mãos humedecidas em dois cylindros metallicos ligados aos extremos de uma forte pilha: sente-se uma commoção violenta, comparavel á produzida pela descarga de um condensador; se o numero dos pa-

res da pilha é excessivamente grande, esta commoção póde ser perigosa.

460.—II.—**Effeitos physicos.**—Os principaes effeitos physicos das correntes são *calorificos*, *luminosos* e *magneticos* e d'inducção.

D'estes ultimos trataremos no capitulo seguinte.

461.—**Effeitos calorificos.**—Os solidos e os liquidos atravessados por uma corrente electrica aquecem: os fios metallicos muito finos tornam-se rubros, fundem-se e até se volatilisam ardendo com chammas de diversas côres.

462.—**Effeitos luminosos.**—**Luz electrica.**—**Arco voltaico.**—Como a electricidade das pilhas tem fraca tensão, não se obtem faisca quando se tocam os reophoros; porém levando-os ao contacto e afastando-os depois, produz-se uma faisca, que se transforma em luz continua, se a pilha é muito energica, e se os reophoros se conservam a pequena distancia: esta luz é a *luz electrica*. Fazendo a experiencia no vacuo, com o *ovo electrico* (423), a luz parece partir do botão positivo e ser-lhe adherente; apresenta a côr vermelha muito intensa até proximo do botão negativo, interrompendo-se então e involvendo este e a sua haste, porém com a côr roxa.

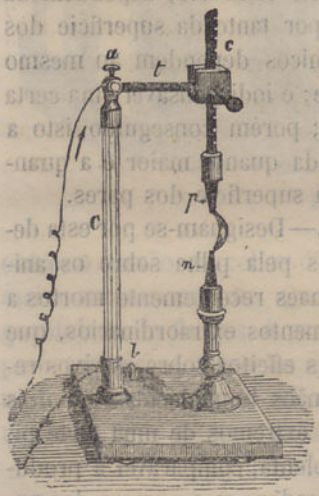


Fig. 222

A luz é muito branca e intensa no ar quando se produz entre duas hastes conicas de carvão: faz-se a experiencia com o apparelho representado na fig. 222. Os dois reophoros da pilha ligam-se aos botões *a* e *b*, os quaes communicam com os dois carvões *p* e *n*; este é fixo e o primeiro movel com a haste *c* por meio de um botão. Levando os carvões ao contacto, fecha-se o circuito da pilha, a cor-

rente passa e as extremidades dos carvões tornam-se incandescentes; elevando o carvão *p* até um certo limite, dependente da força da pilha e de outras circumstancias, apparece a luz com a fórma de um arco, denominado *arco voltaico*. O arco é mais comprido quando a corrente se dirige do carvão superior para o inferior, como a figura representa.

A temperatura do arco voltaico é das mais intensas que se conhecem: as supstancias mais refractarias são fundidas e até volatilisadas quando introduzidas no arco; o carvão amollece, o diamante perde a transparencia, etc.

No ar os carvões diminuem de volume, porque se queimam; porém no vacuo não ha combustão, e comtudo o carvão positivo excava-se e diminue de volume, e o negativo alonga-se e augmenta de volume: é isto devido ao transporte das particulas de carvão de um polo para outro, em maior porporção do positivo para o negativo. São estas particulas de carvão, que, tornando-se candentes pela passagem da corrente, produzem a luz electrica.

Para que a luz dure é preciso, por conseguinte, aproximar os carvões, a fim de compensar o seu desgaste: obtem-se isto com apparelhos especiaes denominados *reguladores*, os quaes pela propria acção da corrente manteem os carvões á conveniente distancia e altura.

Desde o principio do presente seculo se tem procurado utilisar a luz electrica na illuminação das cidades, produzindo o arco com regulador e com uma forte pilha; hoje renuncia-se porém ao emprego da pilha, por ser além de incommoda bastante dispendiosa.

463.—III.—**Effeitos chimicos.**—Os principaes effeitos chimicos das correntes voltaicas são a decomposição dos corpos compostos: o seu estudo constitue actualmente uma sciencia vastissima, a *electro-chimica*, de poderoso auxilio para a chimica, e de importantissimo proveito para as artes.

Dá-se o nome de *electrolyte* á substancia que se decompõe pela pilha; de *electrolyse* ou *electrolysação* ao acto da

Quaes são os corpos que resultam da electrolyse?

decomposição, e de *electrodes* aos conductores que estabelecem a communicação do electrolyte com a pilha[1].

Na electrolyse nota-se sempre que umas substancias se dirigem para o polo positivo da pilha e outras para o polo negativo: as primeiras suppõe-se estarem carregadas de fluido negativo e dizem-se *electro-negativas;* por identica razão dá-se ás outras a denominação de *electro-positivas.*

464.—**Decomposição da agua.—Voltametro.**—Faz-se a decomposição da agua com o apparelho representado na fig. 223, conhecido pela denominação de *voltametro.* É um vaso de vidro, cujo fundo, revestido por substancia isoladora, é atravessado por dois fios de platina separados um do outro: estes fios põem-se em contacto com os reophoros da pilha por meio dos botões *c* e *z*. Para fazer a decomposição deita-se agua no vaso, tendo o cuidado de lhe juntar algumas gotas de acido sulfurico a fim de a tornar melhor conductora da corrente: e enchem-se com o liquido duas pequenas campanulas, que se invertem sobre os electrodes de platina. Fazendo passar a corrente vemos soltarem-se d'estes algumas bolhas gazozas, que obrigam o liquido a descer nas campanulas, e nota-se que o gaz contido na campanula collocada sobre o electrode negativo tem sempre o volume duplo do que fica na outra campanula. O primeiro dos dois gazes é hydrogeneo e o segundo oxygeneo, como se comprova recorrendo ás suas propriedades caracteristicas: o oxygeneo é por tanto electro-negativo, e o seu volume metade do volume do hydrogeneo.

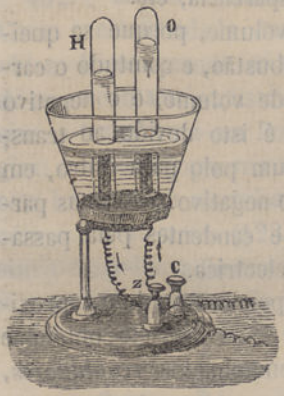


Fig. 223

[1] Isto mostra ser impropriamente que muitos auctores confundem a denominação de *reophoros* da pilha com a de *electrodes*.

Demonstra-se que a quantidade d'agua decomposta é proporcional á *intensidade da corrente*. Tomando para *unidade de intensidade a intensidade de uma corrente que desenvolva um gramma de hydrogeneo n'um minuto*, o instrumento servirá para medir a intensidade de qualquer corrente, e d'esta applicação lhe veiu o nome.

465.—**Electrolyse dos compostos em que entra um metal.**—Os compostos binarios ou ternarios em que entra um metal decompõem-se pela pilha, dirigindo-se sempre o metal para o polo negativo e os outros corpos com que está combinado para o polo positivo.

466.— **Galvanoplastica.—Galvanisação.**— Dá-se o nome de *galvanoplástica* á arte que trata de applicar metaes sobre a superficie dos corpos, formando assim depositos adherentes ou não. Esta arte é fundada na electrolyse dos compostos metallicos, d'onde resulta a precipitação do metal no electrode negativo: os outros corpos combinados com o metal dirigem-se para o electrode positivo, o qual sendo constituido por uma lamina do mesmo metal se combina com elles, dissolve-se, e faz assim com que a dissolução se conserve concentrada.

Para reproduzir em cobre uma medalha, baixo relevo, etc. começa-se por preparar o molde, que póde ser de cera, gesso, gutta-percha, etc.: o molde liga-se com o polo negativo da pilha e introduz-se n'um vaso contendo uma dissolução saturada de sulfato de cobre: o electrode positivo é uma lamina d'este metal.

Para *cobrear* uma estatua de gesso, ou qualquer outro objecto, *metallisa-se* a sua superficie com pó de plombagina, a fim de a tornar boa conductora da electricidade; depois colloca-se no logar do molde da operação antecedente procedendo-se em tudo do mesmo modo. A differença entre estes dois processos consiste em que no primeiro o deposito metallico separa-se do molde, e no segundo, denominado particularmente *galvanisação*, o metal fica adherente.

Na *doiradura* e *prateadura* galvanicas procede-se ainda de egual modo, com a differença das dissoluções: para doirar emprega-se um liquido composto de 100 partes de agua, 10 de cyanureto de potassio e 1 de chlorureto de oiro, e o electrode positivo é uma lamina de oiro. Para pratear emprega-se um banho identico com a differença que o chlorureto de oiro é substituido pelo cyanureto de prata e o electrode positivo é uma peça d'este metal. (Daqui passa-se a pag. 363)

467.—IV.—**Effeitos mechanicos.**—Os effeitos mechanicos das correntes são o transporte de diversas substancias, transporte que se reconhece entre os carvões do arco voltaico (462) e que tambem se effectua em todas as electrolyses, nas quaes se observa que os corpos separados são transportados para os electrodes oppostos.

468.—**Electro-dynamica.—Leis das acções mutuas das correntes electricas.**—O estudo das acções mutuas das correntes, devido a Ampère, constitue hoje um ramo importante da electricidade dynamica, conhecido pela denominação de *electro-dynamica*.

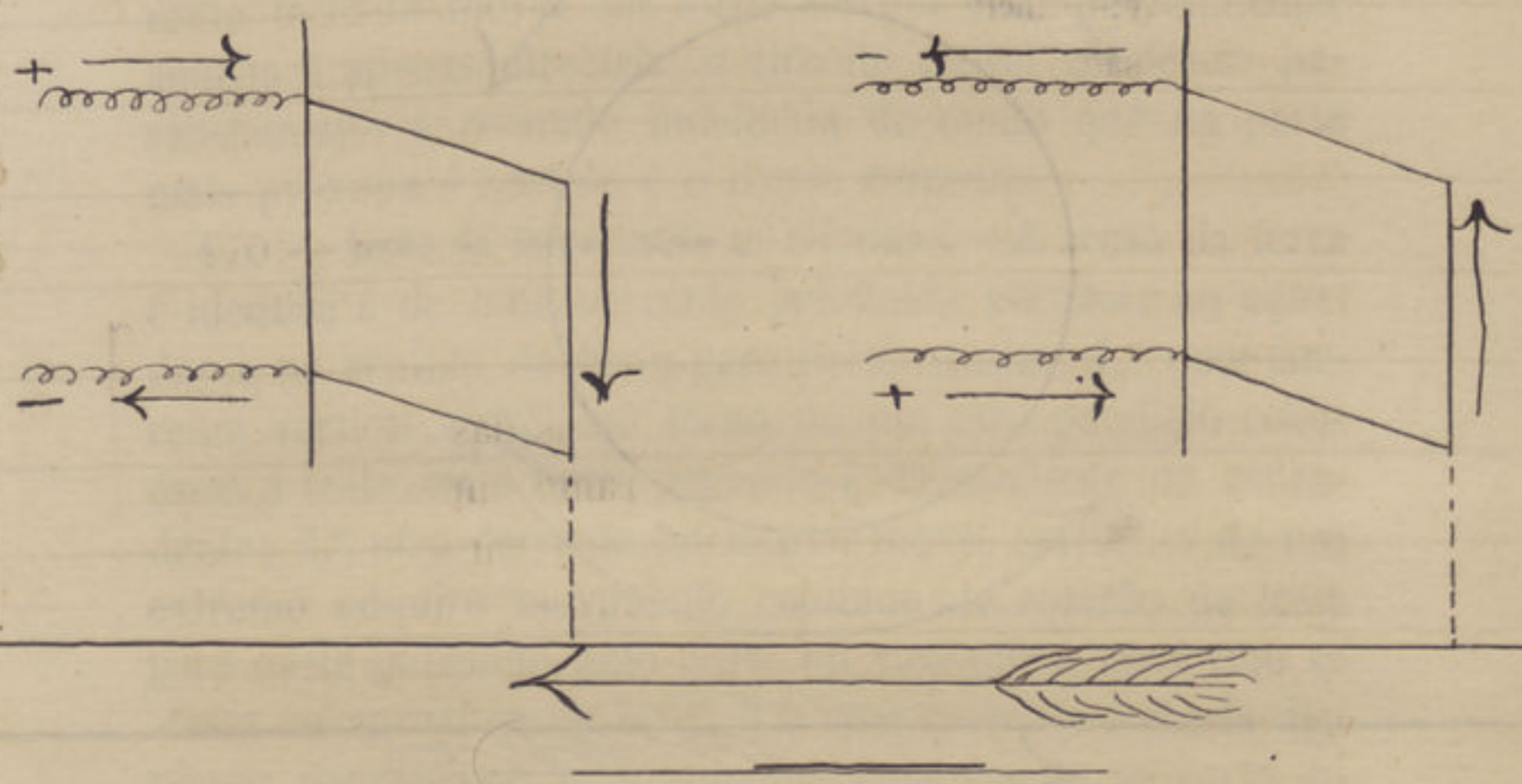
As leis das acções mutuas das correntes são as seguintes: 1.ª *Duas correntes parallelas attraem-se, sendo do mesmo sentido; e repellem-se se são de sentidos contrarios;* 2.ª *Duas correntes que se crusam attraem-se, se caminham no mesmo sentido em relação ao ponto de crusamento, e repellem-se no caso contrario;* 3.ª *A acção de uma corrente sinuosa equivale á de uma corrente rectilinea de egual comprimento em projecção.*

Estas leis verificam-se pela experiencia operando com circuitos moveis por onde se dirijam as correntes.

469.—**Acção de uma corrente indefinida.**—Partindo da segunda lei do num. antecedente chega-se facilmente aos resultados seguintes:

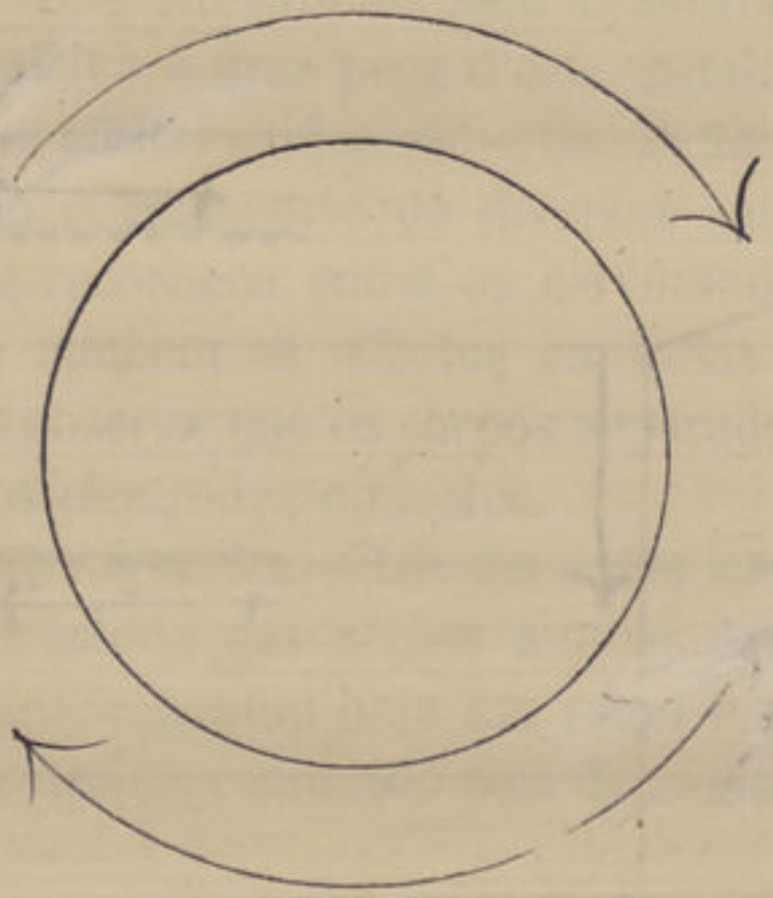
1.º Uma corrente rectilinea movel em torno de um eixo parallelo á sua direcção, actuada por uma corrente rectilinea indefinida perpendicular áquella, desvia-se para o lado

= 469 = 1.ª =



= 2.ª =

= 3.º =



d'onde vem esta corrente ou para o lado contrario, conforme se afasta ou se aproxima d'ella.

2.º Se a corrente rectilinea é movel em torno de um dos extremos adquire sob a acção da corrente indefinida movimento continuo de rotação no sentido d'esta ou no contrario, conforme aquella corrente se dirige para o eixo ou se afasta d'elle.

3.º A acção de uma corrente indefinida sobre uma corrente fechada movel em torno de um eixo perpendicular áquella é apenas directriz; o circuito movel colloca-se parallelamente á corrente indefinida de modo que na parte mais proxima o sentido é o d'esta corrente.

470.—**Acção da terra sobre as correntes.**—A acção da terra é identica á de uma corrente indefinida parallela ao equador e no sentido de leste para oeste. Assim, 1.º uma corrente vertical movel em torno de um eixo parallelo colloca-se a leste ou a oeste segundo é descendente ou ascendente; 2.º uma corrente horisontal movel em torno de um extremo adquire movimento continuo de rotação de leste para oeste passando pelo norte ou vice-versa, conforme se afasta ou aproxima do eixo; 3.º uma corrente fechada dispõe-se parallelamente ao equador caminhando na parte inferior de leste para oeste.

(D'aqui passa-se a pag. 379)

CAPITULO XIII

ELECTRO-MAGNETISMO

I — Propriedades dos imans

(pag. 335)

471.—Iman natural.—Magnetismo.—Dá-se o nome de *pedra de iman* ou de *iman natural* a um oxydo de ferro, que tem a propriedade de attrair o ferro, o nickel, o cobalto, o chromio, etc., sendo comtudo esta acção muito mais energica sobre o primeiro d'aquelles metaes[1].

Segundo Aristoteles a referida substancia foi conhecida do philosopho Thales 600 annos antes da era christã: o seu nome grego *magnetis* vem do nome da cidade de Magnesia na Lydia perto do monte Sipylo, onde se acharam os primeiros imans.

Do nome grego do iman veiu a palavra *magnetismo*, empregada hoje tanto para designar a causa da sua acção attractiva, como a parte da physica, que estuda os phenomenos produzidos por essa causa.

472.—~~Imans artificiaes.~~ magnetos—Agulha magnetica.—Força coerciva.—A propriedade do iman é transmissivel e conserva-se muito

[1] Este oxydo encontra-se em algumas minas principalmente na Suecia e na Noruega, e tambem na Allemanha e nas Indias; mas nem todo apresenta a propriedade caracteristica dos imans: é d'este minerio que na Suecia se extrae o melhor ferro.

bem no aço temperado, com o qual se fazem ~~*imans artificiaes*~~ magnetes permanentes com fórmas e disposições proprias para o estudo do magnetismo e para as suas applicações. As fórmas mais communs dos ~~imans artificiaes~~ magnetes são a de *barra*, a de *ferradura* e a de losango muito alongado cortado em lamina delgada, a que se dá o nome de *agulha magnetica*.

O *ferro macio*, isto é, o ferro livre de substancias estranhas, adquire mais facilmente que o aço a propriedade magnetica; porém do mesmo modo a perde quasi instantaneamente, e por isso constitue apenas *imans temporarios*, que são de mui util emprego.

A resistencia que uma barra de ferro oppõe á magnetisação recebe o nome de força *coerciva;* esta força é muito grande no aço temperado, e quasi nulla no ferro macio.

473.—**Distribuição do magnetismo.—Polos e linha neutra dos imans.**—A acção attractiva de um iman não tem a mesma intensidade em todos os pontos; ha duas regiões oppostas onde é maxima, e uma intermedia onde é quasi nulla: as primeiras denominam-se *regiões polares* do iman, a segunda denomina-se *região neutra*.

Reconhece-se e estuda-se esta distribuição do magnetismo espargindo sobre o iman limalha de ferro ou envolvendo-o n'ella, e retirando-o depois: o que se observa, tanto nos imans naturaes como nos artificiaes, está indicado na fig. 224.

Fig. 224

Os centros das regiões polares denominam-se *polos do iman;* a linha que os une *eixo magnetico*, e a secção perpendicular a este e equidistante d'aquelles *linha neutra*. Nas agulhas magneticas bem preparadas os polos residem nas pontas; o eixo magnetico coincide com o eixo de figura, e a região neutra existe na parte média.

Ás vezes, em consequencia de ter sido mal feita a magne-

tisação, os imans apresentam mais de dois polos, isto é, teem centros de attracção em pontos intermedios aos polos propriamente ditos: estes pontos dizem-se *pontos consequentes;* supporemos sempre que não existem, porque é o caso ordinario.

474.—**Acção mutua dos polos dos imans.**—Suspendendo uma agulha magnetica pela parte média, e aproximando successivamente de ambos os seus polos um dos extremos de um iman, ou de outra agulha, reconhece-se que um polo exerce attracção e outro repulsão. Fazendo egual experiencia com o segundo polo do mesmo iman, vê-se que manifesta attracção o polo que primeiro repellira e que repelle o que antes attraira. Os polos dos diversos imans sobre os quaes a acção d'um extremo da agulha suspensa é a mesma chamam-se *polos do mesmo nome;* dizem-se de *nome contrario* aquelles sobre os quaes essa acção é differente: isto é, os polos que são attraidos ou repellidos pelo mesmo extremo de um iman são do mesmo nome, e os polos attraidos são de nome contrario ao dos repellidos.

Os polos oppostos do mesmo iman são de nome contrario; porque, como dissemos, actuam differentemente sobre o mesmo polo de outro iman.

— Estas attracções e repulsões variam na razão inversa do quadrado das distancias.

475.—**Substancias magneticas.**—Denominam-se *substancias magneticas* aquellas que os imans attraem: as principaes são, como dissemos, o ferro, o aço, os oxydos de ferro, o nickel, o cobalto e o chromio. Distinguem-se dos imans, porque não teem acção umas sobre as outras, e porque attraem indistinctamente ambos os polos de um iman.

476.—**Theoria dos dois fluidos magneticos.**—Em quanto se não descubriram as correntes electricas e a sua acção sobre os imans explicaram-se os phenomenos magneticos admittindo a existencia de dois fluidos analogos aos fluidos electricos da theoria de Symmer, exercendo repulsão sobre si mes-

mos e attracção um sobre o outro, e suppondo que nas substancias magneticas estes fluidos estão combinados, constituindo um *fluido magnetico neutro*, e sendo susceptiveis de separar-se pelos processos de magnetisação para accumular-se depois cada um em diverso extremo do magnete.

477.—**Magnetisação por influencia.**—Na theoria dos dois fluidos explica-se a acção de um iman sobre uma substancia magnetica dizendo que o fluido accumulado no polo do iman mais proximo d'ella decompõe o seu fluido neutro, attrae o fluido do nome contrario e repelle o do mesmo nome, constituindo assim um iman temporario: diz-se então que a substancia magnetica foi *magnetisada por influencia*. Isto explica o phenomeno da *cadeia magnetica:* aproxima-se de um extremo de um iman uma pequena barra de ferro macio a qual é attraida e fica suspensa; aproximando do extremo livre d'esta barra uma segunda barra de ferro macio é tambem attraida e retida por ella, e o mesmo se póde fazer com outras peças. Todas estas peças estão retidas pela influencia do iman, que as converte em imans temporarios; de feito separando a primeira, todas as outras se separam e caem.

É um phenomeno perfeitamente identico a este o que se passa com a limalha de ferro espargida sobre o iman, e que faz com que ella se accumule em grande quantidade.

478.—**Constituição dos imans.**—Magnetisando uma grande agulha d'aço reconhecemos os dois polos nas duas extremidades e a região neutra no meio; partindo a agulha por esta região nota-se que cada metade é um iman completo, e o mesmo se observa dividindo e subdividindo cada uma d'ellas. Não devemos por conseguinte admittir a accumulação dos fluidos nos extremos do iman, isto é, nas regiões polares, e a sua ausencia completa na região neutra: devemos antes considerar o iman como sendo o resultado da juxtaposição de *elementos magneticos* completos, independentes, tendo cada um os seus dois polos e a linha neutra,

e sendo todos orientados da mesma maneira, dando assim em resultado a neutralisação na parte média e duas resultantes contrarias applicadas nos polos do referido iman.

Veremos adiante como se explica hoje a constituição dos *elementos magneticos*.

(pag 369) 479.—**Feixes magneticos.—Armaduras dos imans.**—Os imans de maior volume são os mais possantes; porém os imans pequenos teem proporcionalmente maior força do que os grandes. D'aqui proveiu a idéa de associar muitas barras pequenas a fim de constituir um *feixe magnetico*. Convém que os imans do feixe estejam isolados e que não tenham o mesmo comprimento. A fig. 225 representa um *feixe* composto de

Fig. 225

12 barras dispostas em tres camadas, sendo a barra média de cada uma d'estas camadas maior que as extremas: as massas de ferro macio *A* e *B* constituem os polos do systema.

É inconveniente deixar expostos os polos de um iman, ou de um feixe, ás suas acções mutuas; porque d'esse modo a força tende a diminuir. Evita-se uma tal desvantagem empregando *armaduras*, que são peças de ferro macio postas em contacto com os polos do iman: estas peças magnetisando-se por influencia reagem sobre os polos conservando assim a magnetisação.

Os imans em fórma de ferradura armam-se com uma só peça; porque os polos terminam por facetas collocadas no mesmo plano. Os imans naturaes armam-se guarnecendo-os de peças de ferro macio, a fim de transportar os polos para duas facetas collocadas tambem no mesmo plano: a armadura é então identica á dos imans de ferradura.

Depois de armados os imans póde julgar-se da sua força carregando-os com pesos: fazendo isto observa-se um phe-

nomeno notavel e ainda não explicado, é o augmento successivo da força com o tempo até attingir um certo limite. Os imans naturaes, que são muito fracos, adquirem grande força por este meio. (D'aqui passa-se a pag. 335)

II.—Magnetismo terrestre

480.—Acção da terra sobre os imans.—Denominação dos polos dos imans.—Suspendendo um iman por um fio, apoiando-o n'um fulcro, ou collocando-o sobre um pequeno pedaço de cortiça, que se faz fluctuar na agua, observa-se que o iman oscilla em torno de uma posição pouco differente da linha norte-sul, na qual fica depois em equilibrio. Desviando-o d'esta posição, oscilla de novo e adquire-a outra vez passado algum tempo. Isto mostra que a terra attrae o iman exactamente como o faria uma grande massa de ferro.

Se invertermos o iman, fazendo olhar para o norte o polo que olhava para o sul, observa-se que este é repellido, e que o iman gira de 180° voltando sempre o mesmo polo para o norte. A terra actua, por conseguinte, como um iman, isto é, distingue os polos, attrae um e repelle o outro; a sua acção representa-se perfeitamente considerando no seu interior um grande iman proximamente na direcção norte-sul; por esse motivo os polos d'este iman recebem o nome de *polo boreal*, o do norte, e de *polo austral*, o do sul.

Assim, os polos dos imans que se dirigem para o norte são polos austraes, isto é, do mesmo nome do polo austral do iman terrestre; e os que olham para o sul são polos boreaes. Como poderia haver confusão em designar por este modo os polos dos imans, denomina-se *polo norte* o que se dirige para o norte, e *polo sul* o que olha para o sul.

481.—**Binario magnetico terrestre.**—Partindo da hypothese de que a terra actua como um iman collocado no seu centro, representa-se a acção magnetica terrestre por um *binario* (53), cujo effeito é, como se sabe, apenas de direcção.

Consideremos a agulha *AB*, fig. 226, suspensa ou apoiada

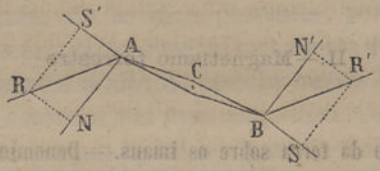


Fig. 226

livremente pelo centro *C*. O polo norte da terra attrairá o polo austral *A* da agulha com uma força *AN*, e repellirá o polo boreal *B* com uma força *BN'*, egual e parallela áquella attenta a pequenez da agulha relativamente á distancia que a separa do centro da terra; estas duas forças constituem por conseguinte um binario. A acção do polo sul do globo será a de outro binario *BS*, *AS'*. Estes dois binarios compõem-se e dão um binario resultante *AR*, *BR'*, o qual só póde desviar a agulha até a collocar no seu plano parallelamente á direcção das forças *AR*, *BR'*.

A experiencia confirma o que acabamos de dizer, isto é, que a acção da terra é apenas *directriz;* porque collocando a agulha magnetica sobre um fluctuador reconhece-se que não ha movimento de translação, o que demonstra que não ha força motriz horisontal; e pesando a agulha antes e depois de magnetisada reconhece-se que a magnetisação não lhe augmentou nem diminuiu o peso, por tanto não ha força motriz vertical.

482.—**Meridiano magnetico.**—**Declinação da agulha.**—A direcção que toma a agulha magnetica sob a acção da terra não coincide, em geral, com a linha norte-sul, umas vezes afasta-se para leste e outras para oeste. Denomina-se *meridiano*

magnetico o plano que passa pela agulha e pelo centro da terra, e *declinação da agulha*, o angulo d'este plano com o do meridiano astronomico: a declinação diz-se *oriental* ou *occidental*, conforme o polo norte da agulha está a leste ou a oeste d'aquelle meridiano.

483.—**Inclinação da agulha.—Equador e polos magneticos da terra.**—Se magnetisarmos uma agulha depois de haver determinado o seu centro de gravidade, veremos que depois de magnetisada não toma a posição horisontal, quando suspensa ou apoiada por aquelle ponto; um dos seus polos mergulha no horisonte, o polo norte no nosso hemispherio, e o polo sul no hemispherio austral: o angulo que a direcção da agulha faz com o horisonte depende do plano em que se colloca; é minimo no meridiano magnetico e então denomina-se *inclinação da agulha*.

Denomina-se *equador magnetico* a linha que passa pelos pontos da superficie da terra onde a inclinação é nulla: esta linha afasta-se pouco do equador geographico. *Polos magneticos terrestres* são os pontos onde a inclinação é de 90°, isto é, onde a agulha fica vertical. Em cada hemispherio encontra-se um *polo magnetico* situado nas regiões polares.

484.—**Bussola de declinação.**—Dá-se o nome de *bussolas* aos instrumentos que medem a declinação e a inclinação.

A *bussola de declinação*, reduzida á maxima simplicidade e disposta como basta para os usos ordinarios, consta de uma caixa tendo no centro um fulcro vertical em que se apoia uma agulha magnetica horisontal, e no fundo um circulo graduado. Mede-se a declinação, conhecendo o meridiano do logar, levando o diametro 0°-180° do circulo graduado ao plano d'esse meridiano, e lendo o angulo que a agulha faz com aquelle diametro. Se não é conhecido o meridiano geographico começa-se por determinal-o, o que se faz com a bussola disposta de uma maneira apropriada. Para tal fim a bussola tem um oculo *L*, fig. 227, movel n'um plano vertical, que passa pelo diametro 0°—180° do circulo

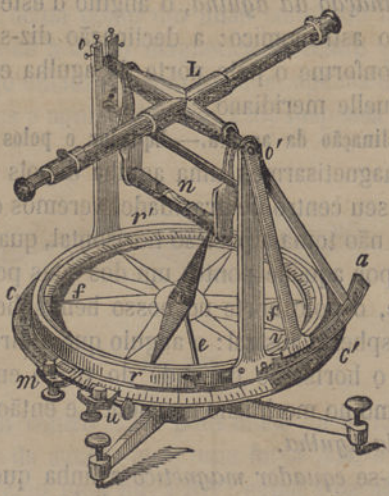


Fig. 227

graduado. Esta parte do instrumento gira sobre um limbo horisontal *cc'*, denominado *circulo azimuthal*, porque mede os azimuths a que se leva o oculo.

Determina-se o meridiano dirigindo o oculo para um astro conhecido, calculando pelos processos astronomicos o azimuth d'esse astro, isto é, a sua distancia ao meridiano, e fazendo por ultimo, girar o plano vertical do oculo de um angulo egual a esta distancia.

485.—**Bussola maritima.**—Para dirigir a marcha dos navios emprega-se a bussola de declinação, que se introduz n'uma caixa denominada *bitacola*, collocada á ré sobre a coberta. A bussola suspende-se de maneira que, não obstante as oscillações continuas do navio, a agulha está sempre horisontal: esta suspensão obtem-se com dois anneis concentricos e dois eixos perpendiculares, um fixo a um dos anneis, outro fixo á caixa.

A agulha não se vê, porque sobre ella está collocada uma

folha de cartão ou de talco com a rosa dos ventos, e uma graduação, com o zero na linha norte-sul. Na caixa está marcado um traço denominado *linha de fé*, que indica a direcção da quilha do navio. Para dirigir o navio procura-se primeiramente n'uma carta maritima o rumo que se deve seguir para o levar ao seu destino, e move-se o leme olhando para a bussola até levar a linha de fé a fazer com a agulha um angulo que se obtem sommando ou subtraindo do rumo o valor da declinação, conforme o signal d'esta.

486.—**Bussola de inclinação.**—Na *bussola de inclinação*, fig. 228, a agulha oscilla em torno de um eixo horisontal per-

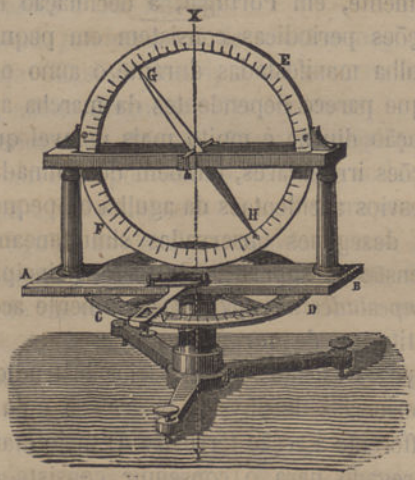


Fig. 228

pendicular a um circulo vertical *EF*, no qual se mede o angulo que ella faz com o horisonte: este circulo vertical move-se sobre um horisontal graduado *CD*, que serve para dar a posição do primeiro e permitte collocal-o no meridiano magnetico.

487.—**Variações da declinação e inclinação.**—A declinação e

inclinação magneticas apresentam *variações regulares e irregulares.*

As variações regulares distinguem-se em *seculares*, quando são do mesmo sentido durante muitos annos, e *periodicas* quando são de sentidos contrarios no periodo de um anno ou de um dia, e por esse motivo se denominam *annuaes* ou *diurnas*. Diremos apenas alguma coisa das variações de declinação, porque as da inclinação são pouco apreciaveis.

Em cada logar da terra a agulha oscilla para um e outro lado da linha norte-sul, apresentando durante muitos annos uma declinação oriental, durante muitos outros uma declinação occidental; n'isto consiste a *variação secular* da agulha. Actualmente, em Portugal, a declinação é occidental.

As variações periodicas consistem em pequenas oscillações da agulha manifestadas durante o anno ou durante o dia, e, ao que parece dependentes da marcha apparente do sol. A variação diurna é muito mais notavel que a annual.

As variações irregulares, tambem denominadas *perturbações*, são desvios accidentaes da agulha ou pequenas fluctuações muito deseguaes observadas simultaneamente n'uma grande extensão da superficie da terra, principalmente durante as *tempestades magneticas*, geralmente acompanhadas nas altas latitudes, de *auroras polares*.

488.—**Agulhas astaticas.**—Em varios instrumentos e para muitas experiencias de physica precisa-se uma agulha magnetica indifferente á acção terrestre. O meio mais commummente empregado para o conseguir consiste em associar a agulha com outra das mesmas dimensões, da mesma força magnetica e disposta em sentido contrario, fig. 229, isto é, de modo que os polos contrarios se correspondam na mesma linha vertical; porque assim a acção da terra sobre a segunda agulha annulla o effeito sobre a primeira. As duas agulhas dizem-se *astaticas*.

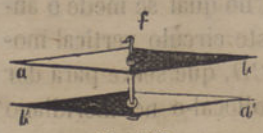


Fig. 229

Uma agulha movel em torno de um eixo collocado no plano do meridiano magnetico parallelamente á agulha de inclinação é *astatica*, porque a terra não póde dar-lhe movimento em volta d'aquelle eixo.

D'aqui passa-se a pag. 367 (§ 495 a § 496)

III—Acções reciprocas das correntes e dos imans. Theoria do magnetismo

(pag. 350)

489.—**Electro-magnetismo.**—Dá-se o nome de *electro-magnetismo* ao ramo da electricidade que trata das acções mutuas das correntes e dos ~~imans~~ magnetes.

A *experiencia fundamental* do electro-magnetismo é a experiencia de Œrsted descripta no numero seguinte, a qual prova o effeito magnetico das correntes.

490.—**Experiencia de Œrsted.—Regra de Ampère.**—Fazendo passar uma corrente por um fio de cobre collocado na direcção de uma agulha magnetica movel sobre um fulcro, veremos que a agulha se desvia crusando-se com a corrente. Esta notavel experiencia foi feita em 1819 por Œrsted.

O sentido do desvio depende do sentido da corrente e do lado por onde actua: verifica-se isso com o apparelho da fig. 230, que consta de um circuito de cobre, no centro do qual está uma agulha magnetica movel em torno de um eixo vertical; tres pequenas tinas *a*, *b* e *c* recebem mercurio em que se mergulham os reophoros da pilha. Conforme as tinas em que se mergulham assim a corrente se dirige do polo norte para o polo sul, ou d'este para aquelle pela parte superior ou inferior da agulha.

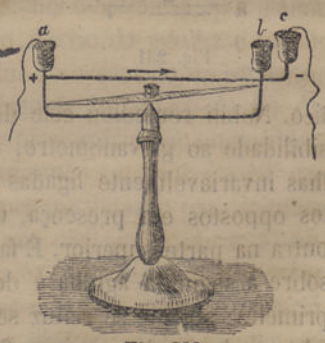


Fig. 230

Os effeitos que se observam foram compendiados por Ampère no enunciado seguinte: *imaginando um observador deitado no fio, voltado para a agulha e de modo que a corrente entrando pelos pés saía pela cabeça, reconhece-se que o polo norte se desvia sempre para a esquerda.*

491.—**Galvanometro.**—Denomina-se *galvanometro, multiplicador* ou *rheometro* um instrumento muito sensivel fundado na acção directriz das correntes sobre os imans, e que tem por fim verificar a existencia, o sentido e a intensidade das correntes. A theoria d'este instrumento é muito simples. Imaginemos que o fio conductor da corrente faz uma volta completa em torno da agulha sobre um quadro rectangular, fig. 231: caminhando a corrente no sentido da flecha e applicando a regra de Ampère a cada lado do rectangulo vê-se que todos 4 concorrem para desviar a agulha no mesmo sentido: se o fio fizer muitas voltas no quadro o effeito será multiplicado, e assim se produzirá um desvio apreciavel com uma corrente muito fraca. Comtudo devemos notar que a acção directriz da terra não deixa livre movimento á agulha; porque a chama sempre para o meridiano magne-

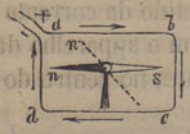


Fig. 231

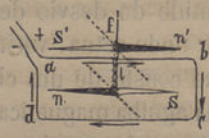


Fig. 232

tico. Nobili remediou este defeito, dando muito mais sensibilidade ao galvanometro, com o emprego de duas agulhas invariavelmente ligadas pela parte média, com os polos oppostos em presença, uma no interior do circuito e outra na parte superior. É facil ver que a acção da corrente sobre a segunda agulha é do mesmo sentido que sobre a primeira; porque se reduz sensivelmente ao effeito da parte *ab*, que é a mais proxima, fig. 232. As agulhas não devem

ter a mesma força, isto é, o systema não deve ser completamente *astatico* (488): porque então todas as correntes, fortes e fracas, produziriam o mesmo desvio de 90°.

O galvanometro que se costuma empregar nas experiencias delicadas tem a disposição da fig. 233. Consta de um quadro de madeira ou de metal, no qual está enrolado o fio de cobre coberto de seda, a fim de isolar umas voltas das outras. Da parte superior está suspenso a um fio de seda o systema das duas agulhas, uma das quaes fica no interior do quadro e a outra na parte exterior sobre um circulo graduado.

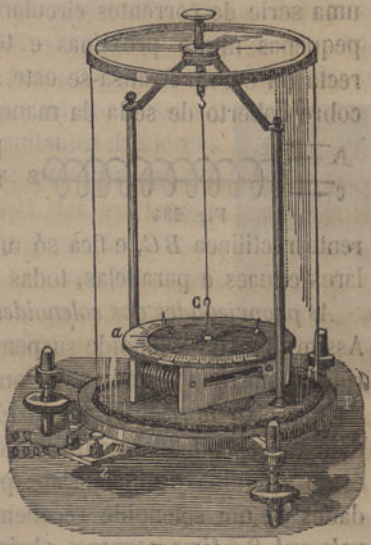


Fig. 233

Para determinar com este instrumento o sentido de uma corrente, dá-se-lhe a posição conveniente para que as agulhas fiquem na direcção das voltas do fio, que é a do diametro 0°–180° do mostrador, e fixam-se aos botões *c* e *z* os extremos do circuito onde passa o fluido electrico; observando o desvio da agulha e recorrendo á regra de Ampère conclue-se o sentido da corrente.

A experiencia e o calculo demonstram que o desvio da agulha do galvanometro não é proporcional á intensidade da corrente; comtudo para angulos não superiores a 20° reconhece-se sensivelmente a proporcionalidade: para angulos maiores empregam-se tabellas, que dão os valores da intensidade correspondentes aos desvios observados. (D'aqui a pag. 350)

492.—**Acções dos imans sobre as correntes.**—Na experiencia de Œrsted reconhece-se a acção directriz das correntes so-

bre os imans: esta acção, porém, é reciproca, isto é, sendo fixo o iman e movel a corrente esta cruza-se com aquelle, e de modo que o polo norte fique sempre á esquerda da corrente.

493.—**Solenoides.**—Ampère deu o nome de *solenoide* a uma serie de correntes circulares do mesmo sentido, muito pequenas muito proximas e todas normaes a uma linha recta ou curva. Realisa-se este systema enrolando um fio de cobre coberto de seda da maneira representada na fig. 234; porque o effeito da corrente sinuosa que vae de *A* para *B* annulla a acção da corrente rectilinea *BC*, e fica só uma serie de correntes circulares eguaes e parallelas, todas perpendiculares á linha *BC*.

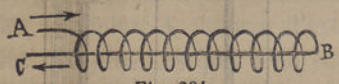


Fig. 234

As propriedades dos solenoides são identicas ás dos imans. Assim: 1.º Um solenoide suspenso livremente procura o meridiano magnetico onde estaciona; e sendo movel em torno de um eixo horisontal conduzido pelo seu centro de gravidade e perpendicularmente ao meridiano magnetico, dirige-se como a agulha de inclinação; por esse motivo as extremidades de um solenoide recebem os nomes de *polo norte* e *polo sul*. 2.º Uma corrente obriga o solenoide a cruzar-se ficando o polo norte á esquerda. 3.º A extremidade do solenoide que se dirige para o norte, isto é, o seu polo norte, repelle o polo norte de um iman, e attrae o polo sul. 4.º Finalmente, as extremidades dos solenoides exercem entre si as mesmas acções que os polos de dois imans.

494.—**Theoria de Ampère sobre o magnetismo.**—Sendo os effeitos dos imans identicos aos dos solenoides, podem explicar-se admittindo, como fez Ampère, que os imans são percorridos em toda a sua superficie por correntes circulares, que constituem muitos solenoides dispostos na direcção do eixo do iman.

Para explicar esta constituição dos imans Ampère admittiu que as moleculas do ferro, do aço, e, em geral, dos cor-

pos magneticos são envolvidas, no estado natural, por correntes, preexistentes em quaesquer planos, mas que se annullam, por haver sempre na mesma direcção o mesmo numero de correntes inversas; e que no estado magnetico essas correntes estão orientadas segundo o eixo da barra, constituindo varios solenoides, que pelas suas acções reciprocas se curvam um pouco divergindo a partir do eixo, como se vê na fig. 235. Os polos d'estes solenoides serão os extremos *a*, *b*; *c*, *d*, etc.; e os do iman os dois pontos de applicação das resultantes das forças exercidas pelos solenoides; por conseguinte ficarão a uma certa distancia das extremidades, tanto maior quanto mais grosso for o iman.

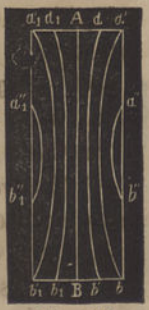


Fig. 235

A acção da terra sobre as correntes explica-se perfeitamente admittindo proximo do equador uma corrente dirigida de leste para oeste (470); e como aquella acção influencia em todos os pontos do globo, é preciso que a corrente seja fechada e envolva a terra. Ampère, na sua theoria electro-dynamica do magnetismo, admittiu a existencia de correntes electricas circulando continuamente em torno do globo, de leste para oeste, perpendicularmente ao meridiano magnetico.

(Passa-se a pag. 369)

IV — Processos de magnetisação. — Electro-imans

(pag. 363)

495. — Na theoria electro-dynamica do magnetismo a magnetisação não é mais do que um phenomeno de orientação das correntes moleculares pela acção mechanica das correntes exteriores. A *força coerciva* é por tanto a maior ou menor facilidade com que essas correntes moleculares podem

mudar de direcção: quer isto dizer, que no ferro macio as correntes são muito moveis, e no aço quasi fixas, ou pelo menos resistentes energicamente a toda a acção directriz.

A magnetisação faz-se por tres meios differentes; pela acção dos imans, pela acção da terra, e finalmente pelas correntes electricas. Trataremos apenas do primeiro e terceiro, que são os unicos praticos.

Qualquer que seja o processo empregado a magnetisação não póde exceder um certo limite, denominado o *ponto de saturação.*

496.—**Magnetisação pelos imans.**—A magnetisação com os imans póde fazer-se por *toque simples,* por *toque separado* e por *toque duplo.*

1.º *Magnetisação por toque simples.*—Consiste este processo em friccionar a barra com o polo de um iman desde um a outro extremo, sempre no mesmo sentido e muitas vezes successivas. Este processo é mau, porque origina *pontos consequentes* (473), e não é susceptivel de dar grande força ás barras.

2.º *Magnetisação por toque separado.*—Para empregar este processo começa-se por apoiar as extremidades da barra sobre os polos oppostos de dois fortes imans; depois collocam-se outros dois imans com os polos oppostos sobre a parte média da barra e fazendo com esta angulos de 25°; por ultimo fricciona-se a barra com estes ultimos imans desde a parte média até ás extremidades, e repete-se a operação bastantes vezes: é preciso que os polos que friccionam as metades da barra sejam do mesmo nome dos que estão em contacto com essas mesmas metades.

3.º *Magnetisação por toque duplo.*—Differe este processo do antecedente em que os imans friccionantes não se separam: apoiam-se os polos contrarios na parte média da barra, conservando-se a uma distancia fixa por meio de uma peça de madeira; depois fricciona-se com ambos do meio para um extremo, d'este para o outro, e assim successiva-

mente, de modo que as duas metades da barra recebam o mesmo numero de fricções. (Aqui passa-se a pag. 356, § 479)

497.—**Magnetisação pelas correntes.**—Para magnetisar com as correntes uma barra ou agulha introduz-se esta n'um tubo de vidro e enrola-se n'elle um fio por onde se faz passar uma corrente. O fio póde enrolar-se para a direita por cima, como em *D*, ou para a esquerda, como em *S*, fig. 236; no primeiro caso a helice diz-se *dextrorsum*, no segundo *sinistrorsum*. Com a primeira o polo norte é a extremidade de saida da corrente, com a segunda é a extremidade de entrada.

Se a helice não for enrolada uniformemente, se for em parte dextrorsum e em parte sinistrorsum, haverá varios polos em toda a extensão da barra magnetisada: são os *polos consequentes*, cuja formação se explica por este modo.

Fig. 236

498.—**Electro-imans.**—Empregando uma corrente intensa e magnetisando uma barra de aço, obtem-se um *iman* muito energico e persistente; porém, se a barra é de ferro macio, a magnetisação dura apenas em quanto passa a corrente, e desapparece tão depressa ella se interrompa. Os imans temporarios obtidos por esse modo, receberam o nome de *electro-imans* e tem mui util applicação.

Geralmente estes imans obteem-se enrolando um fio de cobre coberto de seda sobre uma barra de ferro macio dobrada em fórma de ferradura. Pondo os extremos do fio em contacto com os reophoros da pilha, reconhece-se que o electro-iman attrae com grande força uma armadura carregada com muitos kilogrammas: interrompendo a corrente a armadura é promptamente abandonada.

A força dos electro-imans depende das suas dimensões, da intensidade da corrente e do numero de voltas do fio, (passa-se ao § 13 do appendice) pag. 24)

V — Telegraphia electrica

(rad. 25 app.)

499.—Os *telegraphos electricos* são apparelhos que, por meio da electricidade, transmittem a grandes distancias noticias, avisos ou ordens, por signaes que correspondem ás lettras do alphabeto, á palavras ou a algarismos. Constituem uma applicação da grandissima velocidade da electricidade[1] e das propriedades dos electro-imans.

Os telegraphos electricos, antes de terem o caracter pratico e industrial, foram considerados, por muito tempo, como curiosidade de gabinete. Diz-se que o systema mais geralmente adoptado hoje data de 1831. A nossa primeira linha telegraphica foi a de Lisboa a Cintra, inaugurada aos 16 de setembro de 1854.

500.—**Partes de que consta um systema telegraphico.**—A transmissão telegraphica entre dois pontos exige que entre elles se possa á vontade fechar ou interromper um circuito produzindo signaes convencionaes. Para isso é necessario: 1.º um fio conductor que ligue os dois pontos, denominado *fio de linha*, ou simplesmente *linha;* 2.º uma pilha; 3.º um apparelho especial, que feche ou corte a corrente, para produzir os signaes na outra estação, denominado *manipulador* ou *transmissor;* 4.º outro apparelho, o *receptor*, destinado a receber n'esta ultima estação os signaes enviados pela primeira.

[1] As experiencias feitas em 1850 nos fios telegraphicos deram os seguintes valores para esta velocidade: 1.º Nos fios de ferro de $4^{mm},5$ de diametro, 101700 kilometros por segundo. 2.º Nos fios de cobre (metal melhor conductor) de $2^{mm},4$ de diametro, 177700 kilometros, isto é, pouco menos que metade da velocidade da luz (334).

Para que uma estação possa receber e transmittir despachos, precisa ter uma pilha, um receptor e um manipulador. As pilhas empregadas hoje entre nós são as de Minotto (455).

São accessorios, porém indispensaveis, uma *bussola*, um *despertador* e um *guarda-raios*.

501.—**Linhas telegraphicas.**—Os fios conductores da corrente são de ferro zincado, isto é, coberto de uma camada de zinco que evita a formação da ferrugem: postes de pinheiro collocados a diversas distancias sustentam os fios por intermedio de uns isoladores de porcellana, ligados aos mesmos postes.

Estas linhas assim dispostas dizem-se *aereas*, para as distinguir das *linhas subterraneas* e *submarinas*, que se empregam tambem ás vezes, as primeiras para evitar os accidentes a que estão expostas as linhas aereas, e as segundas para atravessar o mar e os rios. Tanto umas como outras devem ser revestidas de uma substancia bastante isoladora e além d'isso de uma armadura resistente.

Os ultimos *cabos submarinos* foram feitos com sete fios de cobre torcidos juntamente, cobertos de uma substancia isoladora de composição especial e protegidos afinal com uma armadura de fios de ferro.

Para fechar o circuito entre duas estações não são precisos dois fios, um do manipulador de uma estação ao receptor da outra, e outro d'este áquelle: Steinheil demonstrou em 1837, que a terra substitue um d'estes fios, com tanto que se ponham em perfeita communicação com ella o polo negativo da pilha na estação de partida e o extremo da linha na estação de chegada.

502.—**Diversos apparelhos telegraphicos.**—Os telegraphos electricos podem classificar-se da maneira seguinte:

1.º *Telegraphos de agulhas* nos quaes se obteem os signaes por desvios de agulhas magneticas submettidas á acção directa das correntes, que circulam na linha: este systema é usado principalmente na Inglaterra.

2.º *Telegraphos de mostrador*, nos quaes a corrente da linha actua sobre um electro-iman, que regula o movimento de um ponteiro.

3.º *Telegraphos escreventes*. Em alguns d'estes o despacho é impresso por uma alavanca cujo movimento se regula com um electro-iman submettido á acção da corrente da linha: n'outros os signaes são impressos pela propria corrente, que actua pelas suas propriedades electrolyticas.

4.º *Telegraphos autographicos*, que reproduzem qualquer fac-simile.

Os apparelhos exclusivamente empregados entre nós, e mais geralmente usados em França, são o *telegrapho de mostrador de Breguet*, e o *telegrapho escrevente de Morse*.

503.—**Telegraphos de mostrador.—Apparelho de demonstração.**—Nos cursos emprega-se um pequeno *apparelho de demonstração*, cujo manipulador é uma roda horisontal com as lettras do alphabeto, movel em torno de um eixo, que tem a disposição propria para interromper ou estabelecer a corrente, por cada lettra que avança; este movimento é dado por uma alavanca que se colloca sobre a lettra que se quer transmittir. A corrente dirige-se ao receptor, passa n'um electro-iman, cuja armadura está presa na extremidade de uma alavanca interfixa e é afastada d'elle por uma mola. D'este modo a armadura tem movimento de oscillação, quando se fecha ou interrompe a corrente no manipulador: a oscillação é communicada a um escapo de ancora em que termina a alavanca, e faz girar sempre no mesmo sentido uma roda dentada, cujo eixo tem um ponteiro, movel sobre um circulo graduado vertical, em cuja circumferencia estão as lettras do alphabeto.

Este systema não poderia ser empregado em grandes distancias, porque a corrente não teria força sufficiente para mover o ponteiro, por intermedio da armadura, da alavanca e da roda dentada. Wheatstone venceu a difficuldade fazendo com que o receptor não fosse movido pela electrici-

dade, mas sim por um systema de relojoaria, regulado pela corrente. Esta idéa foi applicada por Breguet aos telegraphos usados quasi exclusivamente pelas administrações dos caminhos de ferro.

504.—**Telegrapho de mostrador de Breguet.**—O manipulador, fig. 237, consta essencialmente: 1.º de um prato circular

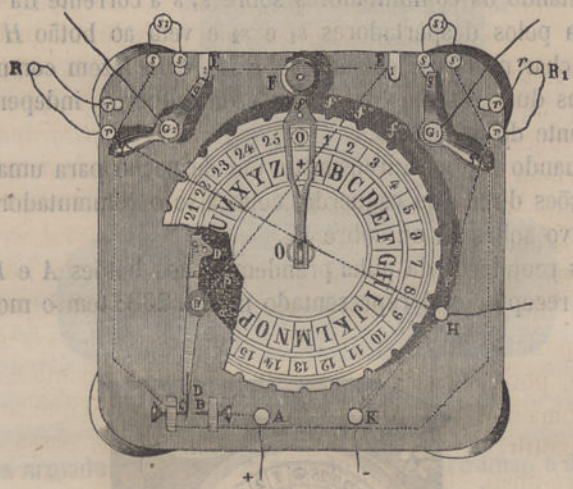


Fig. 237

fixo, sobre o qual estão em duas circumferencias concentricas os signaes +, *A*, *B*...*Z*, na interior, e 0, 1...25, na exterior; por conseguinte estão ambas divididas em 26 partes, a que correspondem outros tantos chanfros da parte exterior do prato; 2.º de uma alavanca *OF* movel em torno do centro e munida de uma abertura para deixar ver os signaes: com esta alavanca move-se uma roda metallica com treze depressões e treze elevações, a qual faz oscillar a alavanca *D D'D''* entre os botões *B* e *C*, apoiando-se, por cada revolução completa de *OF*, treze vezes sobre *B* e outras treze sobre *C*. O eixo *D'* está em communicação com a la-

mina metallica E_1 e esta com E_2: duas alavancas gg', com os braços de madeira g', g', podem girar em torno dos eixos G_1 e G_2, de modo a encostar os braços metallicos g, g sobre E, s ou r da *linha* 1 da direita, ou da *linha* 2 da esquerda. Os fios d'estas linhas communicam com os eixos G_1 e G_2. Estas alavancas denominam-se *commutadores* porque mudam o sentido das correntes.

Estando os commutadores sobre s, s a corrente da linha passa pelos despertadores s_1 e s_2 e vem ao botão H para se fechar na terra: estando sobre E_1 e E_2 fazem communicar as duas estações da direita e da esquerda, independentemente do apparelho.

Quando se quer transmittir um despacho para uma das estações direita ou esquerda, colloca-se o commutador respectivo sobre E_1 ou sobre E_2.

Os reophoros da pilha prendem-se aos botões A e K.

O receptor está representado na fig. 238: tem o mostra-

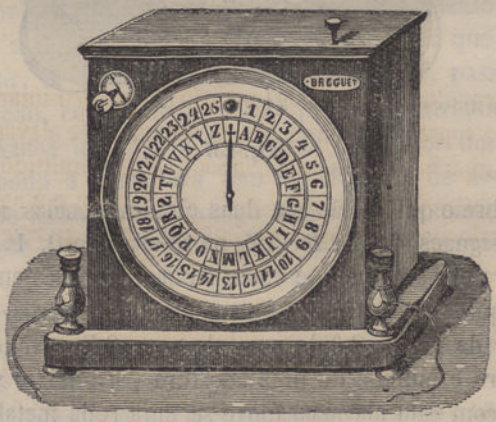


Fig. 238

dor com todos os signaes do manipulador, e um ponteiro que segue sebre elle os movimentos da alavanca OF; o me-

chanismo está occulto n'uma caixa de madeira. A fig. 239 representa o interior visto pela face opposta ao mostrador, mas sem o electro-iman que fica em frente da armadura *A*.

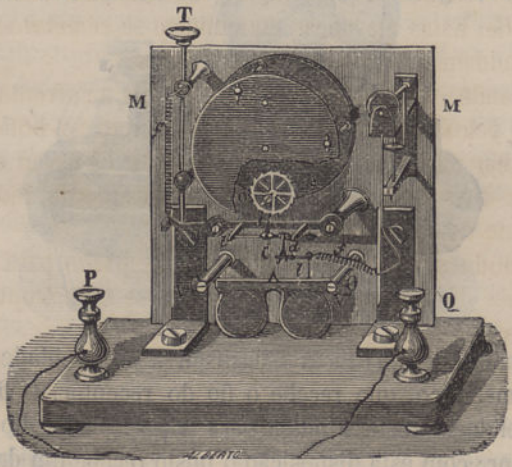


Fig. 239

Esta armadura oscilla sob a acção do electro-iman e de uma mola, e repete por tanto os movimentos da alavanca *DD'D'*, do manipulador; o seu movimento é transmittido á haste *i*, por intermedio da haste *l* e da alavanca *c*; e é aquella haste que, indo de encontro aos dentes da roda *o*, retem o systema de relojoaria contido entre os dois discos.

A roda dentada *o* é dupla: é formada de duas rodas eguaes cada uma com 13 dentes, sobrepostas de modo que os dentes de uma correspondem aos intervallos dos da outra. O ponteiro do mostrador está ligado a esta roda e move-se com ella.

A fig. 239 apresenta um pequeno mostrador, destinado a regular a força da mola da armadura *A*, e mostra a extremidade da haste *T*, que serve para dar movimento á roda

o, independente da corrente, a fim de regular a posição do ponteiro, e de o levar ao zero no fim do despacho.

505.—**Telegrapho de Morse.**—O manipulador d'este telegrapho é o mais simples possivel: consta de uma alavanca metallica *ab*, fig. 240, movel em torno de um eixo horisontal

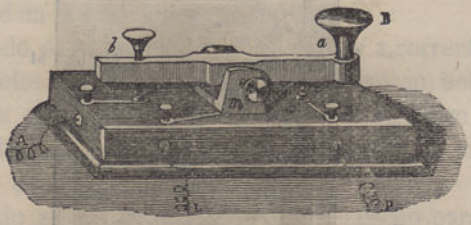


Fig. 240

e obrigada por uma mola a encostar a extremidade *b* a um botão metallico, que recebe o fio do receptor. O fio da linha prende-se em *L* e passa para *A* por intermedio do manipulador; com esta disposição o posto recebe um despacho.

Querendo transmittir apoia-se uma das mãos sobre o botão *B* obrigando a estabelecer o contacto com o botão *x*, que communica com a pilha do posto *P*. D'este modo, a corrente d'esta pilha passa no fio *L* da linha e vae fazer trabalhar o receptor da estação a que se envia o despacho.

O receptor consta de um electro-iman *E*, fig. 241, que attrae a alavanca *AB*, quando a corrente passa e a abandona á acção da mola *r*, quando a corrente é interrompida, o que tem logar aliviando a pressão do botão *B* do manipulador.

Na extremidade *B* da alavanca está um estilete metallico, que exerce pressão sobre uma tira de papel *F*, obrigada a passar entre dois cylindros movidos por um systema de relojoaria *R*. A impressão que fica sobre o papel é um ponto ou um traço, conforme a pressão exercida no manipulador é instantanea ou dura algum tempo. A combinação dos pontos e traços constitue o alphabeto de Morse.

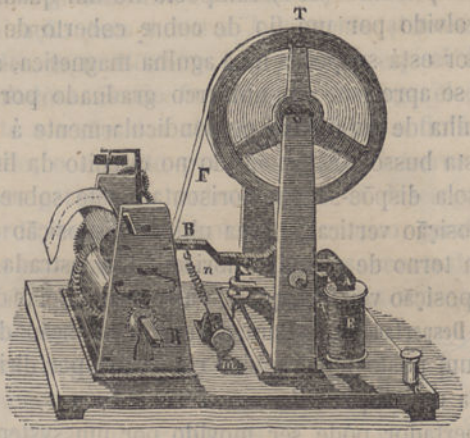


Fig. 241

Para que estes signaes sejam bem distinctos é preciso que o electro-iman attraia com bastante força a alavanca *A B*, e como a corrente da estação que expede tem sido muito enfraquecida pelo longo trajecto que foi obrigada a percorrer, recorre-se a um artificio que tem por fim empregar no serviço do apparelho uma pilha local. Com esse intuito a corrente da linha não vem ao receptor, mas vae a um electro-iman auxiliar, que fecha o circuito d'aquella pilha, e no qual está introduzido o receptor.

O apparelho descripto é de ponta secca; porém tem sido modificado, addicionando-lhe tinteiro e tira-linhas. Entre nós emprega-se o apparelho aperfeiçoado pelo sr. Hermann, no qual a alavanca do electro-iman encosta a fita de papel a um tinteiro terminado em canal conico muito estreito. (D'aqui para-se a pag. 381)

506.—**Bussolas.**—Em todos os postos telegraphicos se empregam bussolas com o fim de indicarem a passagem da corrente, a direcção e quaesquer alterações na sua intensidade.

A bussola simples, mais geralmente empregada, é um pequeno *multiplicador* (491) composto de um quadro de madeira envolvido por um fio de cobre coberto de seda; no seu interior está suspensa uma agulha magnetica, cujos movimentos se apreciam em um arco graduado por meio de outra agulha de cobre fixa perpendicularmente á primeira. O fio d'esta bussola está mettido no circuito da linha.

A bussola dispõe-se ora horisontalmente sobre a meza, ora em posição vertical; n'esta ultima disposição a agulha, movel em torno de um eixo horisontal, é lastrada para que retome a posição vertical, quando a corrente deixe de passar.

507.—**Despertadores.**—Para chamar a attenção do empregado de um posto telegraphico começa-se por dirigir a corrente para um *despertador*.

O despertador póde ser movido por um systema de relojoaria, que a corrente apenas ponha em acção; ou póde ser uma simples *campainha electrica* movida pela mesma corrente.

O despertador d'este ultimo systema consta de um electro-iman em fórma de ferradura no qual passa a corrente quando a armadura está afastada d'elle por meio de uma mola. Esta armadura sendo então attraida percute um timbre metallico, ao mesmo tempo que corta a corrente; porém cedendo á acção de mola é desviada, torna a fechar o circuito, por conseguinte é novamente attraida produzindo outro som, e assim successivamente em quanto o empregado competente não desvia a corrente da linha por meio do commutador, de que fallámos no num. 504.

508.—**Guarda-raios.**—A electricidade atmospherica produz effeitos desastrosos sobre os telegraphos electricos; póde fundir os fios dos electro-imans, interrompendo o serviço; póde offender o pessoal, etc. Evitam-se esses inconvenientes introduzindo no circuito da linha um pequeno apparelho, denominado *guarda-raios*, que dá prompta saida á electricidade para a terra por meio de duas chapas metallicas

com pontas, collocadas uma a pequena distancia da outra, e estando a primeira no circuito da linha e a segunda em communicação com a terra. A corrente atravessa tambem um fio de aço muito fino enrolado em espiral sobre uma haste isoladora. Sendo fortissima a descarga electrica e insufficiente a acção das chapas metallicas o fio é fundido e volatilisado, o circuito por conseguinte interrompido e os apparelhos garantidos contra a acção da descarga.

O guarda raios mais simples e economico, geralmente empregados entre nós e em outros paizes, consta de duas chapas metallicas *a* e *b*, fig. 242, collocadas uma sobre a outra, porém isoladas entre si por uma folha de papel *p*: a chapa *a* communica com a terra, e a chapa *b* com a linha e com os apparelhos. D'este modo quando a descarga atmospherica é muito energica a electricidade passa através do papel para a terra; sendo pouco intensa apenas produz pequenissimos furos na folha de papel, sem se perder o isolamento; sendo insignificante ou nulla, o apparelho funcciona como um *condensador*, porque ha uma pequena condensação electrica na chapa superior.

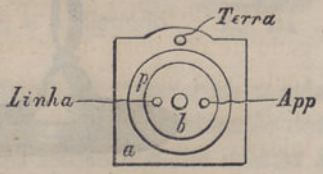


Fig. 242

VI — Correntes e pilhas thermo-electricas

(Nº 351)

509. — Correntes thermo-electricas. — Experiencia de Seebeck. — Já vimos (416) que o calor communica as propriedades electricas a certos crystaes: Seebeck, em 1821, demonstrou que o movimento do calor n'um circuito metallico póde dar origem a correntes electricas, as quaes por esse motivo receberam a denominação de *thermo-electricas*. Como a exis-

tencia d'estas correntes se revela principalmente pelos seus effeitos magneticos, só n'este logar podemos fazer o estudo d'ellas.

A experiencia de Seebeck faz-se com o apparelho da fig. 243. É um circuito formado por uma lamina de cobre *mn*,

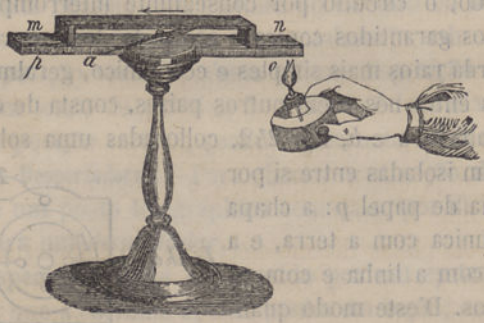


Fig. 243

cujos extremos são recurvados e soldados a uma lamina de bismutho *op*, tendo no interior uma agulha magnetica movel sobre um fulcro.

Dispondo o circuito no plano do meridiano magnetico, e aquecendo ou resfriando uma das soldaduras, a agulha desvia-se, demonstrando a existencia de uma corrente da parte quente para a parte fria no cobre.

Todos os metaes em contacto produzem a mesma acção, com differença na intensidade, a qual é maxima entre o bismutho e o antimonio.

510.—**Pilha thermo-electrica.**—Multiplicando o numero de soldaduras dos dois metaes, e aquecendo só as pares ou as impares, consegue-se accumular as tensões thermo-electricas, constituindo assim uma *pilha thermo-electrica*.

A pilha de uso mais commodo é a de Nobili, fig. 244. Consta de muitas series de pares thermo-electricos dispostas em planos parallelos, estando o ultimo bismutho da primeira

= Em geral, denomina-se inducção a acção que faz desenvolver electricidade nos corpos a distancia: se a electricidade produzida é estatica, a inducção diz-se electro=estatica, se é dynamica diz-se electro=dynamica, e para ella se reserva particularmente a denominação de inducção.

soldado ao primeiro antimonio da segunda, e assim successivamente: em cada serie as soldaduras pares ficam de um lado e as impares do lado opposto: de modo que estabelecendo uma differença de temperatura entre as duas faces da pilha, as correntes sobrepõem-se adquirindo intensidade sufficiente para desviarem a agulha do galvanometro, não obstante cada uma ser de per si muitissimo fraca. Os extremos do fio do galvanometro ligam-se aos botões *m* e *n*; o primeiro dos quaes communica com o primeiro antimonio, e o segundo com o ultimo bismutho.

Fig. 244

511.—As pilhas thermo-electricas são caracterisadas pela fraca resistencia que oppõem interiormente á combinação dos fluidos contrarios; por isso a sua tensão é muito inferior á das pilhas hydro-electricas, e os seus effeitos pouco apreciaveis. (Remeta-se ao § 8 do Appendice, pag. 19)

VII—Inducção

(pag. 377)

512.—**Correntes de inducção.**—Denominam-se *correntes de inducção* ou *correntes induzidas*, as correntes desenvolvidas nos conductores metallicos pela influencia das correntes voltaicas e dos imans.

Demonstra-se a inducção pelas correntes com uma *bobine de dois fios*, que é um cylindro de cartão ou de madeira, no qual estão enrolados dois fios, um grosso e outro muito fino, e cujos extremos estão ligados a botões metallicos: o fio mais grosso recebe a corrente de uma pilha e denomina-se *fio inductor;* o outro, denominado *fio induzido*, põe-se em communicação com um galvanometro. No momento de fechar o circuito inductor nota-se no galvanometro uma corrente em sentido contrario, a qual cessa immediatamente: interrompendo o circuito reconhece-se a existencia de uma corrente do mesmo sentido da corrente inductora, e tambem instantanea. Assim: *quando uma corrente voltaica principia ou*

cessa em um conductor, desenvolvem-se por influencia nos conductores proximos correntes instantaneas, inversas ou directas.

Demonstra-se a inducção pelos imans aproximando ou afastando um forte iman de uma bobine de um só fio posto em communicação com um galvanometro: no primeiro caso desenvolve-se uma corrente induzida inversa, e no segundo directa a respeito da corrente, que se imagina no iman considerado como um solenoide.

Na occasião de fechar e de interromper o circuito de uma pilha desenvolvem-se tambem correntes de inducção no proprio fio, inversas no primeiro caso e directas no segundo; as primeiras enfraquecem por conseguinte a corrente principal, em quanto que as ultimas augmentam-lhe a intensidade. Estas correntes induzidas denominam-se *extra-correntes.*

513.—Machina de inducção de Ruhmkorff.—Teem sido construidas diversas machinas com o fim de aproveitar as correntes de inducção; n'umas a inducção provém das pilhas; n'outras dos imans. Como exemplo das primeiras vamos descrever a *machina de Ruhmkorff,* uma das mais energicas e das mais conhecidas.

Esta machina, fig. 245, é propriamente uma *bobine* de dois fios enro-

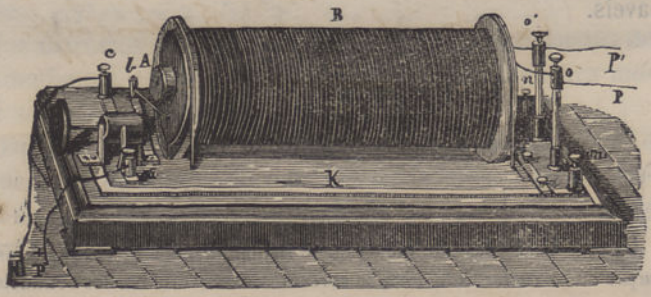


Fig. 245

lados um sobre o outro, sendo o primeiro curto e grosso e o segundo muito comprido e fino: aquelle é o inductor, porque recebe a corrente de uma pilha; este é o induzido, porque n'elle se desenvolvem as correntes de inducção. Os fios devem estar completamente isolados um do outro; para isso o primeiro é encerrado n'um cylindro de vidro ou de cautchuc endurecido. Os fios são de arame de cobre coberto de seda, e as suas voltas isoladas com gomma laca: dois discos de vidro apertam a bobine e conservam os fios isolados.

Inducção

— Dá-se a inducção:

1.º — quando o circuito inductor se approxima ou se affasta do induzido.

Ex.: Machinas de Gramme, etc.

2.º — quando a corrente inductora augmenta ou diminue d'intensidade.

Ex.: Telephonio de Bell, etc.

3.º — quando o circuito inductor se fecha ou se interrompe.

Ex.: Machina de Ruhmkorff.

Como as correntes de inducção só se desenvolvem quando a corrente inductora começa ou acaba, os apparelhos de inducção electro-voltaicos teem todos uma peça importante, denominada *interruptor*, que serve para interromper constantemente aquella corrente. Nos apparelhos ordinarios de Ruhmkorff o interruptor é formado por um feixe de fios de ferro macio *A* introduzido no eixo da bobine, e por uma peça tambem de ferro macio *o*, fig. 246, denominada *martello*, que uma mola leva de encontro á pequena columna metallica *h*, denominada *bigorna*.

A corrente da pilha, entra pelo fio *P*, fig. 245, passa por um botão e mola metallica para um cylindro de madeira com duas chapas metallicas isóladas uma da outra, mas em communicação com as extremidades de um eixo de rotação. Este cylindro é interruptor e ao mesmo tempo commutador. Se a mola está em contacto com a madeira ha interrupção: porém estando em contacto com uma das chapas a corrente passa para o botão *b*, por ex. ao qual está ligado um dos extremos do fio inductor. A corrente, depois de percorrer este fio sae em *s* fig. 246, sóbe pela columna

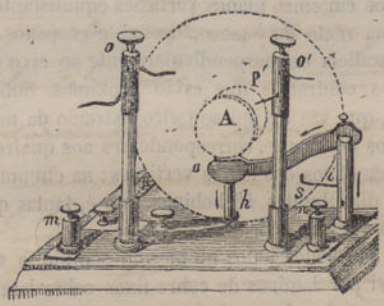


Fig. 246

i, passa para o martello *a*, desce para a bigorna *h* e depois passa para uma fita de cobre *K*, fig. 245, que communica com o reophoro negativo da pilha *N*, por intermedio do commutador, de uma segunda mola e do botão *c*. Fazendo girar o commutador de 180° é claro que a corrente inductora segue o caminho inverso. Uma pequena mola obriga o martello a assentar sobre a bigorna; porém, quando se fecha o circuito, o feixe de fios de ferro *A* magnetisa-se e attrae o martello, interrompendo a corrente: basta isto para se desmagnetisar o feixe e para o martello retomar a posição primitiva; por conseguinte, para restabelecer de novo a corrente, e assim successivamente.

As extra-correntes directas, que se desenvolvem quando se interrompe

a corrente inductora, prolongam a duração d'esta corrente e augmentam a faisca produzida entre o martello e a bigorna. Fizeau fez diminuir este inconveniente dispondo na base do apparelho um grande condensador, formado de laminas de estanho separadas por uma de tafetá, e communicando as duas armaduras com o martello e a bigorna por intermedio dos botões *m* e *n*. D'este modo a electricidade da extra-corrente espalha-se nas armaduras do condensador, e, quando os fluidos teem adquirido tensão sufficiente, combinam-se através da bobine e da pilha em corrente inversa, que abrevia por conseguinte a duração da corrente inductora, fazendo desapparecer os inconvenientes apontados.

507.—**Machina Alliança.**—Como exemplo das machinas em que a inducção é produzida pelos imans descrevemos a *machina Alliança*, por ser a empregada na illuminação electrica dos pharoes. Esta machina, conhecida pelo nome da companhia franceza que a mandou construir, foi imaginada por Nollet como applicação do principio das machinas magneto-electricas.

Consta, fig. 247, de 40 feixes magneticos *A*, *A* com a fórma de ferradura, distribuidos em cinco planos verticaes equidistantes sobre as arestas de um prisma recto de base octogonal, e grupados de maneira que considerados parallela ou perpendicularmente ao eixo da machina, são sempre os polos contrarios que estão proximos. Sobre o eixo horisontal de ferro, que vae de um ao outro extremo da machina, estão fixos quatro discos de bronze, correspondentes aos quatro intervallos entre os feixes magneticos das series verticaes; na circumferencia de cada disco acham-se distribuidas 16 bobines, isto é, tantas quantos os polos magneticos n'uma serie vertical de feixes.

Os fios estão enrolados todos no mesmo sentido, e as bobines communicam entre si por laminas de cobre fixas sobre laminas de madeira collocadas nas faces dos discos de bronze: os extremos dos fios da primeira e ultima bobine communicam com os extremos do eixo de rotação.

D'este modo as bobines estão dispostas como os elementos de uma pilha montada em serie; por isso obtem-se electricidade de *tensão:* querendo electricidade em *quantidade* fazem-se communicar todos os polos do mesmo nome com um annel metallico, os de nome de contrario com outro annel.

Uma machina de vapor de alta pressão transmitte o movimento, por intermedio de uma correia sem fim, ao eixo da machina, e, por conseguinte, as bobines vão passar em frente dos feixes magneticos, desenvolvendo-se em cada uma correntes, que durante uma rotação completa são oito vezes n'um sentido e oito vezes em sentido contrario; e como todas as 64 bobines estão enroladas no mesmo sentido e communicam entre si, os seus effeitos sobrepõem-se.

— Effeitos principaes da bobina de Ruhmkorff. —

Os effeitos da bobina de Ruhmkorff são, assim como os dos condensadores e das pilhas, physiologicos, physicos, chimicos e mechanicos; porém a sua energia depende das circumstancias particulares ás correntes d'inducção.

Assim, no fio induzido caminham correntes directas sempre que se interrompe o circuito inductor, e inversas quando elle se fecha; umas e outras têm a mesma quantidade de electricidade, a qual é proporcional á intensidade da corrente induzida e ao tempo durante o qual se desenvolve; mas as primeiras são mais intensas, porque duram menos tempo em consequencia da extra-corrente, e são as unicas aproveitadas, quando a resistencia a vencer é bastante grande, como acontece interpondo no circuito induzido uma camada d'ar de conveniente espessura. Assim, estando fechado o fio induzido, passam n'elle as correntes directas e inversas; porém, estando interrompido em distancia sufficiente, apenas vencem esta distancia as correntes directas, mais intensas e menos duradouras, como dissemos; de sorte que cada uma das extremidades do fio indu

zido da electricidade positiva e a outra a negativa, constituindo pois os dois polos da bobine.

Trataremos apenas dos effeitos physiologicos e dos physicos, por serem os mais importantes, e que têm mais applicação.

I.— Effeitos physiologicos. — Os effeitos physiologicos das correntes d'inducção têm tão grande intensidade, que embeam os da descarga electrica. As commoções da bobine de Ruhmkorff são perigosissimas; basta tocar com um dedo o fio indozido, quando o apparelho funcciona, para receber um violento choque, ainda mesmo estando o fio coberto de seda.

Têm-se construido apparelhos d'inducção especialmente destinados para produzir commoções, que a medicina utiliza hoje no tratamento de varias enfermidades. E' mais commodo porém e mais geral o emprego das machinas magneto-electricas.—

II — Effeitos physicos = Os principaes effeitos physicos das correntes são calorificos e luminosos.

Effeitos calorificos — Os calorificos não differem dos das outras correntes: os fios metallicos muito finos tornam-se rubros e podem volatizar-se: o ether inflamma-se com a faisca d'inducção, e o mesmo acontece ás substancias explosivas como a polvora, o fulminato de mercurio, etc. Utiliza-se hoje esta propriedade para communicar o fogo ás minas. —

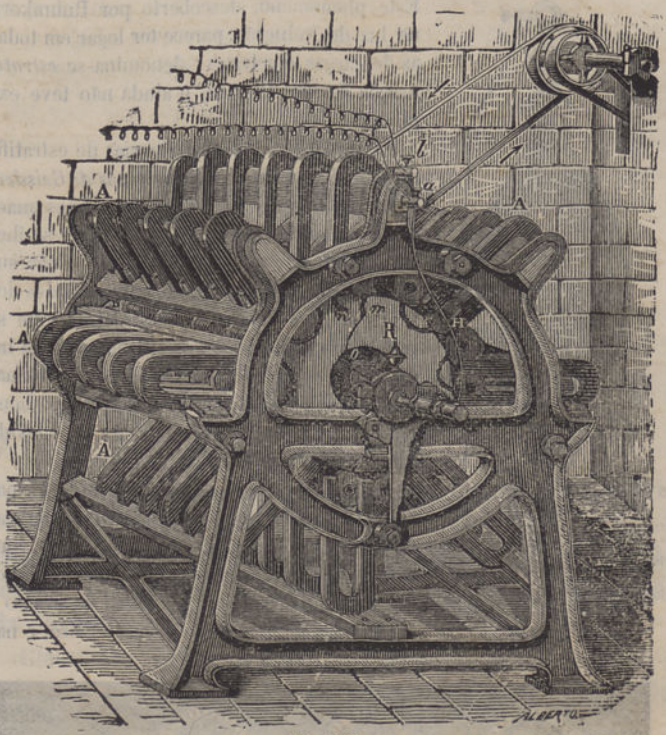


Fig. 247

Dirigindo as correntes através de um commutador faz-se que sejam sempre do mesmo sentido.

508.—Effeitos das correntes de inducção.—As correntes de inducção, apesar de instantaneas, possuem todas as propriedades das correntes voltaicas ordinarias. Os seus effeitos physiologicos são porém muito mais intensos e comparaveis aos da electricidade de tensão: teem-se construido apparelhos de inducção especialmente destinados para produzir commoções, que a medicina utilisa hoje no tratamento de varias enfermidades. = Effeitos luminosos

509.—Estratificação da luz electrica.—Tubos de Geissler.—Fazendo a experiencia da luz de inducção no ovo electrico, tendo-lhe feito o vacuo e introduzindo depois vapores de alcool, de ether, de therebentina, etc., reconhece-se que a luz se apresenta dividida e interrompida por traços curvos e obscuros, perpendiculares ao eixo do arco, fig. 248, Os effeitos luminosos variam com a pressão. (na razão inversa)

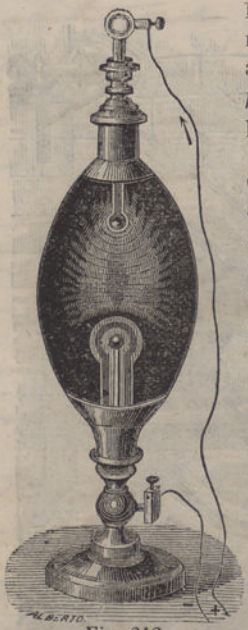


Fig. 248

Este phenomeno, descoberto por Ruhmkorff na luz de inducção, parece ter logar em todas as descargas electricas: denomina-se *estratificação da luz electrica*, e ainda não teve explicação.

Fazem-se curiosas experiencias de estratificação da luz electrica com os *tubos de Geissler*, a que se dá fórmas muito variadas, e nos quaes se faz o vacuo barometrico introduzindo-se-lhes depois um gaz ou vapor em pressão não superior a um millimetro: nas extremidades dos tubos estão soldados fios de platina, que se põem em contacto com os extremos do fio induzido. O aspecto do tubo varia com a sua natureza e dimensões, com a perfeição do vacuo e a natureza do gaz ou vapor. As paredes do tubo apresentam luz phosphorescente.

A fig. 249 representa dois tubos de fórmas muito diversas: o primeiro, formado de varias espheras ligadas por tubos estreitos, contém hydrogenio na pressão de meio millimetro; sendo as espheras de vidro de uranio a sua luz phosphorescente é verde claro, e nas

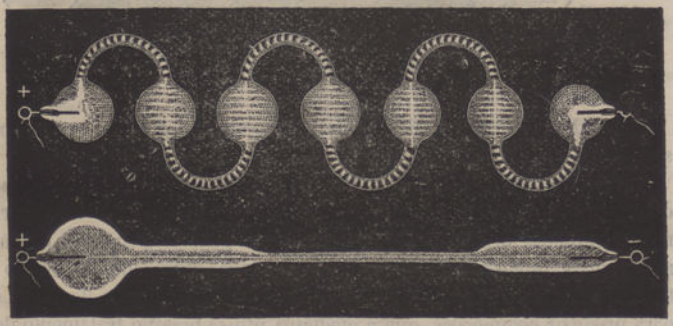


Fig. 249

partes estreitas do tubo a luz é encarnada. O segundo tubo tem a fórma propria para elle ser applicado ao espectroscopio (394) e se poder analysar a sua luz: é quasi capillar na parte média, a qual se aproxima da fenda d'aquelle instrumento.

(Daqui passa-se a pag. 26 do App.)

CAPITULO XIV

NOÇÕES DE METEOROLOGIA E CLIMATOLOGIA

I — Meteoros aereos

510.—**Meteoros.**—**Meteorologia.**— Denominam-se *meteoros* os phenomenos que se produzem na atmosphera e para que ella contribue: e *meteorologia* a sciencia que estuda os meteoros: esta sciencia tem sido considerada como uma parte da physica.

Classificam-se os meteoros em *aereos, aquosos, electricos* e *luminosos:* d'estes ultimos o principal é o *arco-iris*, de que já tratámos.

511.—**Meteoros aereos.**—Os *meteoros aereos* são os phenomenos atmosphericos dependentes do movimento do ar. Conforme este movimento é mais ou menos rapido, e acompanhado de outros phenomenos, como *chuva, neve, trovões,* assim recebe os nomes de *vento, tufão, tromba* e *cyclone.*

512.—**Vento: suas causas.**—**Ventos de aspiração e de insufflação.** —O *vento* é o ar em movimento sensivel. Tudo o que produz desequilibrio apreciavel na atmosphera é *causa de vento.* Consideram-se principalmente duas causas: a desegual destribuição do calor na superficie da terra, e a reducção rapida de uma grande massa de vapor d'agua a chuva.

Para perceber como a primeira causa produz vento, basta notar que, no logar mais aquecido pelos raios do sol, o ar

recebe mais calor pelo contacto com o solo e com os corpos que estão n'esse logar, dilata-se, torna-se menos denso e eleva-se; o ar que está sobre os logares contiguos, precipita-se n'aquelle e produz *vento*, e o mesmo acontece nos logares seguintes, em consequencia do desequilibrio produzido pela rarefacção das camadas do ar. Este vento sopra por tanto na direcção contraria áquella em que se propaga e denomina-se *vento de aspiração*. O ar dilatado, que chega á parte superior, espalha-se para os lados e produz outro vento, em direcção contraria ao primeiro, e que sopra na direcção em que se propaga: esta especie de vento tem o nome de *vento de insufflação*.

Vê-se pois que, em geral, quando ha vento, ha duas correntes em direcções contrarias; uma junto á terra, e outra mais elevada.

Uma experiencia muito simples comprova o que fica dito. Façam-se communicar duas casas, uma quente e outra fria, por uma porta, no vão da qual se tenham previamente collocado duas vélas accesas, uma no limiar e outra junto á verga: a chamma d'esta ultima vela inclina-se para a casa fria e indica, par tanto, vento da casa quente para aquella; a chamma da vela inferior inclina-se para a casa quente e denuncia vento de aspiração da casa fria para a quente.

Outra causa do vento é a producção rapida e passageira de uma grande quantidade de chuva. Percebe-se bem a razão d'isto, advertindo, que a pressão atmospherica é a somma da tensão do ar e da força elastica do vapor d'agua que com elle existe sempre misturado. Se este vapor desapparece repentinamente, por se reduzir a chuva, ha grande diminuição de pressão no logar onde ella se formou, e por tanto desequilibrio na atmosphera, isto é, vento.

513.—Direcção dos ventos.—Rosa dos ventos.—Representa-se a direcção dos ventos e ao mesmo tempo denominam-se estes pelos quatro pontos cardeaes *norte* (N), *sul* (S), *leste* (E), *oeste* (O), os quaes combinados dois a dois

dão as direcções intermedias *nordeste* (NE), *sueste* (SE), *noroeste* (NO), *sudoeste* (SO); estas oito combinadas duas a duas, tendo o cuidado de pôr sempre em primeiro logar o nome da direcção principal, dão as outras direcções intermedias, a saber: *nor-nordeste* (NNE), *es-nordeste* (ENE), *es-sueste* (ESE), *su-sueste* (SSE), *su-sudoeste* (SSO), *oes-sudoeste* (OSO), *oes-noroeste* (ONO), *nor-noroeste* (NNO).

Além d'estas 16 direcções ou *rumos*, consideram-se mais outras 16; todas se representam por outros tantos diametros de uma figura circular denominada *rosa dos ventos*, fig. 250.

Fig. 250

Denominam-se os 16 rumos indicados na figura por pontos pelos oito principaes, collocando em primeiro logar o mais proximo, e depois o mais afastado precedido da fracção $^1/_4$. Assim para designar a direcção comprehendida entre N e NNE, emprega-se a expressão N$^1/_4$NE que quer dizer *norte quarto nordeste*, e a direcção seguinte, comprehendida entre NNE e NE representa-se NE$^1/_4$N, *nordeste quarto norte*, e assim as outras.

Quando se quer maior precisão representam-se os rumos por graus: assim N.15°E é o rumo que fica a 15° do norte para leste.

514.—**Determinação da direcção dos ventos.—Cataventos.**—A direcção das correntes atmosphericas elevadas póde conhecer-se pelo movimento das nuvens: a direcção dos ventos que sopram á superficie da terra determina-se geralmente com os *cataventos*. O catavento ordinario é formado por uma haste vertical movel em torno do seu eixo, á qual está fixa superiormente uma lamina metallica e inferiormente no plano d'esta um ponteiro, que indica o rumo do vento sobre um mostrador horisontal.

Ás vezes no campo ou em viagem determina-se a direcção do vento levantando verticalmente um dedo molhado: sente-se frio do lado d'onde sopra o vento, porque d'esse lado a evaporação é activada.

515.—**Velocidade e força dos ventos.—Anemometros.**—A *velocidade* do vento é o numero de kilometros que percorre em uma hora: a sua *força*, funcção da velocidade, é a pressão, em kilogrammas, sobre a superficie plana de um metro quadrado, que se oppõe á sua propagação.

A formula $F=0{,}0095\ V^2$, que nós propozemos[1], serve para se passar da velocidade para a força, e vice-versa.

Denominam-se *anemometros* os instrumentos que medem a velocidade ou a força do vento.

A fig. 251 representa o anemometro de Robinson, aperfeiçoado por Casella, e empregado nos nossos postos meteorologicos; elle dá a velocidade total no fim de determinado periodo de tempo. Consta de quatro meias espheras ôcas ligadas a quatro braços horisontaes, dispostas, cada uma com a convexidade voltada para a concavidade da outra, a fim de que o eixo gire sempre no mesmo sentido, qualquer que seja a direcção do vento. A velocidade

[1] Veja-se o nosso *Curso de meteorologia*, pag. 58.

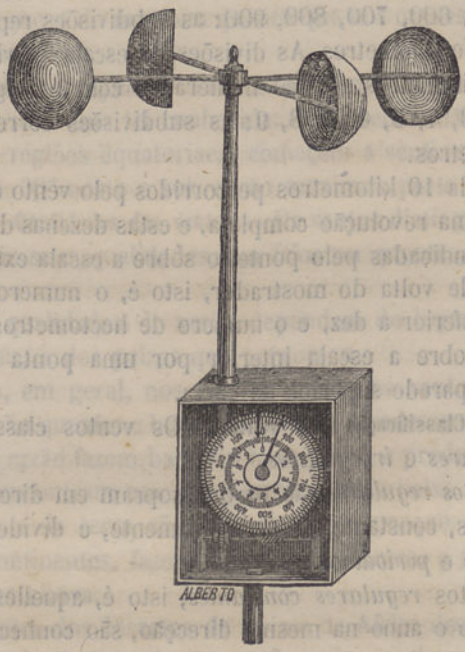


Fig. 251

do vento é tres vezes a d'este eixo e é indicada pelo contador encerrado na caixa do instrumento. Para isso o eixo termina inferiormente em parafuso sem fim, o qual, por intermedio de uma roda dentada e de outro parafuso sem fim põe em movimento dois discos dentados collocados um sobre o outro: o anterior serve de mostrador e tem 99 dentes, em quanto que o posterior tem 100; com este move-se um ponteiro, que se vê na figura, o qual por conseguinte, recúa um dente sobre o mostrador por cada revolução completa d'elle.

O mostrador tem duas escalas compostas de 10 partes eguaes, cada uma subdividida em outras 10 partes. As divisões da escala exterior representam centenas de kilome-

tros e estão marcadas com os numeros: 0, 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900: as subdivisões representam dezenas de kilometros. As divisões da escala interior representam kilometros e estão numeradas com os algarismos: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9: as subdivisões correspondem a hectometros.

Por cada 10 kilometros percorridos pelo vento o mostrador faz uma revolução completa, e estas dezenas de kilometros são indicadas pelo ponteiro sobre a escala exterior. As fracções de volta do mostrador, isto é, o numero de kilometros, inferior a dez, e o numero de hectometros, são indicados sobre a escala interior por uma ponta metallica presa na parede superior da caixa.

516.—**Classificação dos ventos.**—Os ventos classificam-se em *regulares* e *irregulares*.

Os *ventos regulares* são os que sopram em direcções determinadas, constante ou periodicamente, e dividem-se em *constantes* e *periodicos*.

Os ventos *regulares constantes*, isto é, aquelles que sopram todo o anno na mesma direcção, são conhecidos pela denominação de *ventos geraes*. Observam-se principalmente nas regiões equatoriaes, sobre os oceanos Atlantico e Pacifico, e teem a direcção *nordeste* no hemispherio boreal, e *sueste* no austral.

Os ventos *regulares periodicos*, isto é, aquelles que sopram regularmente, ora n'uma direcção, ora na direcção opposta, são as *brisas* e as *monções*.

As *brisas* são os ventos que sopram sobre as costas, do mar para a terra de dia, e da terra para o mar de noite, isto é, da região mais fria para a mais quente.

As *monções* sopram seis mezes n'uma direcção e nos outros seis mezes na direcção opposta. No nosso hemispherio desde abril até setembro sente-se a *monção da primavera*, que sopra para a terra, e de outubro a março sente-se a *monção do outono*, que sopra para o mar; isto porque du-

rante os primeiros seis mezes o aquecimento médio da terra é maior que o do mar, em quanto que nos outros seis acontece o contrario.

Os *ventos irregulares* são os que sopram em qualquer direcção sem uma lei conhecida. Estes ventos não se observam nas regiões equatoriaes, começam a sentir-se nas latitudes de 30° norte e sul, e são maximos perto dos polos.

517.—**Qualidades dos ventos.**—Os ventos distinguem-se em relação ás suas qualidades, em frios ou quentes, seccos ou humidos.

Estas qualidades do vento dependem do logar onde elle se formou, e dos paizes que percorreu.

Assim, em geral, nos nossos climas os ventos do sul e do mar são quentes e humidos, porque atravessam o oceano; por essa razão fazem baixar o barometro, e produzem chuva quando encontram uma temperatura mais baixa. Os ventos do norte e da terra são frios e seccos, porque atravessam vastos continentes, fazem subir o barometro, e raras vezes produzem chuva.

Os ventos dos desertos da Asia e da Africa destinguem-se pela sua alta temperatura, e pela areia que levantam no ar e arrastam comsigo.

(D'aqui passa-se ~~a~~ pag. 42 do apendice)

II—Meteoros aquosos

518.—Os *meteoros aquosos* são diversas manifestações da *humidade* do ar. Esta humidade é o vapor d'agua, que resulta da continua evaporação na superficie dos rios, dos lagos e dos mares.

A humidade do ar, condensando-se por qualquer motivo, especialmente pelo resfriamento, dá logar ao *orvalho*, ás *nuvens*, aos *nevoeiros*, á *chuva* e á *neve*.

Antes de darmos idéa d'estes meteoros vamos indicar a maneira de apreciar a humidade do ar.

519.—**Hygrometria.**— A *hygrometria* é a parte da physica que tem por fim medir, em um instante dado, a humidade do ar.

Para avaliar esta humidade não basta determinar a força elastica ou o peso do vapor existente no ar; é preciso tambem conhecer a que distancia está elle da saturação, distancia que depende evidentemente da temperatura: é assim que, por exemplo, no verão o ar parece pouco humido, e contudo a quantidade de vapor que contém é superior á que existe no inverno, em que a humidade parece muito grande.

Dá-se o nome de *estado hygrometrico* do ar, ou de *fracção de saturação*, á relação entre a tensão do vapor contido no ar e a tensão maxima á mesma temperatura.

520.—**Hygroscopios.**—**Hygroscopio de torsão.**—Denominam-se *hygroscopios* os instrumentos que indicam se a humidade do ar augmenta ou diminue: a sua construcção funda-se na propriedade que têem as *substancias hygroscopicas*, de absorver a humidade do ar em que se acham, augmentando ao mesmo tempo de volume, e de a restituir, quando o ar se torna mais secco. Isto succede a quasi todas as substancias animaes e vegetaes: os cabellos alongam-se ou encurtam-se conforme o ar se torna mais ou menos secco; os corpos compostos de fibras torcidas, como as cordas, incham, encurtam e torcem-se com a humidade, etc.

Aproveitando esta propriedade teem-se construido varios hygroscopios, aos quaes se dão fórmas mais ou menos extravagantes: é muito conhecido o hygroscopio com a figura de um frade de capuz, o qual se cobre quando a humidade augmenta, e se descobre quando diminue, isto é, logo que o tempo se torna mais secco. N'estes instrumentos é quasi sempre um pedaço de corda de tripa, torcida e presa por uma das extremidades, que dá movimento na outra.

Qualquer substancia para ser empregada com vantagem na construcção dos hygroscopios deve ser muito sensivel ás variações da humidade, inalteravel com o tempo e com a temperatura, e de pequena massa, a fim de que as suas indicações sejam rapidas. O cabello satifaz a essas condições, mas deve ser fino, livrè de substancias oleosas, e cortado de cabeça viva e sã. Os hygroscopios de cabello são os mais perfeitos; podem até certo ponto medir o estado hygrometrico do ar e por isso recebem, ás vezes, o nome de *hygrometros*.

521.—Hygrometro de Saussure ou de cabello.—O hygrometro de Saussure consta, fig. 252, de um quadro metallico, com um cabello preso superiormente e passando na parte inferior por uma roldana muito movel, a cujo eixo está ligado um ponteiro. Na extremidade livre do cabello está um pequeno peso *p* que o conserva sempre tenso; de modo que quando augmenta a humidade, o cabello alonga-se e o ponteiro sóbe sobre um arco graduado; no caso contrario desce.

Fig. 252

Para preparar o cabello, isto é, para o desembaraçar das substancias oleosas, introduz-se em uma dissolução de carbonato de soda, depois em agua a ferver, e finalmente em agua fria. Consegue-se o mesmo resultado pela immersão do cabello em ether durante vinte e quatro horas.

Faz-se a escala do hygrometro, marcando 0 no ponto indicado pelo ponteiro, quando o apparelho se introduz em um espaço completamente privado de humidade; 100 no ponto indicado, quando o espaço está saturado de vapor d'agua, e dividindo o intervallo em cem partes eguaes, que são os graus do hygrometro. Estes graus só por si não indicam coisa alguma a respeito da quantidade de humidade; por isso o apparelho é um simples *hygroscopio*, isto é, in-

dica apenas se a humidade augmenta ou diminue, sem a medir. As indicações do apparelho podem dar o estado hygrometrico por meio de uma tabella expressamente construida para esse fim e para aquelle hygrometro.

522.—**Orvalho.**—**Geada.**—Dá-se o nome de *orvalho* a pequenas gottas d'agua, que se observam sobre alguns corpos expostos ao frio durante as noites serenas e frias.

O orvalho resulta da condensação do vapor atmospherico, promovida pelo resfriamento devido á irradiação dos corpos para os espaços planetarios. Por esta razão o orvalho deposita-se de preferencia sobre os corpos maus conductores e de grande poder emissivo, porque são os que mais facilmente resfriam, communicando depois o resfriamento ao ar que os cerca. Para que o orvalho se fórme é preciso tambem que o ceu esteja descoberto, a atmosphera socegada e o corpo distante de obstaculos que lhe encubram o ceu.

Ás vezes, depois de ventos muito frios, apparecem sobre os corpos, que costumam receber orvalho, ligeiras camadas de neve com a fórma crystallina opaca, e ás quaes se dá a denominação de *geada;* provém da congelação immediata do vapor d'agua.

523.—**Nevoeiros.**—Quando o solo humido está mais quente que o ar, os vapores que se elevam pela evaporação, encontrando uma temperatura mais baixa, condensam-se, perturbam a transparencia da atmosphera e constitue mos *nevoeiros.*

Os nevoeiros raras vezes persistem; quasi sempre se dissipam no mesmo dia em ques e formam; comtudo em algumas localidades, como em Londres, são ás vezes persistentes e tão espessos, que é preciso conservar durante o dia illuminadas a gaz as ruas e as lojas.

Os nevoeiros, que se formam depois de nascer o sol e se dissipam até ao meio dia, e os que apparecem ao descair da tarde e desapparecem á noite, prognosticam bom tempo. Tambem prognosticam bom tempo os nevoeiros frios depois

de dias chuvosos, porque a sua temperatura indica que os ventos mudaram do mar para a terra, e os ventos da terra são seccos.

Os nevoeiros espessos e frios, que repetem duas ou tres vezes dão chuva; assim como os nevoeiros densos, quentes e humidos, principalmente se começam de manhã e não se dissipam até ao meio dia.

524.—**Nuvens.**—Se os vapores elevados da superficie da terra encontram um sufficiente resfriamento nas regiões elevadas da atmosphera, formam as *nuvens*. As nuvens tambem podem provir do encontro de duas massas d'ar em circumstancias differentes de temperatura e humidade.

As nuvens apresentam fórmas mui diversas: porém todas se reduzem a quatro typos, ou á combinação d'elles: estes quatro typos são os *cumulos*, *cirrus*, *stratus* e *nimbus*, fig. 253.

Fig. 253

Os *cumulus* (*C*) ou nuvens de verão, denominadas *algodões* pelos maritimos, são nuvens arredondadas com o aspecto de montanhas accumuladas umas sobre as outras. Mais frequentes no verão que no inverno, e formadas de manhã desapparecem geralmente de tarde, ou então multiplicam-se e dão chuva.

Os *cirrus* (*Ci*), denominados *rabos de gallo* pelos maritimos, são pequenas nuvens com o aspecto de filamentos desligados, muitos semelhantes á lã cardada. São as nuvens mais elevadas, e por isso consideram-se formadas de particulas de gelo: precedem as mudanças de tempo; annunciam chuva no verão, e frio ou gelo no inverno.

Os *stratus* (*St*) são camadas de nuvens delgadas e continuas, limitadas por planos horisontaes. Observam-se geralmente ao pôr do sol, perto do horisonte.

Os *nimbus* (*Ni*), ou nuvens de chuva, denominadas *aguaceiros* pelos maritimos, não affectam fórma alguma caracteristica; mas distinguem-se bem pela sua côr cinzenta escura e pelos seus bordos franjados.

A altura da nuvens varia entre 1 e 12 kilometros.

525.—**Chuva.**—A *chuva* é a queda da agua em pequenas gottas, provenientes das nuvens, cujas particulas engrossaram pelo resfriamento, ou pela condensação de uma porção de vapor atmospherico.

Ás vezes chove sem haver nuvens. É muito frequente nos paizes humidos e nas tardes calmosas, uma chuva muito fina sem haver nuvens, a qual se denomina *sereno:* provém das camadas inferiores da atmosphera, muito carregadas de humidade e resfriadas ao pôr do sol ou depois.

526.—**Udometros.**—**Udometro de Babinet.**—Mede-se a quantidade d'agua, que cae em um logar no estado de chuva, com instrumentos denominados *udometros* ou *pluviometros*.

O udometro mais simples é um vaso cylindrico de metal communicando inferiormente com um tubo de vidro graduado, no qual se lê a altura a que a agua sóbe dentro

d'elle: esta altura representa a espessura da camada liquida que adquiriria a agua da chuva se caisse sobre um terreno horisontal e impermeavel, e se não houvesse evaporação; denomina-se por abreviatura *espessura liquida*. Para atenuar quanto possivel a perda pela evaporação, e para facilitar a entrada da agua para o vaso, é este fechado por uma tampa afunilada com um pequeno orificio no centro.

Nos nossos postos meteorologicos, assim como nos observatorios, emprega-se o *udometro de Babinet*, fig. 254: é um vaso cylindrico terminado por duas pyramides conicas, das quaes a inferior tem uma torneira e a superior communica com o recipiente externo de fórma afunilada. Avalia-se a espessura liquida recebendo a agua em um vaso cylindrico dividido em 125 partes eguaes, que correspondem a 25^{mm} de chuva; porque cada uma representa uma espessura liquida de $0^{mm},2$.

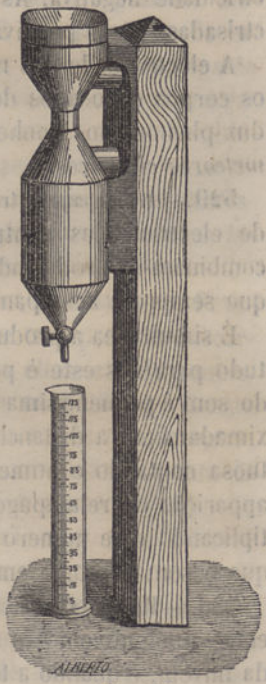


Fig. 254

527 — **Neve. — Saraiva.** — O vapor d'agua, que fórma as nuvens, póde congelar-se sem passar pelo estado liquido, encontrando uma camada de ar de temperatura inferior a zero; n'estas circumstancias a agua apresenta-se em finas agulhas grupadas de uma maneira especial formando flocos regulares de lindas figuras hexaedricas: estes flocos caem para a terra e recebem o nome de *neve*.

Ás vezes a neve precipita-se em grandes massas compactas e transparentes, constituindo a *saraiva*, que tem ordinariamente o tamanho de uma avelã, mas que chega a adquirir muito maiores dimensões e a pesar 300 grammas.

III—Meteoros electricos

528.—**Electricidade atmospherica.**—Tem-se reconhecido que na atmosphera existe sempre electricidade, que é positiva quando não ha nuvens, em quanto que o solo tem a electricidade negativa. As nuvens tambem estão sempre electrisadas, umas positiva e outras negativamente.

A electricidade das nuvens, actuando por influencia sobre os corpos collocados dentro da esphera da sua acção, produz phenomenos conhecidos pela denominação generica de *meteoros electricos*.

529.—**Relampago e trovão.**—Quando as nuvens carregadas de electricidades contrarias se aproximam, estas ultimas combinam-se produzindo luz, que é o *relampago*, e o ruido que sempre a acompanha, que é o trovão.

É simultanea a producção do relampago e do trovão, comtudo para nós este é posterior áquelle, porque a velocidade do som é pequenissima em relação á da luz. Calcula-se aproximadamente a distancia que nos separa da nuvem tempestuosa contando o numero de segundos decorridos desde a apparição do relampago até á percepção do trovão, e multiplicando esse numero por 340^{m}, porque é este o caminho que o som percorre em um segundo.

530.—**Raio.—Choque reflexo.**—O *raio* é a descarga electrica entre uma nuvem e o solo: carrega-se este por influencia da nuvem, e quando a tensão é sufficiente apparece a faisca, e o *raio cae*, como se diz vulgarmente.

O raio cae de preferencia sobre os melhores conductores mais proximos; por esse motivo são maus abrigos as arvores, essencialmente impregnadas de seiva e de liquidos bons conductores, as egrejas e edificios elevados. Dentro de

casa deve-se fugir das peças metallicas, das janellas e das chaminés, e, em geral, de quaesquer aberturas que facilitem a passagem da electricidade: não convém aproximar das paredes, dos cantos das casas e de outras pessoas.

Os effeitos do raio são analogos aos das baterias electricas, porém muitissimo mais energicos. Caindo sobre os animaes, isto é, fazendo-se a descarga da nuvem através d'elles, póde matal-os, feril-os ou apenas assombral-os.

Muitas vezes os animaes são fulminados a grandes distancias do ponto onde cae o raio. É isto resultado da influencia electrica sobre esses animaes, a qual os carrega de fluido contrario ao da nuvem; de maneira que, descarregando-se esta contra um edificio ou contra qualquer objecto, cessa a influencia sobre os animaes, perde-se instantaneamente o seu fluido no solo e são fulminados indirectamente. Denomina-se esta especie de *fulminação*, *choque indirecto* ou *reflexo*.

531.—**Guarda raios.**—O *guarda raios*, inventado por Franklin, é um instrumento muito util, que tem por fim descarregar as nuvens facilitando o esgoto da electricidade contraria accumulada por influencia sobre os edificios. Consta principalmente de uma *haste* e de um *conductor*. A *haste*, elevada sobre o edificio, é de ferro e termina em ponta de platina, de prata ou de cobre. O *conductor* é um cabo de fios de ferro ou de cobre, ou um varão continuo de ferro, ligado invariavelmente ao pé da haste e descendo ao longo do edificio até ao solo, com o qual deve communicar bem, o que se consegue dirigindo a extremidade para o fundo de um poço ou para vallas cheias de carvão. Para evitar descargas lateraes, convém communicar com a haste do guarda raios todas as partes metallicas importantes do edificio.

Funda-se o emprego do guarda raios no poder das pontas e na influencia electrica.

Demonstra a experiencia que a haste de um guarda-raios

protege efficazmente um espaço circular de raio duplo da altura d'aquella haste. Deve-se attender a esta circumstancia para conhecer o numero de guarda raios que precisa receber qualquer edificio, notando que a haste não deve ter mais de dez metros de altura.

532.—**Auroras polares.**—As *auroras polares, boreaes* ou *austraes* conforme o polo em que se observam, apresentam quando são completas tres partes e tres phases distinctas: o *arco*, os *raios*, e a *corôa*. O *arco*, fig. 255, é a primeira

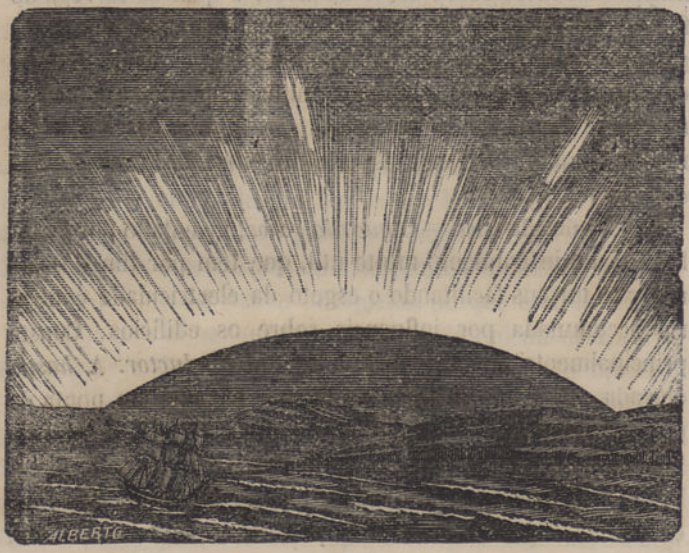


Fig. 255

parte que se observa; os extremos apoiam-se sempre no horisonte e o seu plano é perpendicular á direcção da agulha de inclinação. Eleva-se parallelamente a si mesmo, e emitte de todas as partes raios luminosos, que parecem dirigir-se para um ponto do ceu collocado no prolongamento da referida agulha de inclinação. Estes raios e o arco

transformam-se, ás vezes, na parte superior, n'uma cupula de fogo, que é a *corôa*, a qual annuncia o fim do phenomeno.

As auroras são um meteoro electrico: attribuem-se a descargas lentas da electricidade, que parte do solo e se neutralisa com a electricidade da atmosphera.

IV — Climatologia

533.—**Clima.**—Dá-se o nome de *climatologia* á sciencia dos *climas*. Sob a denominação de *clima* de um logar comprehende-se o complexo de todos os phenomenos atmosphericos, que influem sobre os seres organisados. Já se vê por tanto, que não é só a temperatura, a feição que determina os climas; é necessario attender tambem á humidade do ar, á quantidade e frequencia das chuvas, ao numero das tempestades, á direcção, intensidade e frequencia dos ventos, á natureza do solo, etc., o que faz com que a determinação de um clima seja estudo bastante complexo.

Como não tem sido possivel ainda submetter a leis conhecidas e simples a influencia que os differentes phenomenos atmosphericos exercem sobre os seres organisados, principalmente sobre os vegetaes, é muito difficil caracterisar bem qualquer clima: não se resolve a questão, posto que se simplifique muito, definindo os climas pelas *temperaturas médias* do ar livre. (§ 538)

534.—**Temperaturas médias do ar livre.**—A *temperatura médias de um dia* obtem-se tomando a média ás temperaturas observadas em differentes horas do dia; porém alcança-se um valor bastante aproximado tomando a média ás temperaturas *maxima* e *minima* do dia[1]. A *temperatura de um*

[1] Ainda se consegue um resultado mais exacto tomando a média

mez é a média das temperaturas de todos os dias d'esse mez, e a de um anno é a média das médias dos 12 mezes. A *temperatura de um logar* é a média das médias annuaes de muitos annos.

A temperatura média de Lisboa e de Coimbra é de 15° e uma fracção.

Todas as temperaturas mencionadas são do *ar livre* e não do solo. Para determinar com rigor a temperatura do ar livre é indispensavel que os thermometros estejam á sombra, em sitio bem arejado, mas ao abrigo da chuva e da irradiação dos corpos circumvisinhos, do ceu e das nuvens.

535.—**Marcha da temperatura durante o dia e o anno.**—A temperatura é minima, em Lisboa, ás 6 horas da manhã, termo médio, e maxima ás 3 horas da tarde.

Nos nossos climas a temperatura minima durante o anno observa-se no meado de janeiro, e a maxima em julho ou agosto.

Explica-se esta marcha regular da temperatura durante o dia pela distancia do sol ao horisonte nas diversas horas; durante o anno pela differente posição d'este astro quando passa pelo meridiano e pelas mudanças de grandeza dos dias e das noites. Causas que influem sobre a temperatura da atmos

536.—**Influencia da latitude e da altitude na temperatura do ar.**

Influencia da latitude

1.º Póde-se dizer que em cada meridiano a temperatura é maxima no equador e diminue até aos polos; isto resulta das differenças entre as alturas do sol acima do horisonte ao meio dia, que fazem com que os raios solares sejam successivamente mais obliquos desde o equador até aos polos. Comtudo a maior grandeza dos dias durante o estio, nas zonas temperadas e glaciaes, compensa em parte a baixa temperatura que resulta da grande obliquidade dos raios.

a estas duas temperaturas e ás temperaturas das 9 horas da manhã e das 9 da noite: e é assim que se procede em alguns dos nossos postos meteorologicos.

3º: Influencia da direcção dos ventos. — A temperatura do vento communica-se necessariamente ás porções da atmosphera que elle percorre, e como ella depende das regiões atravessadas pelo vento, comprehende-se como influe para cada logar a direcção dos mesmos ventos.

Assim, p.ª nós, os ventos do norte e nordeste fazem baixar a temperatura, porque vem das regiões mais frias; e os do sul e sueste são quentes, pela razão contraria.

4º: Influencia da proximidade dos mares. — A proximidade dos mares concorre para elevar a temperatura do ar; por isso que nas re-

nas temperadas e ainda mais nas glaciaes a temperatura dos mares é sempre mais elevada do que a da atmosphera. Além d'isto, nas regiões temperadas, a differença entre a temperatura maxima e a minima d'um dia não excede, no mar, 2 o 3 graós, emquanto que sobre os continentes attinge 12 a 15 graós: por conseguinte, a proximidade dos mares deve ter ainda outra influencia, que é uniformisar mais a temperatura do ar. É o que se reconhece nas ilhas.

É por isso que a temperatura pouco se altera no equador, onde os dias não variam; em quanto que nas regiões septentrionaes, onde os dias são muito deseguaes, varia muito, subindo no estio, ás vezes, quasi tanto como no equador.

A variação da temperatura com a latitude não é regular, porque não depende só do que fica dito, mas tambem de muitas outras causas, sendo as principaes a direcção e temperatura dos ventos dominantes, o relevo do terreno e a proximidade dos mares. Nas nossas regiões é preciso caminhar mais de 180 kilometros, termo médio, para o norte para reconhecer o resfriamento de 1° na temperatura média do ar.

2.º A temperatura do ar diminue muito mais rapidamente com a altitude; o que provém principalmente da diminuição de densidade e humidade do ar, e de ser este corpo diathermico, isto é, deixar-se atravessar pelos raios do calor sem os absorver: na parte inferior da atmosphera o aquecimento é mais intenso não só pelo augmento da densidade e da humidade, mas ainda pelo contacto com o solo.

Póde-se dizer que nos nossos climas a temperatura do ar diminue de 1° por cada 180^{m} de differença de altitude. Até um certo limite, não superior a tres kilometros, admitte-se que a temperatura diminue proporcionalmente á altitude.

537. —**Linhas isothermicas, isothericas e isochimenicas.**—Denominam-se linhas *isothermicas* aquellas que passam pelos pontos cuja temperatura media é a mesma. Estas linhas seriam parallelas ao equador, se a temperatura de um logar dependesse unicamente da obliquidade dos raios solares, isto é, da latitude; porém, como aquella temperatura depende de muitas outras circumstancias, são mais ou menos sinuosas.

Para caracterisar um clima, não basta conhecer a temperatura média do logar, mas importa principalmente comparar o seu valor com o das temperaturas médias do verão e do inverno. Traçando linhas pelos pontos que teem a mesma

média estival, e outras pelos que teem a mesma média invernal obteem-se as linhas *isothericas* e *isochimenicas*.

538.—**Classificação dos climas.**—Distinguem-se os climas uns dos outros pela temperatura média e pela differença entre as médias do verão e do inverno.

Em attenção á temperatura média os climas tomam as denominações seguintes:

Clima ardente.....	de	28°	a	25°
» quente	»	25	a	20
» suave	»	20	a	15
» temperado	»	15	a	10
» frio.....	»	10	a	5
» muito frio	»	5	a	0
» glacial	abaixo	de		0

Em attenção á differença entre as médias do verão e do inverno, os climas classificam-se em *constantes*, quando aquella differença não excede 6° a 8°; *variaveis*, quando aquella differença chega a 16° ou 20°; *excessivos*, quando a differença é superior a 20°. O clima de Lisboa é variavel porque aquella differença é de 10°.

Como os climas das ilhas e das costas maritimas são geralmente pouco variaveis, e o contrario acontece aos climas dos continentes, os climas constantes recebem tambem a denominação de *climas insulares* ou *maritimos*, e os variaveis a de climas *continentaes*.

Retirar pág. 533

(Daqui passa-se pag. 38 do App.)

FIM