



Das Lagrange'schen La<sup>ge</sup> Körper, Lomm  
das les<sup>te</sup> Prof. v. d. H. Lamm in d. H.  
H. d. H. Formulas n. d. H.  
das Laff. n. d. H. d. H. d. H. d. H.  
Formulas n. d. H. d. H. d. H. d. H.  
d. H. d. H.

---

## LICÇÕES DE PHYSICA

---

Das Lagrange'schen La<sup>ge</sup> Körper, Lomm  
das les<sup>te</sup> Prof. v. d. H. Lamm in d. H.  
H. d. H. Formulas n. d. H.  
das Laff. n. d. H. d. H. d. H. d. H.  
Formulas n. d. H. d. H. d. H. d. H.  
d. H. d. H.







CURSO D'INTRODUÇÃO



3.º E 5.º ANOS DO CURSO DOS LYCEUS

# LIÇÕES DE PHYSICA

INTEIRAMENTE CONFORMES COM O PROGRAMMA OFFICIAL

COORDENADAS

POR

**MAXIMIANO LEMOS JUNIOR**

Cirurgião militar e professor livre de physica

*Antonio Victorino da Matta*



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO  
MUSEU DE CARVALHO

PC  
HWCT  
53  
LEH

PORTO  
LIVRARIA PORTUENSE  
DE  
LOPES & C.ª  
SUCCESSORES DE CLAVEL & C.ª

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO NACIONAL  
MUSEU NACIONAL DA CIÊNCIA  
E DA TÉCNICA





THE UNIVERSITY OF CHICAGO

PHYSICS DEPARTMENT

PHYSICS 309



1952

RECEIVED

1952

Os direitos de reimpressão d'esta obra, no Brazil, ficam para todos os effeitos cedidos ao ex.<sup>mo</sup> snr. Frederico Augusto Schmidt, cidadão do imperio, residente no Rio de Janeiro.

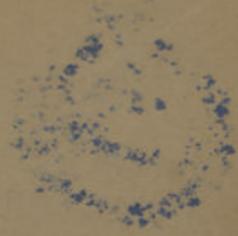
*Lopes & C. a succrs de Clavel & Ca*

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO NACIONAL  
MUSEU NACIONAL DA CIÊNCIA  
E DA TÉCNICA



*Nº 929*





O livro que hoje apresentamos ao publico tem em vista satisfazer ao ultimo programma que regula o ensino da physica nos lyceus, programma que foi seguido com toda a minuciosidade.

Na parte que se destina ao 3.<sup>o</sup> anno procuramos sempre, em vez de formular d'antemão as leis a que os phenomenos estão sujeitos, habituar o espirito dos alumnos a induzil-os dos factos, visto como esse tem de ser sempre o methodo a empregar nas sciencias physicas naturaes. Conveniencias de disposição e outras por egual attendiveis não permittiram seguir sempre a mesma norma nos desenvolvimentos que constituem a materia do 5.<sup>o</sup> anno do curso dos lyceus, não obstante ter sido sempre seguido o espirito fundamental do livro.

Adoptamos a impressão com dois typos diferentes para extremar o que pertence aos dois programmas, tendo em vista especialmente facilitar o estudo. Como, porém, o livro tambem se destina áquelles que, sem exigencia de programma, desejam possuir noções de physica, o que vae composto em typo maior constitue o que por assim dizer é fundamental, ao passo que o resto é formado por conhecimentos mais especiaes e que por isso demandam mais demorada attenção.

---



## LIVRO PRIMEIRO

### MATERIA, FORÇAS E MOVIMENTO

#### CAPITULO I

##### Noções preliminares

Definição e divisão da physica. Ideia geral da constituição dos corpos nos tres estados, solido, liquido e gazoso. Phenomenos, leis e theorias physicas.

1. CORPO E MATERIA. — Chama-se *materia* tudo o que cáe immediatamente debaixo dos nossos sentidos, tudo o que os impressiona. Dá-se o nome de *corpo* a toda a porção limitada de *materia*.

2. PROPRIEDADES DOS CORPOS. — Os corpos revelam-se-nos pelas suas *propriedades*. Definimos *propriedades dos corpos* os seus modos de ser, as diversas maneiras de nos impressionarem. Estas *propriedades* podem ser *geraes* ou *particulares*.

*Geraes* são aquellas que todos os corpos possuem. De que todos os corpos occupam, por mais pequenos que sejam, uma certa porção d'espaco, concluimos que a *extensão* é uma *propriedade geral* dos corpos.

*Particulares* ou *especiaes* são aquellas que apenas são apresentadas por certos e determinados corpos. Quando dizemos que o papel é branco, que o sol tem brilho, etc., affirmamos que o *corpo* — papel — tem a *propriedade especial* de ser branco, que o *corpo* sol tem a *propriedade particular* de ser brilhante, etc.

As *propriedades geraes* dos corpos são oito: *extensão*, *impenetrabilidade*, *divisibilidade*, *porosidade*, *compressibilidade*, *elasticidade*, *mobilidade* e *inercia*.

As *propriedades particulares* são innumerables; a côr, a dureza, o brilho são exemplos d'estas propriedades.

3. ESTADO DOS CORPOS. — O gelo, a agua, e o vapor que sae d'uma caldeira são tres corpos; mas, apesar de serem constituídos d'uma mesma especie de materia, apresentam-se-nos com *estados* diferentes. O gelo tem uma fórma propria que se não pôde alterar sem difficuldade, a agua toma exactamente a fórma do vaso que a contém, o vapor cada vez tende a occupar maior espaço do que o que occupa. São tres fórmas ou *estados physicos* diferentes: o *solido*, o *liquido*, o *gazoso*. Diremos tambem que o gelo é um *corpo solido*, a agua um *corpo liquido* que o vapor é um *corpo gazoso*. Definiremos portanto: *Corpo solido* é todo aquelle que é dotado d'uma fórma propria, que só com esforço se pôde modificar. *Corpo liquido* é todo aquelle que exactamente se adapta á fórma do vaso que o contém. *Corpo gazoso* é o que, não tendo tambem fórma propria, tende a augmentar incessantemente de volume. Designam-se sob o nome generico de *fluidos* tanto os liquidos como os gazes.

Quando dizemos que um corpo é solido, queremos significar que elle, á temperatura ordinaria, se apresenta n'esse estado, porque corpos ha que passam por todos os tres estados, havendo todas as probabilidades de que, com os progressos de physica esta possibilidade seja estendida a todos os corpos. Um exemplo bem frisante é o que se dá com a agua que tanto se nos apresenta solida como liquida, como sob a fórma de gaz.

4. CORPOS SIMPLES E COMPOSTOS. — Os corpos podem ser formados de mais do que uma especie de materia, ou melhor, de materia que se nos apresente debaixo de mais do que um modo. Todos aquelles de que se não pôde extrahir senão uma especie de materia são *corpos simples*, tambem chamados *elementos*. Aquelles de que se pôde extrahir mais do que uma especie de materia são *compostos*.

Por mais que dividamos um pedaço de ferro, até chegarmos a reduzi-lo á limalha mais tenue que seja possivel,

todas as particulas serão constituidas egualmente da mesma especie de materia, de materia que nos impressiona toda da mesma fórma. Diremos que é um *corpo simples*.

Façamos o mesmo para o enxofre. Esmaguemol-o até ao ponto de o transformar n'um pó impalpavel. Ainda então, cada particula de enxofre nos impressionará da mesma maneira. E' tambem um *corpo simples*.

Misturemol-os tão intimamente quanto seja possivel; dadas certas condições, teremos um terceiro corpo — o sulfureto de ferro, que diremos ser *composto*, porque na sua constituição entram o enxofre e o ferro.

5. ATOMOS E MOLECULAS. — Retomemos o exemplo já acima apresentado.

Tomemos um pedaço de ferro e reduzamol-o ao estado de limalha. Isto prova-nos que este corpo, como aliás todos os outros, é dotado de uma propriedade designada sob o nome de *divisibilidade*. Esta propriedade não póde ser levada ao extremo e admitte-se que ha um limite para ella que é constituido pelo *atomo*, que definiremos *a menor quantidade de materia que póde existir*.

Tomemos agora o enxofre, reduzamol-o á fórma de pó, e, de divisão em divisão, admitta-se por um momento que a podemos levar até ao *atomo*. Juntemos agora os *atomos* de uma e outra substancia e já sabemos que assim se obtem um corpo differente. Ora, como a mais pequena quantidade d'essa materia que tomarmos é dotada das mesmas propriedades, o nosso espirito é levado a admittir que cada *atomo* de ferro se uniu a um *atomo* de enxofre. Esta pequena quantidade de materia, que nos corpos simples será composta d'atomos da mesma natureza, e nos compostos d'atomos de natureza diversa, constitue o que se chama *molecula*, que definiremos: *um aggregado de atomos*.

As moleculas reúnem-se umas ás outras para a constituição dos corpos.

6. FORÇAS MOLECULARES. — Se tomarmos um pedaço de enxofre e o reduzirmos a pequenos fragmentos, não podemos executar este trabalho sem empregarmos um certo

esforço. Sabendo nós que cada corpo é um aggregado de moleculas, este facto leva-nos a crêr que estas estão ligadas entre si por uma força que as prende, que as une.

Tomemos agora uma bola de ferro que aquecemos ao lume; vemol-a tornar-se maior, augmentar de volume. Este facto prova-nos que o calor dilata os corpos, e como estes são constituídos por moleculas segue-se que ha tambem nos corpos uma outra força que o calor augmentou, que tende a desunil-as.

A estas forças dá-se o nome de *moleculares*. A' primeira chama-se *força de attracção molecular* ou *cohesão*, á segunda *força de repulsão molecular*.

Da acção d'estas forças resulta o estado dos corpos. Imaginemos duas moleculas em presença uma da outra. A *força d'attracção molecular* impelle-as, mas a *força de repulsão molecular* tende a affastal-as. Tres casos se podem apresentar. Designando por C e R as forças que actuam sobre as duas moleculas póde ser

$$C > R$$

$$C = R$$

$$C < R.$$

No primeiro caso, em que a attracção molecular é maior que a repulsão, acontece que as moleculas estão presas umas ás outras; d'ahi resulta que o corpo a que pertencem tem uma fôrma propria, porque nenhuma d'ellas póde sair do logar que lhe compete. — E' o caso do estado *solido*.

Na segunda hypothese, em que a cohesão é igual á repulsão molecular, as moleculas nem estão presas umas ás outras nem deixam de o estar, é-lhes indifferente qual-quer posição, o corpo constituído por ellas não tem fôrma propria e ha-de tomar a do vaso em que o deitarmos, porque as moleculas se accommodarão facilmente a qual-quer situação. — E' o caso do *estado liquido*.

Finalmente, na terceira hypothese em que a força de repulsão molecular é maior que a d'attracção, as moleculas tenderão a affastar-se umas das outras cada vez mais. — E' o caso do *estado gazoso*.

7. PHENOMENOS OU AGENTES NATURAES. — Agarramos n'uma pedra e deixamol-a cair; agitamos uma campainha e ouvimos um som, tomamos uma barra de ferro qualquer e aquecemol-a; tudo isto são *phenomenos* que definiremos *toda a modificação que se dá n'um corpo*.

Ora estes *phenomenos* podem ser de duas naturezas. Tomemos uma bola de ferro, como ha pouco tempo, e aqueçamol-a á luz de uma lampada. Succederá, como dissemos, que augmentará de volume e tornar-se-ha mais quente; mas, se deixarmos novamente esfriar a bola, esta voltará ás suas dimensões primitivas e á temperatura ordinaria. Tanto o *aquecimento* como a *dilatação* são *phenomenos*, mas são *phenomenos* que não alteram a constituição dos corpos.

Tomemos o enxofre e aproximemol-o da mesma lampada. O enxofre inflammarse-ha e arderá como uma chamma de côr azul, desenvolvendo um gaz de cheiro desagradavel. Quando o enxofre se apagar, estará de todo consumido e transformado no gaz que se desenvolvia d'esta combustão. Foi tambem um *phenomeno*, mas alterou profundamente a constituição do corpo em que se manifestou.

A estas duas ordens de *phenomenos* competem nomes diversos. O *phenomeno* que não altera a constituição do corpo em que se manifesta chama-se *physico*; o que a altera profundamente chama-se *chimico*. O primeiro cessa logo que termina a sua acção a causa que lhe deu origem; não succede o mesmo com o segundo que permanece enquanto uma causa da mesma natureza o não faz cessar e desaparecer.

Todo o effeito faz suppôr uma causa. Se abandonarmos um corpo que tenhamos na mão elle cáe. Este *phenomeno* faz suppôr uma causa que lhe deu origem, uma força que o produziu. A estas causas, a estes agentes dos *phenomenos* chamam-se *forças naturaes*. As *forças naturaes* podem ser *physicas* ou *chimicas*, segundo produzem *phenomenos* d'uma ou outra d'estas cathogorias. Todavia, uma mesma força natural póde produzir *phenomenos physicos* e *phenomenos chimicos*. Quando ha pouco aproximamos da lampada o ferro e o enxofre produzimos n'estes

corpos phenomenos de naturezas differentes e ainda assim apenas empregamos um mesmo agente: o calor. As forças physicas são reductiveis a um pequeno numero: a attracção, o calor, o som, a luz, a electricidade e o magnetismo.

8. LEIS E THEORIAS PHYSICAS. — Tomamos um corpo que deixamos cahir d'uma altura consideravel e verificamos que elle anda uma certa extensão que augmenta á medida que o tempo vae passando.

Concluimos d'aquí que o espaço percorrido por um corpo que cáe varia com o tempo gasto em percorrel-o. Enunciamos uma *lei physica* que vem a ser a *relação que existe entre um phenomeno e a sua causa*.

O conjuncto de leis relativas a uma mesma classe de phenomenos recebe o nome de *theoria physica*. Assim se diz theoria do calor, da luz, etc.

9. OBSERVAÇÃO E EXPERIENCIA. — Todas as vezes que se quer estudar um phenomeno physico, dous meios se pódem empregar. Desmorona-se uma pedra do edificio e vemos que ella cáe. Temos na nossa mão uma bola de ferro, e com o proposito de verificar se aquelle phenomeno se dá só com a pedra, ou se é commum á pedra e á bola de ferro, abrimos a mão e verificamos que ella tambem cáe. No primeiro caso dir-se-ha que *observamos*, no segundo que *experimentamos*. Empregamos no primeiro caso um meio: a *observação*; empregamos no segundo um outro: a *experiencia*.

Definiremos *observação*: o exame de um phenomeno tal qual elle se nos apresenta na natureza; *experiencia* o exame de um phenomeno que nós provocamos, e cujas condições á vontade podemos fazer variar.

10. DEFINIÇÃO DE PHYSICA: DISTINCÇÃO ENTRE PHYSICA E CHIMICA. — Já dissemos que os phenomenos que os corpos nos apresentam são de duas naturezas: physicos e chimicos. Duas sciencias se encarregam de estudar os phenomenos que os corpos nos apresentam, correspondendo a cada uma das suas divisões: a *physica* e a *chimica*. Defi-

niremos *physica* a sciencia que estuda as propriedades geraes dos corpos e os phenomenos que n'elles se dão sem alteração permanente da sua constituição. Definiremos *chymica*: a sciencia que estuda as propriedades especiaes dos corpos, a sua constituição intima, e os phenomenos que n'elles se produzem com alteração da propria substancia.

Laços communs unem estas sciencias, porque ambas se occupam dos corpos; separam-se uma da outra na diversa ordem de phenomenos que cada uma estuda.

11. DIVISÕES DA PHYSICA. — Costumam estabelecer-se no estudo da physica cinco grandes divisões. A primeira tem por objecto as propriedades geraes da materia, comprehendendo a *gravidade*, isto é, a força que sollicita os corpos a cair, a *hydrostatica*, em que se estudam as condições d'equilibrio dos liquidos e a *pneumatica*, em que se estudam as condições d'equilibrio dos gazes. A segunda — a *acustica* — trata das vibrações sonoras dos corpos elasticos. A terceira é constituida pelo *calor*. A quarta tem por objecto a *luz*. A quinta e ultima comprehende a *electricidade e o magnetismo*. O estudo dos phenomenos que se dão na atmosphaera, ou *metereologia*, é uma applicação das leis e apparatus estudados na outras partes da physica.

## CAPITULO II

### Propriedades geraes dos corpos

Instrumentos de medição: nonio, parafuso micrometrico, cathetometro

12. PROPRIEDADES GERAES DOS CORPOS são, como já tivemos occasião de dizer, as que são communs a todos. Já dissemos tambem que são em numero de oito; extensão, impenetrabilidade, divisibilidade, porosidade, compressibilidade, elasticidade, mobilidade e inercia.

13. EXTENSÃO.— Todos os corpos occupam uma certa porção d'espaco. Esta propriedade chama-se *extensão*. Define-se: a propriedade que tem os corpos d'occupar um certo logar no espaco. Esta porção de espaco, occupada por um corpo, chama-se *volume*.

Nenhum corpo pôde deixar d'occupar um certa porção do espaco, mas o que pôde dar-se é haver uma porção onde não exista corpo algum; a esse espaco, vazio de materia, chama-se *vacuo*.

A extensão dos corpos pôde ser medida, isto é, comparada com outra que se toma por unidade. A unidade geralmente adoptada é o metro. Para a apreciação de pequenas extensões empregam-se diversos instrumentos, os mais importantes dos quaes são o nonio, o parafuso micro-metrico e o cathetometro.

14. NONIO. O *nonio* é assim chamado em honra do seu inventor, o mathematico portuguez Pedro Nunes, que floresceu no seculo XVI. Faz parte d'um grande numero de instrumentos de physica que adiante serão descriptos.

Compõe-se de duas regras de comprimento differente; a maior

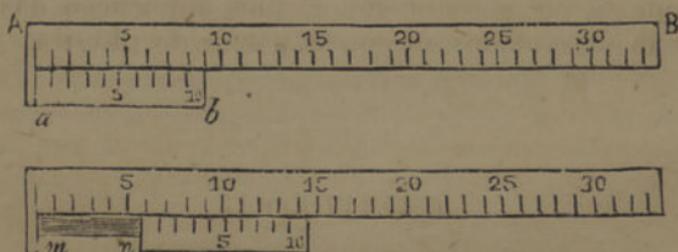


Fig. 1

AB é fixa e dividida em partes eguaes, e com o systema hoje adoptado, geralmente em millimetros; a mais pequena *ab*, a que propriamente compete o nome de nonio, é movel ao longo da regua grande, tem um comprimento igual a 9 divisões da primeira, e está dividida em dez partes eguaes. D'aqui resulta que cada divisào da regua pequena é menor  $\frac{1}{10}$  do que a da regua grande.

Se se quer medir o comprimento d'um objecto qualquer *mn* colloca-se ao lado da regua grande. Acha-se, por exemplo, que é igual a 4 divisões e uma fracção. E' essa fracção que se tem d'avaluar

com o nonio. Faz-se escorregar a regua movel até que venha collocar-se na extremidade do objecto e procura-se em que sitio ha sensivel coincidência das divisões das duas reguas. Na figura representou-se que essa coincidência tinha lugar na sexta divisão do nonio, a contar do ponto *a*. Quer isto dizer que a fracção é igual a 6 decimos d'uma divisão da regua grande, ou 6 decimos de millimetro.

Effectivamente, sendo as divisões do nonio mais curtas um decimo do que as da regua, vê-se que, a partir do ponto de coincidência, vão ficando para traz 1, 2, 3... decimos. Na extremidade do objecto serão 6 decimos.

15. PARAFUSO MICROMETRICO. — Dá-se este nome a um parafuso cujo passo, muito pequeno, é igual a  $\frac{1}{2}$  millimetro, ou quando muito a um millimetro. A cabeça do parafuso tem um circulo graduado, dividido em 360 divisões eguaes. Dando o parafuso uma volta completa n'uma porca fixa, adianta-se uma distancia igual á do passo; a um movimento angular d'uma divisão corresponderá um deslocamento longitudinal de  $\frac{1}{720}$  ou  $\frac{1}{360}$  de millimetro, conforme o passo fór de  $\frac{1}{2}$  ou 1 millimetro. E' facil assim medir a espessura d'uma lamina qualquer.

16. CATHETOMETRO. — O *cathetometro* é um instrumento de precisão destinado a medir a distancia vertical entre dois pontos. Reduzido á sua expressão mais simples, consiste n'uma haste vertical dividida em partes eguaes, ao longo da qual se move um oculo horizontal com que se visam successivamente dois pontos. A distancia que existe entre as posições do oculo marca a differença d'altura dos dois pontos. Um nonio annexo á escala marcada na haste do cathetometro permite avaliar esta distancia com toda a precisão.

17. IMPENETRABILIDADE. — Quando enterramos um prego n'uma taboa parece-nos que penetrou a substancia da madeira. Não aconteceu assim: o espaço occupado actualmente pelo prego não é occupado pela madeira. Retirando-o, vejo perfeitamente a impressão que deixou.

Se tomarmos um tubo fechado n'uma das suas extremidades e aberto na outra, cheio d'um gaz qualquer, e mergulharmos a extremidade livre n'uma bacia d'agua, vemos que, empregando um certo esforço, se vae reduzindo o espaço occupado pelo gaz, mas nunca é possivel annullal-o completamente. Conclue-se d'aqui que a agua não pôde occupar o logar que o gaz occupa, como ha pouco o prego não pôde occupar o mesmo logar que a madeira.

Estes factos que se poderiam reproduzir com todos os

corpos levam-nos a admittir que existe n'elles uma propriedade geral, *em virtude da qual um não póde occupar o logar do espaço que outro occupa*. Essa propriedade designa-se com o nome de *impenetrabilidade*.

18. DIVISIBILIDADE. — Quando ha pouco tomamos um pedaço de enxofre e o transformamos n'um pó impalpavel, reconhecemos que o enxofre era susceptivel de ser reduzido a pequenos fragmentos. Quando tomamos um pedaço de ferro e o fizemos em limalha, verificamos tambem que o ferro era dotado da mesma propriedade.

Reproduzindo o mesmo para todos os corpos, concluímos que n'elles existe outra propriedade, a que se dá o nome de *divisibilidade*, e que se póde definir: *a propriedade geral que teem os corpos de poderem ser reduzidos a pequenos fragmentos*.

A divisibilidade póde ser levada extremamente longe. Se deitarmos uma pequenissima porção de carmin n'um vaso com agua e a agitarmos observamos, dentro em muito pouco tempo, que toda a agua está tingida de vermelho. Este facto só se póde explicar pela extrema divisibilidade a que o carmin póde ser levado.

Se deixarmos um grão de almiscar n'um quarto durante algum tempo, qualquer pessoa que entrar n'elle reconhecerá o cheiro que lhe é peculiar. No entretanto, se o pesarmos reconheceremos que lhe não falta alguma cousa do seu peso. Devemos concluir d'estes factos que a divisibilidade d'este corpo póde ser levada a proporções taes que, existindo em todo o quarto particulas odoríferas que nos veem impressionar, o corpo que as emanava, não perdeu da sua substancia o bastante para se tornar sensivel ás mais apuradas balanças.

As applicações da divisibilidade são numerosas. O ouro, com que os encadernadores imprimem o titulo nas lombadas dos livros, é reduzido, pela acção do laminador, a uma espessura tão exigua como a de uma mortalha de cigarros; qualquer sopro é bastante para o fazer voar. No entanto o outro é um dos mais pesados metaes.

Quando lançamos n'um almofariz uma pedra de sal e

com a mão do almofariz a pizamos e reduzimos a pó, fazemos uma applicação da divisibilidade.

19. POROSIDADE. — Temos aqui um copo e um funil. Adaptamos um pedaço de papel pardo, dobrado convenientemente ao funil e deitamos-lhe agua por cima; vemos que a agua passa toda para baixo.

Substituamos o papel pardo por um pedaço de linho e observaremos que o mesmo phenomeno se reproduz nas mesmas circumstancias. Ora nós asseguramo-nos que nem o papel estava rasgado, nem o panno estava rôto. Sabendo que os corpos são constituídos por moleculas, concluimos d'aqui que as moleculas do papel ou do panno teem entre si intervallos por onde póde passar a agua. Reproduzindo phenomenos analogos nas mais variadas condições em outros corpos, reconhecemos que é esta uma propriedade commum a todos. Chama-se, pois, *porosidade á propriedade que tem os corpos de conservarem entre as suas moleculas intervallos maiores ou menores*. A estes intervallos dá-se o nome de *poros*.

Os poros são *sensiveis* e *insensiveis* ou *intermoleculares*. Os primeiros são aquelles que nós podemos reconhecer facilmente; os segundos são aquelles que existem entre as moleculas e que se não tornam apreciaveis aos nossos sentidos.

Costuma-se fazer, para demonstrar a existencia ou porosidade, uma experiencia que vamos reproduzir e que qualquer póde verificar se tiver á sua disposição o apparelho de que nos vamos servir. Temos na mão um tubo de vidro que na sua parte superior apresenta um pequeno reservatorio de metal, cujo fundo é de camurça ou de couro. A' parte inferior está adaptada uma rosea e uma torneira que communica com o reservatorio de uma machina, chamada pneumática, que ainda hão de conhecer mais tarde, e que serve para fazer o vacuo. Deitando mercurio no reservatorio superior do tubo, e fazendo trabalhar a machina, vê-se que este liquido atravessa sob a fórma de uma chuva prateada o fundo de camurça ou de couro. Sabem o que hão de concluir d'este facto.

Costuma ainda demonstrar-se a mesma propriedade com uma esphera ôca de metal, de paredes extremamente

delgadas, que se enche de agua, e, depois de fechada completamente, se percute com um martello. Observa-se então que a agua goteja atravez da parede metallica, sob a fórma de orvalho tenuissimo.

A *porosidade insensivel ou intermolecular* póde entrever-se pelo raciocinio. Já dissemos que se aquecermos uma bola de ferro esta augmenta de volume. Se a esfriarmos restituimol-a outra vez ás suas primitivas dimensões. Ora este facto podia ser explicado por uma penetração dos atomos, e ainda assim só a segunda parte do phenomeno receberia uma interpretação rasoavel. Mas, sabendo nós que essa penetração é impossivel, o facto só se coaduna com suppormos que entre molecula e molecula existe um espaço vasio da substancia de que é formado o corpo, espaço que augmenta ou diminue em determinadas circumstancias.

D'aqui se conclue que ha duas especies de *volume*: o *volume real* e o *volume apparente*. Chama-se *volume real* o espaço occupado por um corpo independentemente dos poros. *Volume apparente* é o que nos apresenta um corpo, sem a correcção do espaço occupado por elles. Quando medimos o volume d'um corpo, evidentemente tentamos apreciar o seu *volume relativo*.

Por outro lado, se pelo raciocinio imaginarmos que os atomos se approximaram ou se podiam approximarse de tal modo que ficassem contiguos, teriamos assim o que se chama *massa* d'um corpo, que imperfeitamente se costuma definir a *quantidade de materia que um corpo encerra*.

Ora, se nós tomarmos volumes eguaes de substancias diversas, observamos que não pesam ambos o mesmo. Isto leva-nos a crer que n'elles, apesar do mesmo volume, ha *massas differentes*. A *relação de massa para o volume* chama-se *densidade*. Voltaremos sobre o assumpto em breve.

20. COMPRESSIBILIDADE. — Se com um martello dermos uma pancada n'uma bola de chumbo amolgamol-a. Isto prova-nos, desde o momento em que sabemos já que a materia é impenetravel, que no chumbo existe uma propriedade em virtude da qual é susceptivel de tomar um volume mais pequeno.

Se sobre um copo de agua voltarmos um tubo cheio de gaz com a bocca para baixo, e lhe fôrmos impellido um movimento descendente, verificamos que o espaço, a principio grande, occupado pelo gaz, se vae cada vez reduzindo mais, á medida que o tubo se vae enterrando na agua, até ao ponto de quasi se não distinguir, se realmente o liquido rasa o fundo do tubo ou não. Se, depois d'isto, o formos retirando de vagar, observamos que o gaz realmente não tinha desaparecido porque retoma o seu primitivo lugar.

D'este modo nos convencemos tambem de que o gaz é *compressivel*, isto é, reductivel a um menor volume.

Se assim formos experimentando com outros corpos, reconhecemos que esta propriedade é commum em maior ou menor escala a todos. *Compressibilidade* é, pois: *uma propriedade geral dos corpos, em virtude da qual são susceptiveis de redução a um menor volume*. Esta propriedade é uma consequencia immediata da porosidade.

Os corpos não são todos igualmente compressiveis. Alguns solidos são-n'o em escala muito subida; pelo que diz respeito aos fluidos, uns, os liquidos, são muito pouco reductiveis a um volume menor; outros, os gazes, são em extremo compressiveis. D'aqui resulta o nome de fluidos *compressiveis* dados aos segundos, e de *incompressiveis* aos primeiros. Cumpre todavia estar de sobre-aviso que a expressão *incompressivel* não pôde ser tomada no sentido litteral, mas sim no de traduzir a difficuldade que ha na compressão.

Se a extrema compressibilidade dos gazes não ficasse perfeitamente provada pela singela experiencia que atraz descrevemos, ficallo-hia tambem com outra que se costuma fazer, com um pequeno aparelho chamado por alguns *fusil pneumático*, mas ao qual assiste mais propriamente o nome de *fusil de ar* (Fig. 2). Compõe-se de um cylindro de vidro, tapado n'uma das suas extremidades, e aberto na outra. N'esta extremidade entra um embolo que se adapta perfeitamente ao calibre do vaso; fazendo-o ca-



Fig. 2

minhar, verificamos que o ar contido no aparelho e que é impossivel escapar-se, se vae reduzindo extremamente de volume.

Inversamente, os corpos adquirem um maior volume, todas as vezes que empreguemos meios capazes de affastar as suas moleculas, isto é, quando augmentemos a força repulsiva molecular que é analoga á força repulsiva do calor.

Póde dizer-se d'uma maneira geral que os corpos augmentam de volume quando aquecem, e que diminuem de volume quando se arrefecem. E' assim que se podem fazer passar de solidos a liquidos e de liquidos a gazes e inversamente de gazes a liquidos e de liquidos a solidos.

21. ELASTICIDADE. — Se humedecermos com oleo uma mesa de marmore e sobre ella deixarmos cahir uma bola de marfim, verificamos que ella deixa uma impressão circular tanto maior quanto maior fôr a altura de que a deixarmos cahir. Este facto prova-nos que a bola se achatou, se comprimiu quando tocou o plano resistente. Mas como, examinando a bola, não reconhecemos n'ella depressão alguma, concluimos que a bola de marfim, além da propriedade de diminuir de volume, tem a de retomar o volume primitivo.

Se repetirmos a experiencia feita ha pouco com o tubo cheio de gaz, verificamos que introduzindo-o na agua com a bocca para baixo, de tal sorte comprimimos o ar n'elle existente que não reconhecemos quasi espaço entre o nivel do liquido e o fundo do tubo. Mas se o fôrmos levantando, o espaço occupado vae augmentando successivamente, o que prova a tendencia para occupar o seu primitivo logar.

Diremos pois que nos corpos existe uma propriedade geral — a elasticidade — em virtude da qual tendem a tomar a fórma e volume primitivos logo que cessa a causa que os tinha modificado.

Os corpos não são todos igualmente elasticos: alguns solidos são-n'o em muito pequena escala, mas os gazes e sobretudo os liquidos são extremamente elasticos.

Prova-se muito bem esta propriedade dos gazes por

meio de um brinquedo extremamente simples, que todos conhecem, e a que se dá o nome de *arcabuz*. O arcabuz é composto de um pequeno troço de arvore, ordinariamente de sabugueiro, a que préviamente se tem tirado a medulla; este tubo, aberto nas suas duas extremidades, é tapado n'uma d'ellas com uma rolha de cortiça, e pela outra entra um embolo feito de uma haste massiça qualquer, tendo na sua extremidade uma pouca de estopa. Carregando no embolo de maneira a que caminhe no interior do tubo, o ar existente n'elle vae-se comprimindo até que a elasticidade o obriga a fazer saltar a rolha, o que se executa com um certo estampido.

Outro brinquedo — a péla de borracha — é tambem fundado n'esta mesma propriedade.

22. MOBILIDADE. — Se dermos uma pancada com um taco n'uma bola de bilhar está começa a correr pelo panno adiante. Se agarrarmos n'uma pedra e a propellirmos com força vemol-a cair a uma grande distancia.

Isto leva-nos a suppor que existe nos corpos *uma propriedade geral em virtude da qual podem mudar de logar*. Esta propriedade chama-se *mobilidade*; o acto de mudar de logar chama-se *movimento*; o acto opposto ao de movimento chama-se *repouso*.

Para podermos dizer que um corpo está em movimento ou em repouso precisamos de referir as suas posições aos outros corpos que o cercam; é por isso que se chama *repouso* ou *movimento relativo*. Se houvesse no espaço pontos de referencia fixos, chamar-se-ia *repouso* ou *movimento absoluto* ao que se executasse em relação a elles. Estes pontos de referencia não existem, e por tal motivo o repouso e movimento que observamos são sempre relativos.

23. INERCIA. — Qualquer corpo que deixemos estar em repouso permanece assim indefinidamente se outra causa não actuar sobre elle. Qualquer corpo que ponhamos em movimento permanecerá assim durante muito tempo, e se não continua indefinidamente é porque, como em breve veremos, se introduzem n'este phenomeno cir-

cumstancias que o modificam. Estes factos levam-nos a admittir uma propriedade chamada *inercia* que se traduz *por não poderem os corpos alterar o seu estado de repouso ou de movimento, sem o auxilio d'uma causa externa qualquer*. Toda a causa de movimento chama-se *força*.

Quando um cavallo a galope pára subitamente, o cavalleiro é projectado para diante e com difficuldade conseguirá não saltar com violencia pelas orelhas do animal. E' uma consequencia da *inercia*.

Quando queremos enterrar o cabo de um martello batendo com elle na terra e sustentando a parte de ferro, fazemos uma applicação de *inercia*. O choque destróe o movimento do cabo, mas a cabeça do martello prosegue.

---

### CAPITULO III

#### Noções d'estatica

Movimento e repouso. Forças. Equilibrio. Resultante e componentes. Regra do parallelogrammo das forças. Composição de forças parallelas. Conjugados ou binarios.

24. MECHANICA. — Chama-se *força* toda a causa capaz de determinar movimento. A parte da physica que se occupa do movimento e das forças chama-se *mechanica*.

As forças tomam o nome de *potencias* quando tendem a produzir um certo effeito, e o de *resistencias* quando se oppõem a esse effeito. As primeiras tendem a augmentar a velocidade do movel e por isso se denominam *acceleradoras*; as seguidas produzem o effeito contrario e d'ahi o chamar-se-lhes *retardadoras*.

As forças podem actuar sobre os corpos durante um tempo muito pequeno ou prolongarem a sua acção. No primeiro caso chamam-se *instantaneas*; no segundo *continuas*. A força determinada pela explosão da palavra é uma força instantanea; o que sollicita os corpos a cair é uma força continua.

25. REPRESENTAÇÃO E COMPARAÇÃO DAS FORÇAS. — Para caracterisar uma força, são precisos tres elementos essenciaes: o *ponto de applicação*, a *direcção* e a *intensidade*.

Chama-se *direcção* da força a linha que representasse o movimento que imprimiria ao movel, se por ventura elle estivesse em repouso e não obedecesse a outra acção que não fosse a d'essa força.

*Intensidade* da força é o seu valor em relação a outra que seja tomada para unidade.

Costuma representar-se a direcção de una força por uma linha, a intensidade fazendo entrar na recta que exprime a direcção entrar tantas vezes a unidade de extensão como na força a unidade de força.

26. COMPOSIÇÃO E DECOMPOSIÇÃO DAS FORÇAS. — Se duas ou mais forças concorrem para produzir um determinado effeito, designa-se este conjuncto pelo nome de *systhema de forças*. A força capaz de as substituir a todas chama-se a sua *resultante*, e as forças substituidas chamam-se *componentes*.

Se as direcções de duas forças são parallelas, dizem-se as forças *parallelas*; se formam entre si um angulo, dizem-se *concorrentes* ou *angulares*.

Quando achamos a resultante de duas forças diz-se que fazemos *composição de forças*; quando resolvemos uma *resultante* nas suas componentes fazemos *decomposição de forças*.

27. EQUILIBRIO. — Se applicamos a um movel duas forças eguaes mas em sentido contrario, o movel permanece no estado de movimento ou de repouso que anteriormente tinha. Dizemos que o corpo está em *equilibrio*. O equilibrio differe do repouso em que n'este supõe-se que o corpo não é sollicitado por força alguma. A parte da mecanica que trata das forças em equilibrio chama-se *estatica*.

28. FORÇAS DA MESMA DIRECÇÃO. — Admitte-se que duas forças actuando no mesmo sentido e direcção teem como

resultante uma força com o mesmo sentido e direcção e igual em intensidade á somma das duas primeiras.

Duas forças de igual direcção, mas em sentido contrario, teem como resultante uma força cuja intensidade é igual á differença entre ellas, e actua no sentido da maior das componentes.

Dos dois principios anteriores conclue-se que se muitas forças actuarem na mesma direcção, mas em sentidos contrarios, a sua resultante será igual á differença entre a totalidade das forças n'um sentido e a das forças que actuam no opposto, e terá o sentido da maior das sommas.

29. COMPOSIÇÃO DE DUAS FORÇAS PARALLELAS. — A resultante de duas forças parallelas, actuando no mesmo sentido, é igual á somma das duas forças, tem uma direcção parallelas e um ponto de applicação situado de tal modo que divide a recta que une os pontos de applicação das duas forças em dous segmentos additivos inversamente proporcionaes ás intensidades d'ellas.

Se por AB (fig. 3) a recta que une os pontos de applicação A e B das duas forças AP e BQ, a resultante CP + Q será igual em intensidade á somma de AP e BQ e o seu ponto de applicação C estará collocado de tal modo que

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

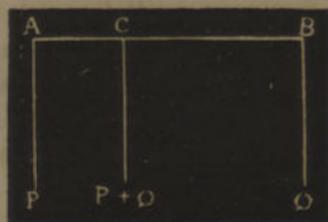


Fig. 3

A resultante de duas forças parallelas mas actuando em sentidos differentes é igual em intensidade á differença entre ellas, a sua direcção ser-lhes-ha parallelas, o sentido será o da força maior e o seu ponto de applicação estará collocado no prolongamento da recta que une os pontos d'applicação, do lado da força maior e de tal sorte que as distancias que vão d'esse ponto aos de applicação das forças sejam universalmente proporcionaes.

Sejam AP e BQ as forças, e AB a linha de reunião

dos pontos de applicação (fig. 4). A resultante estará no prolongamento de AB do lado da força maior e de tal sorte que

$$\frac{AP}{BQ} = \frac{CB}{CA}$$

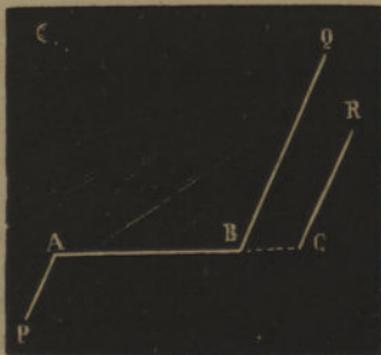


Fig. 4

### 30. BINARIO OU CONJUGADO.

—Duas forças paralelas eguaes, mas em sentido contrario, não tem resultante, não podem ser substituidas por uma só força. Se o meio da recta de applicação é fixo, o effeito produzido é um movimento de rotação em torno d'esse ponto. A esse systema de forças dá-se o nome de *conjugado* ou *binario*.

31. COMPOSIÇÃO DE MUITAS FORÇAS PARALLELAS. — A resultante de muitas forças paralelas que tenham o mesmo sentido é egual á somma de todas em intensidade, e o seu ponto de applicação é obtido procurando o correspondente á resultante de duas forças, depois á d'essa resultante e uma terceira, etc. O ponto d'applicação d'estas forças chama-se *centro de forças paralelas*. Este ponto tem de particular que se mudarmos de sentido todas as forças, ou se as fizermos variar de intensidade n'uma mesma razão, ainda assim será invariavel.

A resultante de muitas forças paralelas, tendo sentidos deseguaes, obtem-se procurando a resultante de todas as forças n'um sentido, e a de todas no outro e obtendo depois a resultante final, pelos principios já anteriormente explanados.

32. COMPOSIÇÃO DE FORÇAS CONCORRENTES: PARALLELOGRAMO DAS FORÇAS. — A resultante de duas forças angulares ou concorrentes é representada em intensidade e direcção pela diagonal do parallelogramo construido sobre as linhas que as representam.

Sejam P e Q duas forças angulares (fig. 5) applicadas ao

ponto material A. A resultante será representada pela linha AR que, como se vê na figura 5, é a diagonal do parallelogrammo construido sobre as duas forças.

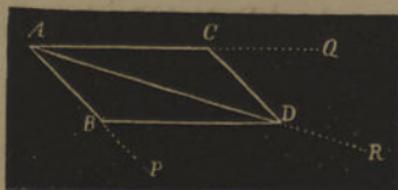


Fig. 5

A resultante de muitas forças concorrentes, situadas no mesmo plano, obtém-se procurando a resultante de duas pelo processo acima mencionado, depois a d'essa resultante e uma terceira, etc.

33. DECOMPOSIÇÃO DE FORÇAS. — Quando dada uma força a procuramos resolver em duas que sejam susceptíveis de produzir o mesmo effeito, dizemos que a *decomposmos*. A operação a que se procede chama-se *decomposição de forças*.

34. DECOMPOSIÇÃO DE FORÇAS PARALLELAS. — 1.º E' nos dada a força  $CP + Q$  (fig. 3) cujas componentes se procuram. São-nos dados tambem os pontos A e B aos quaes devem estar applicadas as forças componentes. Como o ponto C fica intermedio aos pontos de applicação das duas componentes, ficamos desde logo sabendo que estas serão no mesmo sentido. Limita-se o problema a tirar por A e B linhas parallelas a  $CP + Q$ , que vêm a representar a direcção das componentes, e, para acharmos as suas respectivas intensidades, servimo-nos da formula atraz apresentada (30).

$$\frac{P}{Q} = \frac{BC}{AC}$$

d'onde se tira :

$$\frac{P + Q}{P} = \frac{AC + BC}{AC}$$

o que se chamarmos R a  $P + Q$  equivale a

$$\frac{R}{P} = \frac{AB}{AC}$$

d'onde se tira o valor de P perfeitamente

$$P = \frac{R \times AC}{AB}$$

O valor de Q é representado pela differença

$$R - P$$

2.º Supponhamos porém que nos é dada a recta CR para lhe acharmos duas componentes parallelas que passem pelos pontos A e B situados n'uma mesma linha (fig. 4). O mesmo é que saber que as forças serão em sentidos oppostos. Tiramos por A e B linhas parallelas e estas rectas representar-nos-hão a direcção das duas componentes. Quanto á sua intensidade, facil é encontrar-lhes o valor, applicando conhecimentos já adquiridos.

$$\frac{Q - P}{P} = \frac{AC - BC}{BC}$$

ou

$$\frac{R}{P} = \frac{AB}{BC}$$

d'onde se tira:

$$P = \frac{R \times BC}{AB}$$

N'este caso, Q é igual a  $P + R$

35. DECOMPOZIÇÃO DE UMA FORÇA EM DUAS CONCORRENTES. — E'-nos dada (fig. 5) a recta AD e pedem-nos que decomponhamos esta força em duas angulares segundo a direcção AP e AQ. Tiramos por D uma parallela a AP e outra a AQ. As rectas AB e AC representarão as intensidades das duas forças componentes.

---

## CAPITULO IV

## Noções de cinematica

Movimento uniforme e variado. Trajectoria. Velocidade. Acceleração. Leis do movimento uniformemente variado. Movimento curvilíneo. Força tangencial e centripeta. Movimento de rotação. Leis da força centrífuga. Applicação ao movimento de rotação da terra.

36. DEFINIÇÃO.— Chama-se *cinematica* a parte da mecnica em que se estuda o movimento em si, independentemente das forças que o produzem.

37. *Movel: ponto material.* Quando se quer estudar o movimento d'um corpo abstrae-se das suas dimensões e representamol-o por um ponto em que se suppõe reunida toda a sua massa e que é designado pelo nome de *ponto material*. Um corpo em movimento é um *movel*. Se representarmos a serie de posições occupadas por um corpo em movimento, ou melhor, pelo ponto material que o representa, teremos assim formada uma linha a que se chama *trajectoria*.

Conforme a fórma da trajectoria, assim o movimento toma diversos nomes: chama-se *rectilíneo*, se a trajectoria é uma linha recta; *curvilíneo* se é uma curva. Os movimentos curvilíneos recebem ainda nomes diversos, conforme a especie de curva que a sua trajectoria affecta. Assim póde ser *ellyptico*, *circular*, *parabolico*, conforme a trajectoria é um arco de ellypse, de circulo, de parabola, etc.

38. TEMPO — VELOCIDADE. — Para o estudo do movimento, não é apenas necessario a consideração da trajectoria, é indispensavel conhecer tambem o tempo que leva o movel a descrever a sua trajectoria, ou melhor ainda as diversas partes d'essa trajectoria.

A medida do tempo é tirada de phenomenos astronomicos de observação quotidiana, os quaes se apresentam

successivamente e que se chamam *dias*, que, como se sabe, são os intervallos que existem entre duas passagens do sol pelo mesmo meridiano. Cada dia divide-se em 24 horas; cada hora em 60 minutos; cada minuto em 60 segundos.

A unidade do tempo é o segundo. Se observarmos dois corpos animados de movimento, verificamos que elles percorrem no mesmo tempo espaços deseguaes. A relação do *espaço percorrido* para o *tempo* é o que se chama *velocidade*. Se um homem andar n'uma hora cinco kilometros, diremos que a sua velocidade é de  $\frac{\text{kilometros}}{3600 \text{ segundos}} = 13$  metros e uma fracção.

Poderíamos tambem definir *velocidade* o espaço percorrido na unidade de tempo. A' definição de *velocidade* teremos ainda de fazer algumas modificações.

39. MOVIMENTO UNIFORME E VARIADO. — Se um corpo em movimento percorre em tempos eguaes espaços eguaes diz-se que o movimento é *uniforme*. Se os espaços percorridos são deseguaes diz-se que o movimento é *variado*.

40. MOVIMENTO UNIFORME: SUAS LEIS. — Já definimos movimento uniforme; é n'esse que a *velocidade* é tal qual acima a definimos. Com effeito, representando por  $v$  o espaço percorrido por um corpo em movimento n'um segundo, como os espaços percorridos no movimento uniforme em tempos eguaes são eguaes entre si, temos que o espaço e percorrido pelo movel ao cabo de dois segundos será duas vezes  $v$ , ao cabo de tres segundos será de tres vezes  $v$ , etc., e d'uma maneira geral para o tempo  $t$  expresso em segundos  $v \times t$ . Esta formula é a do movimento uniforme. D'esta tira-se  $v = \frac{e}{t}$ , e uma e outra traduzem as leis do movimento uniforme.

41. MOVIMENTO VARIADO. — 1.º *Definição*. Se os espaços percorridos por um movel em successivos espaços de tempo eguaes variam, sabemos já que o movimento recebe o nome de *variado*. Se os espaços percorridos vão augmen-

tando diz-se que o movimento é *acelerado*: se diminuem que é *retardado*. Se os espaços percorridos no movimento variado vão augmentando ou diminuindo em tempos eguaes quantidades eguaes, diz-se que é *uniformemente variado*. A quantidade positiva ou negativa que mede a variação da velocidade em cada unidade de tempo chama-se *accele-  
ração*.

2.º *Velocidade*. No movimento uniformemente accele-  
rado, como os espaços percorridos em tempos eguaes não são eguaes, a velocidade não póde ser definida como no movimento uniforme — o caminho percorrido na unidade de tempo. Como a velocidade varia, só se póde considerar e definir tendo em attenção um tempo qualquer  $t$ .

Se representarmos por  $y$  a aceleração, e suppozermos o corpo como partido do repouso, a sua velocidade ao cabo d'um segundo será  $y$ , ao cabo de dois segundos  $2y$ , e ao cabo de  $t$  segundos  $yt$ . Se em vez de partir do repouso, o movel tiver uma velocidade inicial  $a$ , a velocidade será expressa pela seguinte equação:

$$v = a + yt$$

3.º *Equação do movimento*. Um corpo que parta do repouso e se mova durante  $t$  segundos, com um movimento uniformemente acelerado, e uma velocidade final  $yt$ , percorrerá necessariamente o mesmo caminho que percorreria, no movimento uniforme, com uma velocidade media  $\frac{yt}{2}$ . Então, em virtude da equação do movimento uniforme  $e = vt$ , teremos  $e = \frac{yt}{2} \times t = \frac{1}{2} yt^2$

4.º *Leis do movimento uniformemente acelerado*. As duas equações relativas ao movimento uniformemente acelerado podem ser enunciadas da fôrma seguinte:

1.º *As velocidades crescem proporcionalmente aos tempos*, o que quer dizer que ao cabo d'um tempo duplo, triplice, quadruplo, a velocidade será tambem dupla, triplice, quadrupla.

2.<sup>o</sup> Os espaços percorridos são proporcionaes aos quadrados dos tempos empregados em percorrel-os, o que significa que se representarmos por 1 o espaço percorrido n'um segundo, os caminhos percorridos em 2, 3 e 4 segundos estarão entre si como 4, 9, 16 etc.

42. MOVIMENTO CURVILINEO.—Quando os senhores eram um pouco mais novos, conheceram decerto um divertimento que consistia em arremessar pedras a uma certa distancia, tendo-as amarrado préviamente a um fio, e fazendo-as girar muitas vezes em torno da mão antes de as despedir. Pelo que conhecem de physica já perceberam que imprimiam d'esta sorte um movimento curvilineo ao movel, mas como sabem tambem que uma só força ha de produzir sempre, em virtude da inercia, um movimento rectilineo, devem pensar que o movel obedecia a duas forças. Ora uma d'ellas aproveitavam os senhores inconscientemente ao produzirem este phenomeno, quando largavam a extremidade do fio e viam a pedra seguir a grande distancia: era a *força centrifuga*. Agora que o ficam sabendo, pensam tambem que se o movel não obedecia a esta força, era porque outra, a resistencia do fio, a isso se oppunha. Essa representava a chamada *força centripeta*.

Effectivamente, em todo o movimento curvilineo, se desenvolve uma força chamada *centrifuga*, isto é, que tende a desviar o movel do centro de rotação e uma outra diametralmente opposta a que se chama *centripeta*.

Se quizerem observar um phenomeno curioso, devido á força centrifuga, procurem um instrumento chamado *caminho de ferro aereo* que se compõe de dois rails que, tendo primeiro uma direcção fortemente obliqua, formam depois uma volta d'esprial, tornando-se depois novamente obliquos. Se do ponto superior da rampa deixarmos partir um pequeno carro cujas rodas correspondam aos rails, observaremos que o carro dará a volta d'esprial sem cahir em virtude da força centrifuga que se desenvolve.

43. LEIS DA FORÇA CENTRIFUGA. — A observação demonstrou que a força centrífuga está sujeita a um certo numero de leis que hão de esforçar-se por reter :

1.<sup>a</sup> LEI. — *As forças centrífugas são proporcionaes ás massas, quando os moveis descrevem circulos do mesmo raio com a mesma velocidade.* Podem verificar esta lei, approximadamente, atando a fios de eguaes comprimentos corpos de differente peso e largando-os depois de os terem feito dar o mesmo numero de voltas : verão que o corpo mais pesado vae mais longe.

2.<sup>a</sup> LEI. — *Conservando-se a mesma massa e o raio do circulo descripto, as forças centrífugas são proporcionaes aos quadrados das velocidades.* Esta lei só pôde ser demonstrada pelo calculo e verão adiante como.

3.<sup>a</sup> LEI. — *Sendo a mesma a velocidade e a massa, as forças centrífugas são inversamente proporcionaes aos raios dos circulos descriptos.*

Convencem-se da verdade d'esta lei tomando dois fios de comprimentos differentes, ligados a corpos do mesmo peso, e depois de os fazerem, com a mesma velocidade, descrever uma serie de circulos abandonando-os. Verão que vae mais longe aquelle corpo a que estiver atado ao fio mais curto.

4.<sup>a</sup> LEI. — *Todas as vezes que um corpo descreve ao mesmo tempo circumferencias de raios deseguaes, as forças centrífugas desenvolvidas em cada um dos pontos d'essas circumferencias são proporcionaes aos raios.*

Esta lei, demonstravel pelo calculo, é tambem posta em evidencia por uma experiencia feita com um apparelho que se compõe de duas laminas de aço, extremamente flexiveis, de fórma circular e collocadas perpendicularmente uma á outra. Estas laminas estão presas na sua parte inferior a uma haste de ferro que na superior os atravessa livremente. O apparelho pôde ser posto em rapido movimento, por intermedio de uma manivella a que está presa uma corda sem fim. Fazendo-o girar, os dois circulos achatam-se tanto mais, quanto maior fôr a velocidade com que os animarmos.

44. FORMULA DA FORÇA CENTRIFUGA. — *Deducção pelo calculo das suas leis.* O calculo demonstra que a formula da força centrífuga é representada por

$$F = \frac{mv^2}{R} \quad (1)$$

em que  $m$  representa a massa do movel,  $v$  a sua velocidade e  $R$  o raio da trajectoria. D'esta formula se deduzem facilmente as leis a que está sujeita.

Para a demonstração da primeira lei que nós formulamos : *as forças centrífugas são proporcionaes ás massas, quando os moveis des-*

crevem círculos do mesmo raio com a mesma velocidade, comparemos as duas forças  $F$  e  $F'$ . Teremos

$$\frac{F}{F'} = \frac{\frac{mv^2}{R}}{\frac{m'v'^2}{R'}} \quad (2)$$

Introduzindo na formula  $R = R'$  e  $v = v'$  transformal-a-hemos em

$$\frac{F}{F'} = \frac{m}{m'} - 1.ª \text{ lei}$$

Se quizermos deduzir da formula a 2.ª lei que conforme o nosso enunciado se traduz: *Conservando-se a mesma a massa e o raio do círculo descripto, as forças centrífugas são proporcionaes aos quadros das velocidades*, introduzimos a traducção d'estas condições na formula (2), isto é:  $m = m'$  e  $R = R'$  teremos nós

$$\frac{F}{F'} = \frac{v^2}{v'^2} - 2.ª \text{ lei}$$

Para acharmos a terceira lei: *Sendo a mesma a velocidade e a massa as forças são inversamente proporcionaes aos raios dos círculos descriptos*, introduzimos essas condições na formula 2, isto é,  $m = m'$  e  $v = v'$  e tel-a-hemos transformado em

$$\frac{F}{F'} = \frac{\frac{mv^2}{R}}{\frac{mv^2}{R'}}$$

Como na divisão de quebrados se multiplicam os numeradores pelos denominadores a formula transforma-se em

$$\frac{F}{F'} = \frac{mv^2 \times R'}{mv^2 \times R}$$

mas como  $mv^2$  é constante no numerador e denominador, temos

$$\frac{F}{F'} = \frac{R'}{R} - 3.ª \text{ lei}$$

A quarta lei deduz-se da mesma fórma, visto que nos seus elementos pôde ser reduzida a esta.

45. MOVIMENTO DE ROTAÇÃO. — Todas as vezes que as moléculas d'um corpo se movem em torno d'um eixo, dizemos que está animado d'um movimento de rotação.

Se tivermos uma esphera n'estas condições, é claro que qualquer molécula que considerarmos da sua superficie ou da sua massa descreverá um circulo cujo raio varia desde 0 até ao raio da esphera. Em vista da quarta lei da força centrífuga, será esta força mais intensa nos pontos mais distantes do centro de rotação, o que de resto era de prever, visto que n'elles é maior a velocidade.

E' o caso da terra que tem um movimento de rotação em torno do seu eixo, além do de translação curvilíneo em roda do sol. Ora como o eixo em torno do qual se move a terra tem por terminação os dois polos é ahí muito menos intensa a força centrífuga do que no equador onde attinge o seu maximo.

Dentro em pouco veremos que ha uma força que sollicite os corpos collocados á superficie do solo para o centro da terra. Essa força denominada *gravidade* representa no nosso caso a força centripeta, a que aquella se oppõe. Da relação entre as duas forças depende a intensidade da gravidade nos differentes logares da terra.

46. RESISTENCIAS. — Já dissemos que por *resistencia* se entende toda a força que se oppõe á realisação d'um certo effeito.

Vimos que, quando um corpo estava em repouso, assim permanecia indefinidamente, mas não acontece o mesmo com um corpo em movimento que dentro em pouco voltava ao estado de quietação. Dissemos tambem que este facto se dava porque circumstancias extranhas se introduziam no phenomeno.

Se começarmos a correr com velocidade, sentimos uma impressão de resistencia do ar que nos cerca, resistencia que se nos traduz por uma corrente d'ar em sentido opposto áquelle em que caminhamos. Ora se atirmos uma pedra na mesma direcção em que anteriormente caminhamos, esta ha de experimentar a mesma resistencia da parte do meio em que se move. Isto que se dá com um

corpo movendo-se no ar, dá-se com outros que se movem na agua, ou em outro qualquer meio. Chama-se a esta causa modificadora do movimento — *resistencia dos meios*. Não é ella a unica, como passamos a vêr.

47. **ATTRITO: SUAS ESPECIES.** — Se já viram o travão de um carro, vão comprehender perfeitamente o que lhes vou explicar. Sabem que um carro em movimento rapido, sob a acção do travão, modifica para menos a sua velocidade. O travão consiste na sua essencia n'um pedaço de metal que, por um systema qualquer de parafusos, é collocado em contacto com as rodas do carro. Isto quer dizer que o travão oppõe uma certa resistencia ao movimento de que a roda do carro vae animada e por consequencia temos de admittir que *os corpos encontram resistencia em mover-se uns sobre os outros*. Esta resistencia é o que se chama *attrito ou fricção*.

Se n'um plano inclinado imprimirmos a mesma velocidade a uma esphera e a um cubo do mesmo peso verificamos que a bola anda mais depressa que o cubo, e que a esphera chega ao termo do plano ao passo que o cubo fica a um meio ou terço do caminho. D'aqui concluo que o attrito que a bola encontra é menor e differente do que encontra o cubo. São effectivamente duas especies de *attrito*: o de *escorregamento* e o de *rolamento*. O attrito que encontra um corpo pondo pontos successivos da sua superficie em contacto com aquelle sobre que se move chama-se *attrito de rolamento*. O attrito que encontra um corpo que tem pelo menos tres pontos em contacto com a superficie sobre que se move constitue o *attrito por escorregamento*. O segundo, como se viu, é muito maior que o primeiro.

48. **REACÇÃO EGUAL Á ACÇÃO.** — Se suspendermos por um fio um corpo qualquer, sabemos já que este pelo seu peso exerce uma pressão sobre aquelle; mas pelo seu lado o fio reage pela sua tenacidade com força egual e contraria, o que impede o corpo de cahir.

Quando introduzimos um tubo fechado n'uma extremidade, para demonstrar a elasticidade, n'uma bacia com

agua, observamos que ao fazermos pressão sobre o copo no sentido de o mergulhar, se n'esse momento o deixassemos elle voltaria pouco mais ou menos ao mesmo estado.

Não sei se viram já dar um tiro de peça, mas todos tem talvez já andado á caça e experimentado o que vamos dizer. Quando se dispara um canhão ou quando se dá um tiro de espingarda o projectil é arremessado para fóra, mas ao mesmo tempo o canhão recua ou o caçador recebe o chamado couce da espingarda, isto é, um violento impulso no hombro em que está applicada a arma.

Estes exemplos extremamente accessiveis levam a admitir a existencia de um principio fundamental de mechanica: *todas as vezes que um corpo é sollicitado por uma força, desenvolve-se uma outra que lhe é igual e contraria.* E' este principio o chamado de *reacção equal á acção.*

---

## CAPITULO V

### Noções de dynamica

Proporcionalidade das forças ás accelerações. Massa. Quantidade de movimento. Medida das forças constantes. Trabalho mecanico. Força viva. Principio das forças vivas. Unidades d'espaco, tempo, massa, força e trabalho, no systema metrico e no systema C. G. S.

49. DYNAMICA. — Chama-se *dynamica* a parte da mecanica em que se estudam as forças, não em equilibrio, mas produzindo o movimento.

50. PROPORCIONALIDADE DAS FORÇAS ÁS ACCELERAÇÕES. — Se tivermos duas forças constantes  $F$  e  $F'$  cujas intensidades estejam entre si na relação de 2 para 4, é claro que a segunda pôde ser substituida por 2 eguaes á primeira applicadas simultaneamente e com a mesma direcção ao movel, e uma e outra por tantas forças eguaes, quantas vezes encerram a unidade que serviu de medida commum. D'aqui resulta que a acceleração de velocidade  $g$  produzida pela força  $F$  será equal a 2 vezes a acceleração determinada pela força que serviu de medida commum. Pela mesma razão a acceleração  $g'$ , produzida pela força  $F'$  será equal a 4 vezes a determinada pela

força que serviu d'unidade. Logo, as accelerações  $g$  e  $g'$  estarão na mesma relação que as forças  $F$  e  $F'$ , o que se exprime por esta egualdade

$$\frac{F}{F'} = \frac{g}{g'}$$

D'aqui se tira que: *quando duas ou mais forças constantes actuam successivamente sobre um mesmo movel, communicam-lhe em tempos eguaes accelerações que lhes são proporcionaes.*

51. **MEDIÇÃO DAS FORÇAS.** — Do principio que fica estabelecido, deduz-se que, sendo conhecidas as forças pelos seus effectos, é possível medir as forças constantes pelas accelerações, exprimindo as forças em *kilogrammas* e as velocidades em *metros*. Os instrumentos que servem para a medição das forças chamam-se *dynamometros*.

52. **MASSA.** — Egualdade que acima fica escripto  $\frac{F}{F'} = \frac{g}{g'}$  podemos deduzir

$$\frac{F}{g} = \frac{F'}{g'}$$

o que quer dizer que, para cada movel, a relação existente entre uma força que actua sobre elle e a acceleração que lhe communica é a mesma, seja qual fôr a força. E' esta relação que se denomina em *mecanica massa*.

Se a força que considerarmos fôr a resultante das acções da gravidade sobre um corpo, isto é o seu peso  $P$  e representarmos por  $g$  a acceleração produzida, teremos que só n'esse caso a massa  $M$  terá por expressão

$$M = \frac{P}{g}$$

a que se traduz por definir *massa* d'um corpo a *relação do seu peso para a acceleração que toma sob a acção da gravidade*.

Se, n'aquella egualdade, suppozermos  $M = 1$  teremos que  $P = g$ , o que quer dizer que a unidade de massa é a massa d'um corpo que, n'um logar determinado, tem um peso expresso em *kilogrammas* pelo mesmo numero que exprime a acceleração que esse corpo toma caindo livremente no mesmo logar.

53. **QUANTIDADE DE MOVIMENTO.** — Se ás massas  $M$  e  $M'$  de dois corpos differentes forem applicadas as forças  $F$  e  $F'$ , communicar-lhes-hão accelerações  $v$  e  $v'$ ; estas quantidades estarão entre si na relação expressa do seguinte modo:

$$\frac{F}{v} = M \quad \frac{F'}{v'} = M'$$



d'onde

$$\frac{F}{F'} = \frac{Mv}{M'v'} \dots (1)$$

Mas, estando as accelerações entre si como as velocidades adquiridas, representando por  $V$  e  $V'$  as velocidades temos que

$$\frac{v}{v'} = \frac{V}{V'}$$

o que, substituído na equação (1) dá em resultado

$$\frac{F}{F'} = \frac{MV}{M'V'}$$

D'esta segunda equação deduz-se que: *Duas forças constantes estão entre si como os productos das massas dos corpos a que estão applicadas pelas velocidades que lhes communicam no mesmo espaço de tempo.*

O producto  $MV$  da massa d'um corpo pela sua velocidade é o que se chama *quantidade de movimento* o que permite enunciar a lei acima escripta do seguinte modo: *Duas forças constantes estão entre si como as quantidades de movimento que imprimem aos moveis a que estão applicadas.* D'aquí resulta um novo meio de medir as forças pela avaliação numerica da quantidade  $MV$ . Adoptando por unidade de força a que n'um segundo imprima á unidade de massa a unidade de velocidade, o producto  $MV$  exprimirá em kilogrammas a intensidade d'essa força.

Discutamos a formula  $\frac{F}{F'} = \frac{MV}{M'V'}$ . Se supozermos  $V = V'$  teremos que  $\frac{F}{F'} = \frac{M}{M'}$  o que se enuncia d'este modo: *Duas forças que communicam a massas diferentes velocidades eguaes estão entre si como essas massas.*

Se na mesma egualdade fizermos  $F = F'$  teremos  $\frac{V}{V'} = \frac{M}{M'}$  o que se traduz d'este modo: *as velocidades communicadas por uma mesma força actuando successivamente sobre massas deseguaes estão entre si como essas massas.*

454. TRABALHO MECANICO. — Dá-se o nome de *trabalho mecanico* d'uma força, n'um tempo determinado, ao producto d'essa força pela deslocação do seu ponto d'applicação, no mesmo tempo, e no sentido da sua direcção. Se representarmos por  $F$  a força, por  $E$  o espaço percorrido e por  $T$  o trabalho mecanico, a relação entre estas quantidades será assim expressa:

$$T = F \times E.$$

A avaliação de F faz-se em kilogrammas, a de E em metros. A unidade adoptada tem o nome de *kilogrammetro*, e é o trabalho mechanico necessario para elevar um kilogramma á altura d'um metro.

Se representarmos por P e P' dois pesos diferentes que se tenham d'elevant á mesma altura e por K o trabalho que seja necessario para elevar á mesma altura a unidade de peso, é claro que o trabalho T necessario para elevar o peso P será igual a  $K \times P$ , e que o trabalho T' necessario para elevar o peso P' será igual a  $K \times P'$ , d'onde se deduz

$$\frac{T}{T'} = \frac{K \times P}{K \times P'} = \frac{P}{P'}$$

o que se traduz dizendo que: *os trabalhos effectuados para elevar diferentes pesos a uma mesma altura são proporcionaes a esses pesos.*

Se as alturas fossem diferentes, pela mesma maneira se demonstraria que  $\frac{T}{T'} = \frac{H}{H'}$  o que equivaleria a dizer que *os trabalhos effectuados para elevar um mesmo peso a alturas diferentes são proporcionaes a essas alturas.*

Se considerarmos agora as duas egualdades

$$\frac{T}{T'} = \frac{P}{P'} \text{ e } \frac{T}{T'} = \frac{H}{H'}$$

e representarmos por T'' o trabalho necessario para elevar o peso P' á altura H, teremos que

$$\frac{T}{T''} = \frac{P}{P'} \text{ e } \frac{T''}{T} = \frac{H}{H'}$$

Se multiplicarmos agora termo a termo as duas egualdades e supprimirmos o factor commum T'', deduz-se

$$\frac{T}{T'} = \frac{P \times H}{P' \times H'}$$

o que se exprime assim: *os trabalhos effectuados para elevar pesos diferentes a alturas diferentes estão entre si como os productos de cada um d'esses pesos pela altura a que foi elevado.*

55. FORÇA VIVA. — Quando um corpo se acha em movimento é susceptivel de produzir n'um momento dados effectos mechanicos dependentes da sua massa e da sua velocidade. Esse poder dynamico que possuem todos os corpos em movimento chama-se *força viva* ou *energia actual*.

Demonstra-se em mechanica que a *força viva* é igual a metade do producto da massa *m* pelo quadrado da velocidade *v* de que se

acha animada, no momento que se considera, o que tem por expressão  $\frac{1}{2}mv^2$  E' por egual demonstrado que esta força viva adquirida ao cabo d'um certo tempo por um corpo animado de movimento uniformemente accelerado é egual ao trabalho effectuado no mesmo tempo pela força que o sollicita, o que se exprime assim  $T = \frac{mv^2}{2}$ .

As forças vivas estão subordinadas a um principio geral — o *theorem* das forças vivas — que se enuncia d'este modo: *A somma de trabalhos de todas as forças que actuam sobre os diferentes pontos d'um systema material, n'um intervallo de tempo determinado, é egual á semi-somma das variações de forças vivas de todos esses pontos.*

Em parallelo com a *energia actual*, existe em certos corpos uma outra especie d'energia que, comquanto latente, podem pôr em evidencia n'um momento qualquer. Se tivermos uma mola tensa, só quando a largarmos produzirá effeitos mechanicos. A essa especie d'energia dá-se o nome d'*energia potencial* ou *força de tensão*.

56. UNIDADES NO SYSTEMA METRICO. — Ao occuparmo'-nos da definição de força, trabalho, etc., demos noticia do que se entende por unidades a que se devem referir essas quantidades, no systema metrico. Recapitulando o que então dissemos temos que :

A unidade d'espaco é o *metro*, isto é, a decima millionesima parte do quarto do meridiano terrestre. A avaliação das superficies faz-se pelo *metro quadrado*, e a dos volumes ou capacidades pelo *metro cubico*.

A unidade de tempo é o *segundo*, isto é,  $\frac{1}{86.400}$  da duração do dia solar medio. Dividindo-se o dia em 24 horas, cada hora em 60 minutos e cada minuto em 60 segundos, é bem de vêr que o segundo corresponde áquella fracção do dia.

A unidade de massa (52) é a massa d'um corpo que n'um logar qualquer tem um peso em kilogrammas expresso pelo mesmo algarismo que representa a acceleração que esse corpo toma caindo livremente.

A medida de força é a que imprime á unidade de massa um movimento uniformemente variado cuja acceleração é egual á unidade.

Finalmente, a unidade de trabalho mechanico é o *kilogrammetro*, isto é, o trabalho necessario para elevar um kilogramma a um metro d'altura.

57. UNIDADES NO SYSTEMA C. G. S. — A Associação Britannica adoptou para unidades fundamentaes tres grandezas differentes das adoptadas no systema metrico. Preferiu como unidade de comprimento o *centimetro*, como unidade de massa o *gramma*, e como unidade de tempo o *segundo*. Das iniciaes d'estas palavras veiu o nome dado ao seu conjuncto — *Systema C. G. S.*

Não carecem de definição, por muito conhecidas estas unidades.

A referencia é feita a um *metro* e a um *kilogramma* typos, conservado nos Archivos.

Das tres unidades fundamentaes se deduzem as unidades derivadas seguintes :

1.º *Unidade de velocidade* : é a velocidade d'um movel que percorre com movimento uniforme 1 centimetro n'um segundo.

2.º *Unidade d'accleração* : é o augmento ou diminuição de velocidade de 1 centimetro por segundo n'um movimento variado.

3.º *Unidade de força* : é a força que imprime á unidade de massa um movimento uniformemente accelerado, cuja acccleração é egual á unidade. Esta unidade tem o nome de *dyne*.

4.º *Unidade de trabalho* : é o trabalho executado por um *dyne* deslocando o seu ponto d'applicação 1 centimetro, segundo a sua propria direcção.

Quando as grandezas a medir sejam muito grandes ou muito pequenas em relação á medida, empregar-se-hão multiplos ou sub-multiplos d'essas unidades, como se faz no systema metrico. Collocar-se-hão antes dos seus nomes os prefixos *deca*, *hecto*, *kilo*, *mega* para indicarem os seus multiplos por 10, 20, 100, 1:000, 1.000:000, e as particulas *deci*, *centi*, *milli*, *micro*, para determinar os sub-multiplos correspondentes. Por exemplo, um kilodyne vale mil dynes, um microdyne é um millionesimo de dyne.

Se se quizerem relacionar estas unidades absolutas com as do systema metrico, bastará que nós saibamos que o peso d'um gramma communica á sua propria massa uma acccleração de 9<sup>m</sup>,80896, isto é, 980,896 unidades do systema C. G .S.; pelo principio da proporcionalidade das forças ás accclerações, temos pois que o gramma vale 980,896 dynes. O dyne é pois uma força que equivale proximamente a um milligramma e o megadyne a um kilogramma.

---

## LIVRO SEGUNDO

### ATTRACÇÃO UNIVERSAL — GRAVIDADE

---

#### CAPITULO I

##### Effeitos geraes da gravidade

Attracção universal — Lei de Newton — Direcção da gravidade  
— Prumo

58. ATTRACÇÃO UNIVERSAL. — Os corpos celestes, os planetas e cometas, giram em torno do sol, da mesma maneira que os satellites giram em torno dos planetas. Newton explicou este movimento curvilineo, admittindo que os corpos do systema solar se attráem uns aos outros e que da combinação d'esta força com o impulso retilineo dado pela mão do Creador resultou a fôrma de movimento de que são animados. Cumpre reter que antes de Newton, um portuguez, Antonio Luiz <sup>1</sup> tinha previsto a existencia d'esta força.

A attracção exerce-se, pois, entre todos os corpos celestes, e ainda entre os corpos collocados sobre elles. E' em virtude d'esta força que os corpos situados á superficie da terra cáem.

<sup>1</sup> Antonio Luiz, medico natural de Lisboa, foi nomeado por D. João III professor da Universidade de Coimbra que tinha reformado. Alli, no exercicio das suas funcções de professor, explicou os textos de Galeno e Aristoteles, deixando commentarios valiosos ás obras d'estes dous sabios. Como julgamos conveniente que os alumnos desde os seus primeiros estudos entrem na prova exacta do que pertence aos portuguezes no que diz respeito ao desenvolvimento dos conhecimentos humanos, transcrevemos o texto em que este auctor se refere á attracção: «Manifesta-se, pois, extensivamente esta força attractiva nas sementes, nas plantas, nos metaes, nos animaes: E atrevo-me finalmente a affirmar que se acha derramada por toda a

A força que prende os astros entre si chama-se *gravitação*; a que chama os corpos situados á superficie da terra chama-se *gravidade*.

A lei da attracção universal, descoberta por Newton, póde ser enunciativa assim: *A materia attráe a materia na razão directa das massas, e na inversa do quadrado das distancias.*

Como consequencia d'esta lei demonstra-se em mechnica que *uma esphera composta de camadas concentricas homogeneas attráe como se toda a sua massa estivesse reunida no centro.*

A attracção universal tanto se exerce nos corpos do systema planetario, como entre a terra e os objectos collocados á sua superficie, como ainda entre as moleculas d'um mesmo corpo. Isso mesmo já talvez o comprehendam, confrontando as noções que adquiriram com o que sabem da constituição dos corpos.

59. GRAVIDADE: SUA DIRECÇÃO. — Considerando a terra como uma esphera, sabem já que a attracção que ella exerce sobre os corpos que estão espalhados á sua superficie tem como resultante uma força que passa pelo seu centro. D'aqui se tira uma definição de gravidade, um pouco differente da que já enunciamos, mas que vem a ser na essencia a mesma: *gravidade é a força que faz tender constantemente os corpos para o centro da terra.* Esta força exerce se tambem reciprocamente entre os corpos e a terra, mas a sua importancia é minima, visto que a terra é muitissimo maior que qualquer d'esses corpos.

natureza uma certa força attractiva que prende cada um dos seres com um nexu indissolúvel: Pois não será facil o poder encontrar-se cousa alguma que para com qualquer outra ou não tenha uma amiga familiaridade, ou que de communicar-se com a sua existencia não repugne, de cuja conveniencia ou desconveniencia resultam as attracções. E' esta força a que liga com invisiveis laços o mundo: fazendo que todas as suas partes, posto que situadas a grandissimas distancias se conttenham em seus logares e d'elles se não arredem.

(Versão de Freire de Carvalho: o trecho vem no livro: *de occultis proprietatibus* — Lisboa 1540.)

A direcção da gravidade é representada pela linha que o corpo descreve quando cáe. Chama-se a essa linha *vertical*. Se suspendermos um corpo por um fio, esse corpo não cáe, mas a direcção do fio representa a direcção da gravidade. Chama-se *fio de prumo* a esse singelo instrumento.

A *vertical* é perpendicular á superficie das aguas em repouso e representa, em virtude do que dissemos no paragrapho anterior, o raio terrestre para cada logar que consideramos. As verticaes são sensivelmente parallelas quando tenhamos em vista dois logares proximos, pois que o raio terrestre tem 6.367.000 metros na latitude de  $45^\circ$ . Se, porém, forem afastados os dois logares, as verticaes respectivas formarão um angulo muito apreciavel. Assim as verticaes de Paris e Dunkerque formam um angulo de  $2\ 12'$  e as de Pariz e Barcellona um de  $7^\circ 28'$ .

Chama-se *linha horisontal* ou *plano horisontal* a linha e plano perpendiculares á direcção da gravidade.

60. DESVIOS DO FIO DE PRUMO.— Sendo a gravidade um effeito da attracção universal, é de prever que as grandes massas, taes como as montanhas, devem produzir na sua visinhança um desvio do fio de prumo. É' o que foi reconhecido por Condamine e Bouguer nas visinhanças do Chimborazo. Notemos, todavia, que o fio de prumo assim desviado da vertical continúa a ser perpendicular á direcção das aguas tranquillias, porque a causa que o desvia da sua direcção as influencia tambem a ellas.

---

## CAPITULO II

## Peso. Centro de gravidade

Peso absoluto e relativo. Peso especifico. Massa. Densidade. Equilibrio dos graves apoiados ou suspensos

61. PESO. — Sendo todas as moleculas d'um corpo sollicitadas pela força de gravidade, a resultante de todas essas acções tem o nome de *peso*. Mas, como vamos vêr, ha varias especies de peso e este a que nos acabamos de referir e que definimos: *a resultante de todas as acções que a gravidade exerce sobre um corpo* tem o nome de *peso absoluto*.

A tendencia dos corpos para caírem é geral; se alguns parecem subtrair-se a ella como as nuvens, os gazes, etc., veremos que esses mesmos estão sujeitos á gravidade.

Demonstra-se que os gazes são pesados com o auxilio de um globo de vidro terminado por uma virola de metal e uma torneira que póde applicar-se á machina de fazer o vacuo, e que pezamos successivamente vasio e cheio d'ar. A differença de pesos representa o do ar encerrado no balão.

62. PESO RELATIVO. — Para avaliarmos o peso dos diferentes corpos precisamos de lançar mão d'um que tomamos para unidade. Diz-se então que avaliamos o *peso relativo*. A unidade de peso é actualmente o *gramma*, isto é, o peso da agua pura á temperatura de 4° contida n'um centimetro cubico. Para a avaliação do peso relativo recorre-se a uns instrumentos chamados balanças.

63. PESO ESPECIFICO. — Ainda ha outra especie de peso, o *peso especifico*. Chama-se *peso especifico* d'um corpo a *relação do seu peso absoluto para o seu volume*, ou o *peso absoluto da unidade de volume*.

Se chamarmos  $P$  o peso absoluto de um corpo,  $V$  o seu

volume, e  $p$  o seu peso especifico, a relação d'estas tres quantidades é expressa na seguinte formula

$$p = \frac{P}{V}$$

64. APERECIAÇÃO DO PESO ESPECIFICO : DENSIDADE. — Todas as vezes que desejamos medir um corpo temos de tomar uma unidade que nos serve de termo de comparação. O mesmo acontece para o peso especifico de um corpo.

A unidade que se toma para termo de comparação é o peso especifico da agua pura a 4º graus de temperatura acima de zero.

Temos nós um corpo cujo volume representamos por  $V$ ; teremos segundo a formula acima apresentada :

$$p = \frac{P}{V}$$

Tomemos agora um volume igual d'agua nas condições que ha pouco referimos; teremos da mesma maneira :

$$p' = \frac{P'}{V}$$

Comparando-os temos :

$$\frac{p}{p'} = \frac{\frac{P}{V}}{\frac{P'}{V}}$$

supprimindo  $V$  no numerador e denominador temos

$$\frac{p}{p'} = \frac{P}{P'} \quad (1)$$

o que se traduz na seguinte formula : o *peso especifico relativo de um corpo é igual á relação que existe entre o seu peso e o d'um equal volume de agua pura.*

Não possuem, pelo que sabemos, todos os corpos a mesma quantidade de materia, visto que para egual volume tem differente peso. Chama-se *densidade* a relação da sua massa para o volume ou a quantidade de materia que contem na unidade de volume. A densidade é pois expressa pela seguinte formula :

$$d = \frac{m}{v}$$

e para um mesmo volume d'agua pura a 4° é

$$d' = \frac{m'}{v}$$

Comparando as duas equações, e supprimindo  $v$ , pela mesma fórma que atraz fizemos, teremos novamente

$$\frac{d}{d'} = \frac{m}{m'} \quad (2)$$

o que equivale a dizer que *a densidade relativa d'un corpo é a relação que existe entre a sua massa e a d'un egual volume d'agua distillada.*

Como porém a massa de um corpo póde ser expressa pela relação  $\frac{P}{g}$  teremos nós que a formula (2) se converte

$$\frac{d}{d'} = \frac{m}{m'} = \frac{\frac{P}{g}}{\frac{P'}{g}} = \frac{P}{P'}$$

comparando com as formulas apresentadas para o peso especifico temos que, como duas quantidades eguaes a uma terceira são eguaes entre si,

$$\frac{p}{p'} = \frac{d}{d'}$$

ora  $\frac{p}{p'}$  representa o peso especifico relativo, e  $\frac{d}{d'}$  a den-

sidade relativa; e por esse motivo podemos enunciar d'esta fórma a relação que ha entre os pesos especificos e as densidades relativas: *os numeros que exprimem o peso especifico d'um corpo e a sua densidade relativa são eguaes.*

Chamando á relação  $\frac{P}{P'} \dots d$ , temos que  $P = P'd$ , mas como  $P' = Vp'$ , esta formula transforma-se em

$$P = Pp'v$$

e como  $p'$  é que se toma por unidade, fica-nos

$$P = Vd$$

isto é que o *peso d'um corpo é egual ao producto do volume pela densidade.*

65. CENTRO DE GRAVIDADE. — Já atraz dissemos que a somma de todas as acções que a gravidade exerce sobre um corpo se denominava *peso*. Devemos suppor que esta força está applicada n'um unico ponto, visto que se trata aqui de um verdadeiro systema de forças parallelas e que este centro gosa de todas as propriedades que assignalamos ao centro de forças parallelas (31). Chama-se a este ponto *centro de gravidade*, que se define: *o ponto d'applicação do peso de um corpo*. Qualquer que seja a mudança de posição que façamos executar ao corpo, o centro de gravidade é invariavel.

66. DETERMINAÇÃO PRÁTICA DO CENTRO DE GRAVIDADE. — Para determinarmos o centro de gravidade d'um corpo basta suspendel-o por um fio em duas posições differentes; o ponto de intersecção das duas linhas representará o *centro de gravidade*. Quando se trata d'um corpo qualquer que tenha uma fórma regular geometrica e, como tal, um centro de figura, o centro de gravidade coincide com este ponto, porquanto para cada lado de um plano que façamos passar por esse ponto ha o mesmo numero de moleculas submettidas a forças eguaes.

Se suppozermos que os pontos de quaesquer linhas, superficies ou volumes foram substituidos por moleculas pesadas, teremos que o centro de gravidade

*d'uma recta*, está no seu meio.

*d'uma circumferencia*, d'um circulo, d'uma esphera, d'uma ellypse, etc. está no seu centro.

*do contorno ou superficie d'um parallelogramo*, no ponto de crusamento das suas diagonaes.

*d'um cylindro ou d'um prisma* de base regular, no meio do eixo.

*da superficie d'um triangulo*, no ponto de reunião das rectas que unem os vertices aos meios dos lados oppostos, etc., etc.

A determinação do centro de gravidade d'um corpo é da maxima importancia para o conhecimento das condições d'equilibrio dos corpos.

67. CONDIÇÕES D'EQUILIBRIO DOS CORPOS. — Temos n'esta parte a estudar dois pontos relativos ao mesmo objecto. Os corpos podem estar em equilibrio, ou suspensos por um fio, ou apoiados. D'aqui duas especies de condições d'equilibrio dos corpos.

1.º *Corpos suspensos*. — Para que um corpo deixe de cahir basta que o suspendamos por meio d'um fio ou por meio d'um eixo; d'este modo a gravidade que sollicita o corpo é neutralisada completamente pela resistencia que o fio ou o eixo lhe oppõem.

A' extremidade do fio que está em relação com o corpo, ou ao ponto de intersecção do eixo de suspensão com o plano vertical, que passe pelo centro de gravidade, chama-se *centro de suspensão*.

Se o corpo está suspenso por um fio, para que esteja em equilibrio é preciso que a linha que une o centro de suspensão com o de gravidade seja vertical; n'outras condições, a força da gravidade decompõe-se em duas, uma, directamente opposta á resistencia do fio, é destruida; outra que lhe é perpendicular, faz-lhe executar um movimento oscillatorio.

Se o corpo está suspenso por um eixo, então podem

dar-se tres casos: 1.º estar o eixo de suspensão acima do de gravidade; 2.º coincidir com elle; 3.º estar situado abaixo d'elle.

No primeiro caso, se desviarmos o corpo da sua primitiva posição, este volta a tomal-a depois d'um certo numero de oscillações: diz-se então que o equilibrio é *estavel*. No segundo caso conserva-se o corpo em qualquer posição que lhe dermos; diz-se que está então em equilibrio *indifferente*. No terceiro, se o desviarmos da sua posição, não mais volta a adquiril-a. Diz-se então que o equilibrio é *instavel*.

2.º *Corpos apoiados*. Para que um corpo apoiado sobre um plano esteja em equilibrio, é preciso que a vertical baixada do centro de gravidade caia dentro da *base de apoio*, isto é, dentro do polygono determinado pelas linhas que unem os seus pontos de apoio. Se o corpo apenas toca o plano por um ponto, é indispensavel que a vertical passe por esse ponto.

O equilibrio nos corpos apoiados n'um plano póde ser tambem de tres fórmãs: *indifferente*, *estavel* e *instavel*.

Diz-se que um corpo apoiado está em equilibrio *indifferente*, quando, em todas as posições em que o collocamos, o seu centro de gravidade fica a egual distancia d'esse plano; diz-se que está em equilibrio *estavel*, quando o centro de gravidade está á menor distancia do plano em que o corpo está apoiado: finalmente, diz-se que está em equilibrio *instavel* quando o centro de gravidade está mais alto do que em outra qualquer posição. Como exemplo d'equilibrio *indifferente* temos una esphera apoiada n'um plano; d'equilibrio *estavel* uma pyramide apoiada sobre a base; e como d'equilibrio *instavel* a mesma pyramide repousando sobre o vertice.

Quando ha um só ponto de contacto, o equilibrio é forçosamente instavel, mas podemos transformal-o em estavel pela addicção de duas massas lateraes pesadas, que façam descer o centro de gravidade.

Póde-se em geral dizer que um corpo está em equilibrio, tanto mais estavel quanto maior é a base de apoio, o mais baixo está o seu centro de gravidade. E' em virtu-

de d'isto que os carros de quatro rodas são mais seguros que os de duas; que o homem está mais firme em dois pés do que sobre um e tanto mais quanto mais elles estiverem afastados, etc.

### CAPITULO III

#### Leis da queda dos corpos — Pendulo

Queda dos graves livres ou sujeitos. Leis da queda livre. Plano inclinado. Demonstração das leis da queda dos graves pela machina d'Atwood. Apparelho de Morin. Pendulo. Leis das oscillações do pendulo. Applicações do pendulo. Pendulo composto. Medição da intensidade da gravidade. Variação da gravidade com a altitude e latitude. Comprimento do pendulo de segundos.

68. LEIS DA QUEDA DOS CORPOS. — Os corpos sujeitos á acção da gravidade e livres de qualquer outra força que os sollicite comportam-se sempre d'uma mesma maneira, o que foi traduzido por tres leis que desde já poderíamos enunciar, mas que vamos procurar estabelecer.

1.<sup>a</sup> LEI. — Se deixarmos cahir ao mesmo tempo uma esphera de chumbo e uma pluma, observamos que a esphera chega á terra mais depressa, o que equivale a dizer que vae com mais velocidade. Levá-los-hia isto a suppor que a gravidade não se exerce com a mesma intensidade em todos os corpos.

Temos, porém, aqui um tubo de vidro bastante comprido, de 2 metros de altura, fechado n'uma extremidade e tendo na outra uma peça de metal que se adapta, por meio d'uma torneira, ao recipiente d'uma machina em que já lhes fallei, e que serve para fazer o vacuo — a *machina pneumática*. Se introduzirmos n'este tubo as mais diversas substancias, papel, bocados de metal, pannos e fizermos o vacuo, reconhecemos, logo que voltemos o tubo, que todos esses corpos *caem com a mesma velocidade*.

Isto leva-nos a enunciar a 1.<sup>a</sup> LEI DA QUEDA DOS GRAVES do seguinte modo: «*Todos os corpos caem no vacuo com equal velocidade*».

Perguntarão certamente a si próprios porque é que este phenomeno se não reproduz no meio ambiente? Lembrados devem estar do que dissemos a proposito da resistencia dos meios (46): tem aqui uma das suas applicações. Os corpos mais pesados, mais densos, encontram uma resistencia muito menor do que os corpos leves, e d'aqui resulta a desigual velocidade com que caminham. Para se convencerem de que realmente é esta a causa, recortem um disco de papel do tamanho de uma moeda qualquer. Deixem cair esse disco e essa moeda e verão que caem com velocidades differentes e até mesmo muito differentes. Pois muito bem, colloquem o disco de papel sobre a moeda: deixem-n'os cair ambos e verão que se acompanham na queda, pois que a resistencia do meio é n'este caso a mesma para elles.

*Martello d'agua.* E' a resistencia do ar que divide os liquidos durante a queda; no vácuo caem em massa, exactamente como acontece aos solidos. Para o demonstrar emprega-se um instrumento chamado *martello d'agua*, e que se compõe d'um tubo de vidro de 30 a 40 centimetros de comprimento terminado em bola, e aberto n'uma extremidade, sendo fechado na outra. Enche-se d'agua até metade da altura, ferve-se durante um tempo bastante longo para expulsar o ar do apparelho e quando isso se tem conseguido fecha-se á lampada a extremidade terminada em bola. Temos assim construido o apparelho. Para fazer uso d'elle colloca-se de modo a que o liquido se accumule na esphera e depois vira-se rapidamente. A agua cáe em massa compacta, percutindo o extremo do tubo e produzindo uma pancada analoga á d'um martello.

2.<sup>a</sup> LEI. — Para chegarmos a estabelecer a relação que ha entre os espaços percorridos por um corpo em movimento e o tempo empregado em percorrel-os, servir nos-hemos d'uma pequena machina, chamada *plano inclinado*, de Galileu.

*Plano inclinado.* *Plano inclinado* é todo aquelle que fórma um angulo com o horisonte. O plano inclinado serve em mechanica para destruir uma parte da resistencia, deixando apenas uma componente para ser vencida. Se a resistencia é vertical, como quando é representada pelo peso

do corpo, então quanto menor fôr a inclinação do plano, menor é a componente que se precisa vencer.

Seja AB um plano inclinado (fig. 6), formando com o horisonte o angulo agudo BAC. A perpendicular abaixada do ponto B sobre a linha horisontal AC chama-se altura do plano inclinado, sendo AB o comprimento.

Supponhamos agora que esteja collocado sobre este plano um movel de fôrma espherica. Este movel, sollicitado pelo seu peso  $dc$ , applicado verticalmente ao centro de gravidade  $d$  não poderá seguir essa direcção por se lhe oppor a resistencia do plano. Mas este peso poderá ser decomposto em duas forças  $f$  e  $g$  uma perpendicular e outra parallela ao comprimento do plano. A força  $g$  será destruida pela resistencia do plano, e o movel obedecerá apenas á força  $f$ . Ora se nós construirmos o parallelogramo das forças  $fdgc$ , teremos dois triangulos rectangular  $efd$  e CBA que são semelhantes por terem os angulos eguaes, do que se tira a proporção seguinte:

$$\frac{df}{dc} = \frac{CB}{BA}$$

O que quer dizer que a força effectiva  $f$  está para o peso do movel, assim como está a altura do plano inclinado para o seu comprimento. Se a altura do plano fôr duas, tres ou quatro vezes menor que o comprimento, a força que sollicitará o movel será tambem duas, tres e quatro vezes menor do que a força de gravidade.

Como nós podemos variar á vontade a velocidade do movel, construindo um plano inclinado que permita com facilidade medir os espaços percorridos durante 1, 2 e 3 segundos, reconheceremos que estarão na proporção de 1, 4 e 9. Este dado d'observação é traduzido pela seguinte lei:

2.<sup>a</sup> LEI (LEI DOS ESPAÇOS). — Os espaços percorridos por um corpo abandonado á acção da gravidade são pro-

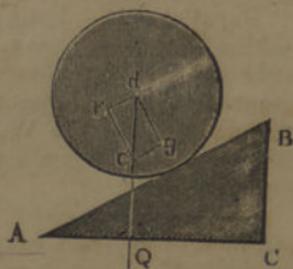


Fig. 6

porcionaes aos quadrados dos tempos empregados em percorrel-os.

3.<sup>a</sup> LEI. — Pelo raciocinio poder-se-ha deduzir d'esta lei, a 3.<sup>a</sup> que regula as velocidades e que se enuncia do seguinte modo: *As velocidades adquiridas por um corpo sujeito á acção da gravidade são proporcionaes aos tempos decorridos desde o começo da queda.*

As duas ultimas leis da queda dos corpos demonstram-se tambem com facilidade e com não menor evidencia pela *machina d'Atwood* e pelo *apparelho de Morin*.

#### 69. MACHINA D'ATWOOD.

— Esta machina compõe-se, como vêem na fig. 7, d'uma columna de madeira de 2 metros aproximamente de altura, no cimo da qual ha uma roldana de cobrê T por onde passa um fio a que estão presas nas extremidades dous pesos eguaes P e Q. Para diminuir o attrito no eixo do movimento, assenta este nas pinas cruzadas de duas rodas moveis como o indica a fig. 8, disposição que por commodidade se supprimiu na fig. 7.

Parallela á columna da machina, ha uma regoa graduada em que se podem fixar á vontade em qualquer posição dois cursores V e W, dos quaes o primeiro é ôco e o segundo cheio.

Sendo os dois pesos P e Q eguaes, o systema está em equilibrio. Para se pôr em movimento emprega-se o peso P representado ao lado da figura, o qual faz descer uma das massas, mas com uma velocidade menor do que a da gravidade. E' n'isto que reside o principio a que obedece o apparelho: attenuar a velocidade da gravidade sem alterar as suas leis.

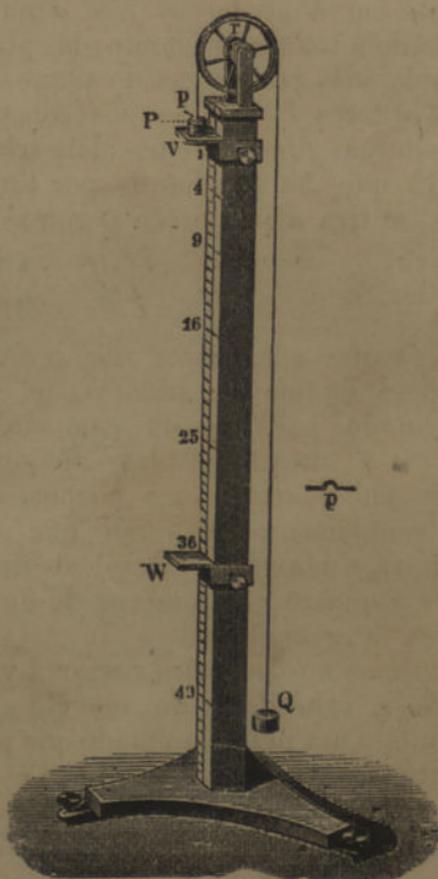


Fig. 7

Junto ao instrumento ha um pendulo destinado a marcar segundos, e que usualmente é posto em movimento logo que começa a descida do corpo P.

Está descripto o apparelho, vamos agora vel-o funcionar Não precisamos por enquanto senão do cursor cheio. Collocamos o peso adicional em cima do corpo P, tendo o cuidado de fazer começar o movimento no zero da escala. Por tentativas collocamos o cursor cheio exactamente no ponto a que a massa chega ao cabo de  $1''$ . Seja por exemplo  $e$  o espaço percorrido. Ainda por tentativas collocamos o cursor cheio á distancia a que o movel chega ao cabo de  $2''$  e vemos que o espaço percorrido é 4 vezes o percorrido no  $1.^\circ$  segundo, isto é, egual a  $4e$ . Repetimos a mesma operação para sabermos o espaço que o movel percorre ao cabo de  $3''$  e depois d'algumas tentativas reconhecemos que é egual a 9 vezes o que venceu no  $1.^\circ$  segundo, isto é,  $9e$ .

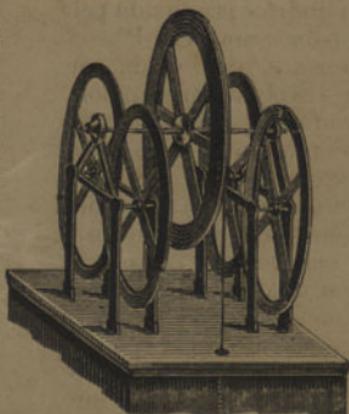


Fig. 8

Comparamos então, e vemos que ao

| tempo                       | espaço |
|-----------------------------|--------|
| $1.^\circ$ seg. corresponde | $1e$   |
| $2.^\circ$ seg.           " | $4e$   |
| $3.^\circ$ seg.           " | $9e$   |

o que demonstra a lei dos espaços, visto que elles estão entre si como os quadrados dos tempos.

Para demonstrarmos a lei das velocidades collocamos o cursor annular no ponto em que ha pouco reconhecemos que chegava o movel ao cabo de  $1''$ . Deixamos cair os dois pesos e effectivamente ao cabo d'esse tempo o systema de pesos chega ao ponto marcado, tendo percorrido o espaço  $e$ , mas o peso P fica retido, o que não impede o systema de continuar a caminhar. Collocando o cursor cheio no ponto a que esse corpo chega ao cabo de  $1''$ , vemos que tem percorrido n'esse tempo e com um movimento uniforme o espaço  $v$  egual a  $2e$ .

Repetindo a operação para o espaço percorrido em  $2''$ , collocamos novamente o cursor annular no ponto em que a primeira série de experiencias nos indicou que chegava o systema de pesos ao cabo de  $2''$ , isto é, a  $4e$ . O peso adicional fica retido n'esse cursor, o movel P continuando a caminhar chega no fim d'um segundo a uma certa distancia que é egual a  $2v$ , isto é, a duas vezes a velocidade de que vinha animado no primeiro segundo.

D'onde se deduz a terceira lei da queda das graves.

70. APPARELHO DE MORIN. — O apparelho de Morin (fig. 9) com-

põe-se d'um cylindro de madeira C, muito leve, que gira em torno d'um eixo vertical, e cuja superficie, antes de cada experiencia, é coberta por papel quadriculado, de modo que umas linhas fiquem horizontaes e outras verticaes. A rotação d'este cylindro é produzida pela queda d'um peso P' suspenso a uma corda que se enrola n'um eixo horizontal, ligado a uma roda dentada, que engrena ao mesmo tempo por meio d'um parafuso sem fim, com o eixo do cylindro C e com o d'um volante V, com quatro palhetas, destinado a regularisar o movimento. O corpo que cae é um peso cylindro-conico de ferro P, munido d'um lapis disposto horizontalmente, que apoia levemente contra o papel que cobre o cylindro, de modo a deixar um traço continuo. A queda d'esta massa é dirigida por dois fios de ferro collocados verticalmente, de modo a serem abraçados por duas ariculas que tem o peso P'. Uma alavanca L permite suspender o peso na parte superior do aparelho.

Collocados os pesos P e P' no cimo do aparelho, puxa-se pelo cordão b para tornar livre o peso P' que ao cair faz girar a roda dentada R, que põe logo em movimento do cylindro C e o volante V. As palhetas do volante, agitando o ar com uma velocidade crescente, acabam por regularisar o movimento do cylindro e pelo tornar uniforme. Logo que o conseguimos, liberta-se por meio da corda a o peso cylindro-conico P que ao cair deixa um traço negro no papel.

Terminada a queda do peso P, desenrola-se a folha de papel que forrava o cylindro e estende-se sobre um plano (fig. 10). Vê-se então que a curva parabolica AF' descripta pelo lapis encontrou os tra-

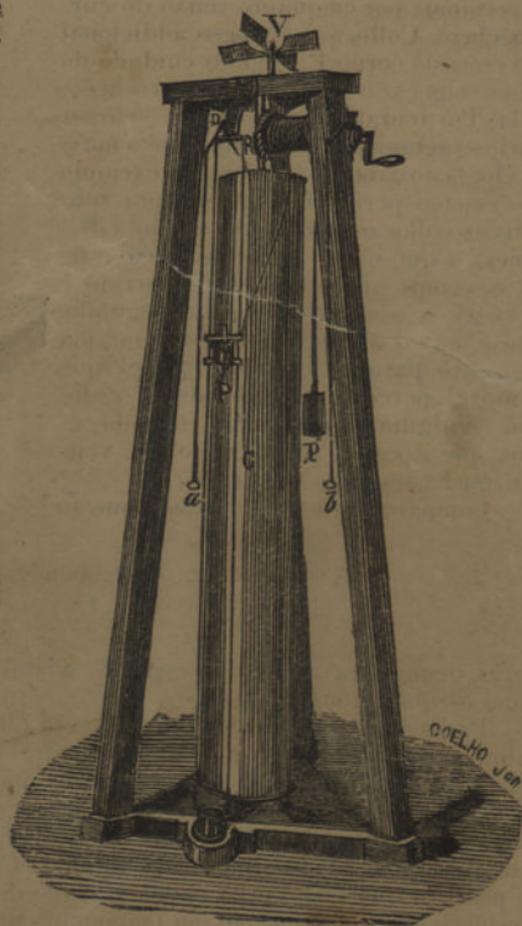


Fig. 9

ços verticaes e equidistantes  $CC'$ ,  $DD'$ ,  $EE'$ ,  $FF'$  nos pontos M, N, P, F'. Ora se nós d'estes pontos tirarmos traços horisontaes perpendiculares á recta AB e tomarmos para unidade de comprimento  $CM = AG$ , as rectas AG, AH, AL, AB representarão os espaços percorridos successivamente, e serão respectivamente eguaes :

$$\begin{aligned} AG &= 1 \\ AH &= 4 \\ AL &= 9 \\ AB &= 16 \end{aligned}$$

o que prova que os espaços crescem proporcionalmente aos quadrados dos tempos.

Pelo raciocinio póde tambem deduzir-se d'esta experiencia a lei das velocidades. Effectivamente, sendo AG a distancia percorrida pelo peso P durante a primeira unidade de tempo; 4AG a distancia percorrida em 2 unidades de tempo; 9AG durante 3; 16AG durante 4, segue-se d'aqui que a distancia percorrida pelo movel durante a 2.<sup>a</sup> unidade de tempo é 3AG; na 3.<sup>a</sup> 5AG; na 4.<sup>a</sup> 7AG.

Supponhamos agora que as velocidades adquiridas pelo movel ao cabo de cada unidade de tempo se destruisssem subitamente; é claro que o movel percorreria, em cada uma das unidades de tempo successivas, uma distancia constante AG. Por conseguinte as distancias percorridas pelo movel, em virtude das suas velocidades adquiridas, ao cabo de 1, 2, 3, 4 unidades de tempo serão respectivamente :

$$\begin{aligned} \text{Na } 2.^{\text{a}} \text{ unidade de tempo} & 3AG - AG = 2AG \\ \text{» } 3.^{\text{a}} \text{ » } & 5AG - AG = 4AG \\ \text{» } 4.^{\text{a}} \text{ » } & 7AG - AG = 6AG \end{aligned}$$

As velocidades adquiridas pelo movel em seguida a 1, 2, 3 unidades de tempo estão entre si como 2, 4, 6, isto é, são proporcionaes aos tempos gastos desde o começo da queda.

A quantidade 2AG que a velocidade augmenta em cada unidade de tempo chama-se *aceleração devida á gravidade*. Tomando o segundo para unidade de tempo, esta quantidade representa a *intensidade da gravidade*. A intensidade da gravidade é, em Lisboa,  $9^m,80041$ .<sup>1</sup>

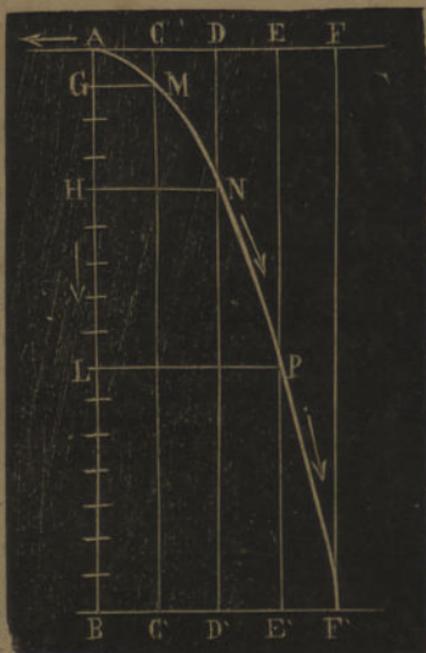


Fig. 10

<sup>1</sup> Brito Limpo, cit. por Pina Vidal.

71. PENDULO. — Chama-se *pendulo* a um corpo sólido móvel em torno d'um eixo horizontal que não passa pelo seu centro de gravidade. Se a posição do corpo é tal que estejam n'uma mesma linha vertical o centro de suspensão e o de gravidade, o corpo está em equilibrio, em virtude do que já dissemos ao tratarmos do equilibrio dos corpos suspensos (67). Se, porém, o desviarmos d'essa posição, o pendulo descreve uma serie de oscillações.

72. PENDULO SIMPLES. — Chama-se *pendulo simples* ao instrumento ideal que fosse composto d'um ponto material pesado suspenso a um ponto fixo por intermedio d'um fio inextensivel que nem tivesse peso nem massa. Na fig. 11 representa C o ponto fixo e B o ponto material pesado. Emquanto o conservarmos na posição indicada por CA, a resistencia do fio oppõe se directamente á acção da gravidade e é destruida, mas se a desviarmos para B, a força de gravidade IV decompõe-se em duas BR e BS, das quaes a primeira é directamente opposta á resistencia do fio e por tal motivo é destruida, sendo a segunda determinante de um movimento que aproxima o corpo da posição primitiva CA. Chegado, porém, a A, o corpo continúa a mover-se em virtude da velocidade adquirida, e com um movimento retardado, por isso que a força componente da gravidade lhe é agora opposta, e chega a D em que, deixando de existir a velocidade adquirida, o corpo fica novamente sujeito apenas á gravidade.

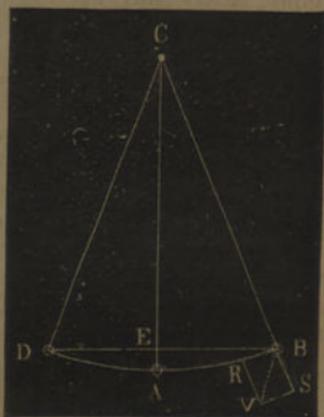


Fig. 11

Cada um dos movimentos do pendulo chama-se *oscillação*; o angulo que tem por vertice o ponto fixo e por lados as rectas que o prendem aos limites da oscillação, chama-se *amplitude da oscillação*. Tambem se dá este nome ao arco que mede o angulo a que nos referimos.

73. LEIS DAS OSCILLAÇÕES DO PENDULO. — Não existindo realisado na natureza o pendulo simples, servimo'-nos, para poder encontrar as suas leis, d'um fio extremamente fino ligado a uma esphera de metal.

Tomando um pendulo assim construido, observamos, que qualquer que seja a amplitude da oscillação descripta, não ultrapassando todavia uns certos limites, a duração do movimento é sempre a mesma. E' este facto que se enuncia na seguinte lei :

1.<sup>a</sup> LEI. *As pequenas oscillações do pendulo (não superiores a quatro graus) são isochronas.*

Tomemos agora pendulos cujos comprimentos estejam entre si como 1 : 4 : 9; reconheceremos que o numero de oscillações, feitas no mesmo tempo, estão entre si como

$1 : \frac{1}{2} : \frac{1}{3}$  e por isso as suas durações como 1 : 2 : 3.

Tira se d'aqui a conclusão de que :

2.<sup>a</sup> LEI. *Em pendulos de comprimentos differentes, a duração das oscillações é proporcional á raiz quadrada do comprimento dos mesmos.*

Se podessemos transportar-nos a differentes logares da terra extremamente distantes, poderíamos verificar a 3.<sup>a</sup> lei que vamos enunciar. Apenas notaremos que a gravidade não póde deixar de se traduzir nas oscillações do pendulo, visto que é ella que as causa; e como ella varia nos differentes logares do globo tambem deve variar a duração das oscillações. Tendo em vista isto, retenham que a experiencia demonstrou que :

3.<sup>a</sup> LEI. *Em pendulos do mesmo comprimento, oscillando em differentes logares da terra, a duração das oscillações está na razão da raiz quadrada da intensidade da gravidade.*

Tomemos agora pendulos de differentes comprimentos mas feitos de substancias differentes, chumbo, marfim, etc. Apesar d'estas modificações, a duração das oscillações do pendulo permanecerá a mesma. Tira-se pois d'aqui uma nova lei que traduzimos assim :

4.<sup>a</sup> LEI. *Em pendulos do mesmo comprimento, ainda que feitos de diversas substancias, a duração das oscillações é a mesma.*

74. DEDUÇÃO DAS LEIS DO PENDULO PELO CALCULO. — Todas as leis do pendulo se podem deduzir d'uma formula que é a seguinte:

$$t = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

representando  $t$  o tempo de uma oscillação,  $\pi$  a relação do diametro para a circumferencia,  $l$  o comprimento do pendulo e  $g$  a intensidade da gravidade.

A 1.<sup>a</sup> lei está demonstrada por sua natureza, visto que sendo invariaveis para um mesmo pendulo as quantidades  $\pi$ ,  $l$  e  $g$ , a quarta  $t$  tambem o será.

Para a demonstração da 2.<sup>a</sup> lei, imaginemos dois pendulos de differentes comprimentos, movendo-se no mesmo lugar da terra. Teremos para o 1.<sup>o</sup>

$$t = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

e para o 2.<sup>o</sup>

$$t' = \pi \sqrt{\frac{l'}{g}}$$

Comparando as duas equações, teremos

$$\frac{t}{t'} = \frac{\pi \sqrt{\frac{l}{g}}}{\pi \sqrt{\frac{l'}{g}}}$$

Supprimindo as quantidades communs, teremos

$$\frac{t}{t'} = \frac{\sqrt{l}}{\sqrt{l'}}$$

que é o enunciado da lei.

Para a deducção da terceira, a quantidade variavel é  $g$ , visto como sabemos que a gravidade não se exerce com a mesma intensidade em todos os logares do globo. Imaginemos dois pendulos eguaes movendo-se em logares differentes; a formula que exprimirá para o 1.<sup>o</sup> o tempo que gasta uma oscillação é

$$t = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

e para o segundo :

$$t' = \pi \sqrt{\frac{l}{g'}}$$

Comparando, temos :

$$\frac{t}{t'} = \frac{\pi \sqrt{\frac{l}{g}}}{\pi \sqrt{\frac{l}{g'}}}$$

supprimindo as quantidades communs, e realisando as operações indicadas, a relação é expressa por

$$\frac{t}{t'} = \frac{\sqrt{g'}}{\sqrt{g}}$$

o que confirma o enunciado da lei.

Acontece com a quarta lei o mesmo que com a primeira ; como a amplitude de oscillação em nada depende da massa do pendulo, claramente se vê que pôde esta modificar-se á vontade, sem que d'ahi resulte alguma alteração ao movimento pendular.

75. PENDULO COMPOSTO.—Como já dissemos, não existe realisado o pendulo simples: todas as leis que acabamos de enunciar podem, todavia, ser demonstradas com o auxilio do *pendulo composto*. Compõe-se este de um corpo, em fórma de lente, para mais facilmente cortar o ar, suspenso por uma haste ou fio metallico. A suspensão faz-se superiormente por meio de um cutello, assentando sobre um plano horisontal de agatha ou aço muito duro. Faz-se tambem por meio d'uma lamina de aço extremamente flexivel, fixa superiormente.

76. EIXO DE OSCILLAÇÃO: COMPRIMENTO DO PENDULO. O pendulo composto pôde ser considerado como um aggregado de pendulos simples que fariam com certeza oscillações em tempos variaveis se não estivessem reunidos. D'aqui resulta que uns são retardados na sua marcha e outros accelerados, havendo tambem alguns que se movem exactamente como se fossem livres. Ora, os pontos materiaes

d'estes pendulos, devendo ser equidistantes do eixo de suspensão, estão n'uma recta paralela a esse eixo que se chama *eixo de oscillação*. A distancia d'este ao eixo de suspensão chama-se *comprimento de pendulo*.

77. USOS DO PENDULO. — Os usos do pendulo pódem reduzir-se a tres principaes: a regulação dos relogios, a demonstração do movimento de rotação da terra e a determinação do valor da gravidade.

1.<sup>o</sup> *Regulação dos relogios*. A applicação do pendulo á regulação dos relogios é fundada no isochronismo das pequenas oscillações. Os relogios têm por motor uma mola ou um peso que por meio d'uma serie de rodas dentadas dirige as agulhas sobre o quadrante. Ora por mais precauções que se tomem para regularisar a queda do peso ou o trabalho da mola, só incompletamente o podemos conseguir, motivo pelo qual se torna indispensavel a adaptação d'um regulador.

A' ultima arvore do relogio está fixa (fig. 12) uma roda dentada  $r$  chamada roda d'escape e á qual um peso  $g$  ou uma mola tende a imprimir um movimento de rotação continuo no sentido indicado pela flecha. Por traz fica o pendulo  $p$  em cujo eixo está fixa uma peça  $nn'$  em fórma de ancora, e cujas extremidades recurvadas estão dispostas de tal modo que os dentes da roda vem alternativamente fixar-se sobre ellas. D'aqui resulta que, durante todo o tempo que um dente é preso por uma das extremidades da ancora, a roda conserva se immovel, o que a obriga a seguir o movimento isochrono do pendulo. Como o mecanismo do relogio é solidario, resulta d'aqui que elle pára e caminha durante intervallos eguaes que por consequente indicam eguaes divisões de tempo. Quando o relogio se atraza ou adianta, basta encurtar ou alongar o pendulo, isto é, levantar ou abaixar o centro d'oscillação, o que se obtem por meio d'um pe-



Fig. 12

queno parafuso collocado na haste ou por baixo da massa lenticular.

2.<sup>o</sup> *Demonstração da rotação da terra.* Esta famosa experiencia foi concebida e realisada por um physico francez Foucault em 1851, no Pantheon, com um pendulo de 50 metros. Vejamos no que repousa esta experiencia. Se tivermos um pendulo que possa oscillar livremente em todos os sentidos, e se, depois de o desviarmos da sua posição d'equilibrio, o abandonarmos a si proprio, vemos que elle oscilla segundo um plano invariavel, ainda que façamos girar sobre si o aparelho de suspensão. Ora, empregando um pendulo de grandes dimensões, Foucault viu que o plano d'oscillação do pendulo correspondeu a diferentes diametros d'um circulo traçado na superficie do solo, seguindo uma direcção de leste para oeste. Sabendo nós que o plano d'oscillação se conserva invariavel, é o circulo que se desloca em sentido inverso da deslocação apparente das oscillações.

3.<sup>o</sup> *Determinação do valor da gravidade.* O pendulo constitue o methodo mais simples de determinar a intensidade da gravidade. Effectivamente a formula atraz apre-

sentada (73)  $t = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}$  fornece-nos um meio extremamente facil de deduzir o valor de  $g$ . Se elevarmos os dois termos de equação ao quadrado, temol-a transformado em

$$t^2 = \frac{\pi^2 l}{g}$$

d'onde

$$g = \frac{\pi^2 l}{t^2}$$

o que quer dizer que bastará determinar o tempo d'uma oscillação  $t$  e o comprimento rigoroso do pendulo, para obtermos o valor de  $g$ . Foi por este processo que Huygens encontrou o valor de  $9^m,7883$  para Paris e que Borda, por occasião do estabelecimento do systema metrico, demonstrou ser igual a  $9^m,80882$ , numero que pouco differe

do precedente. Se se tomasse, porém, conta da resistencia do ar, o numero que exprimiria o valor de  $g$  seria  $9^m,8096$ . Em Lisboa, como já dissemos, a intensidade da gravidade é de  $9^m,80041$ .

78. CAUSAS QUE MODIFICAM A INTENSIDADE DA GRAVIDADE. — As causas que modificam a intensidade da gravidade são a *altitude* e a *latitude*.

Chama-se *altitude* a altura vertical acima do nivel dos mares. Demonstrado, como fizemos, que a gravidade varia na rasão inversa do quadrado das distancias, claramente se percebe que, nos pontos mais elevados do globo, a intensidade da gravidade será menor do que nos valles profundos. A differença, porém, que d'esta causa resulta é de somenos importancia, por isso que a altura das maiores montanhas é insignificante em attenção ao raio da terra.

Uma maior influencia, no sentido de a fazer variar, é a da *latitude*, isto é, da maior ou menor distancia ao equador; mas esta influencia é complexa e resultante de duas outras: o achatamento da terra nos polos e a força centrífuga, determinada pelo seu movimento.

O achatamento da terra nos polos traz consigo a consequencia de que a gravidade augmenta do equador para os polos, porque o raio d'este planeta vae sendo cada vez menor.

Por outro lado, a força centrífuga, em virtude de uma lei já atraz enunciada, é maxima no equador e minima nos polos, visto que os differentes pontos d'um mesmo meridiano descrevem ao mesmo tempo circulos de raios differentes. Mais uma razão, pois, para que a gravidade seja menor no equador, visto que n'esse logar a força centrífuga attinge o seu maximo, é directamente opposta á gravidade e igual a  $\frac{1}{289}$  da sua intensidade. Sendo 289 o quadrado de 17, e sendo a força centrífuga proporcional ao quadrado da velocidade de rotação, vê-se que se o movimento da terra fosse 17 vezes mais rapido, a força centrífuga seria 289 vezes mais intensa, isto é, seria igual á gravidade, e os corpos deixariam de ter peso.

79. COMPRIMENTO DO PENDULO DE SEGUNDOS.— A formula do pendulo permite-nos tambem deduzir o comprimento do pendulo de segundos, ou melhor o comprimento do pendulo simples que seja synchronico com o pendulo composto cuja oscillação dura um segundo.

Se fizermos  $t = 1$  a equação  $t = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}$  fica transformada em

$$1 = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}, \text{ d'onde } l = \frac{g}{\pi^2}$$

Variando, porém, o valor de  $g$  para cada logar do globo, o comprimento do pendulo simples que bata um segundo é tambem variavel. Assim á latitude de  $0^\circ$  o comprimento do pendulo será de 0,99103, visto que a acceleração de gravidade é de  $9^m,78103$ ; á de  $45^\circ$  será de  $0^m,99556$  e a acceleração de  $9^m,80606$ ; e á de  $90^\circ$  será de  $0^m,90610$  e a acceleração de  $9^m,83109$ .

*Machina - e o instrumen  
qual se tira proveito e movida as dis  
forças.*

*chutam-se em simples e compostas.*

#### CAPITULO IV

*mples - são as que se compoem de uma  
peças exemplos - palancas, etc.*

#### Alavanca e balanças

*mpostas - são as formadas de differem*

Balança. Alavancas. Condição d'equilibrio na alavanca. Balança ordinaria. Principaes especies de balanças empregadas no commercio. Romana. Descrição e uso da balança d'analyse. Condições de justeza e sensibilidade. Methodos de pesar com exactidão. Dynamometros.

80. BALANÇAS. — Chamam-se *balanças* instrumentos destinados a medir o peso relativo dos corpos, isto é, a relação do seu peso absoluto para com outro que se toma por unidade. A sua theoria, repousa sobre a da alavanca que vamos expôr summariamente.

81. ALAVANCA E SUAS ESPECIES. — Toda a barra resistente que se mova em torno d'um ponto chama-se *alavanca*.

Este ponto em torno do qual gira a alavanca chama-se *fulcro*. Conforme a sua situação em relação aos pontos de

applicação da potencia e da resistencia, tambem a alavanca recebe nomes differentes. Assim, a alavanca que tem o fulcro collocado entre o ponto de applicação da potencia e o da resistencia, chama-se *interfixa* (Fig. 13).

Se a potencia está situada entre a resistencia e o fulcro, diz-se que a alavanca é *interpotente*.

Se a resistencia está collocada entre a potencia e o fulcro, diz-se que a alavanca é *inter-resistente* (Fig. 14).

As peças d'uma thesoura, o braço d'uma balança, são exemplos d'alavancas interfixas. Na thesoura o fulcro é representado pelo eixo, a resistencia fica applicada ao fio e a potencia é o esforço que emprega quem d'elle usa. Na balança o fulcro é o fiel, a resistencia é representada pelo objecto que se quer pesar e a potencia pelos pesos que se empregam para esse fim.

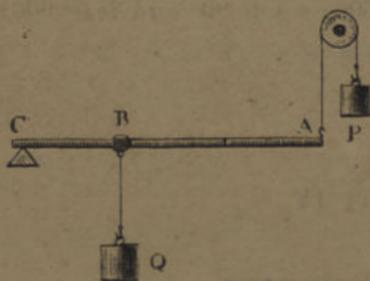


Fig. 14

Exemplo de alavanca inter-resistente temos um em extremo vulgar no quebranozes, em que o *fulcro* é o ponto em que se articulam os dois ramos do instrumento, a resistencia é representada pela noz que se pretende quebrar e a potencia o esforço que se emprega para esse fim.

Finalmente, um exemplo d'alavanca interpotente, é o pedal dos rebolos de amolador em que o fulcro é constituído pela extremidade do pedal que toca o pavimento; a resistencia pela correia que prende o pedal ao rebolo, e a potencia pelo esforço exercido pelo pé do amolador.

Chamam-se *braços* da alavanca ás perpendiculares abaixadas do fulcro sobre a direcção das duas forças que lhe estão applicadas. Assim se diz braço da resistencia ou braço da potencia. Na alavanca interfixa os braços da potencia e da resistencia podem ser eguaes ou deseguaes; nas outras duas especies são sempre deseguaes.

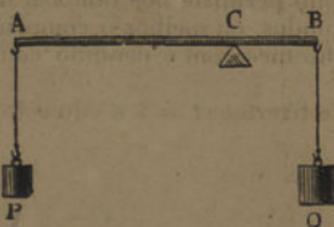


Fig. 13

Para que a alavanca esteja em equilibrio é indispensavel que a resultante das duas forças — potencia e resistencia — passe pelo fulcro cuja resistencia a destruirá. Isto exprime-se em tres condições d'equilibrio da alavanca que são assim enunciadas: é necessario 1.º *que as forças estejam no mesmo plano*, 2.º *que tendam a fazer girar a alavanca em sentidos contrarios*, 3.º *que a potencia esteja para a resistencia na razão inversa dos braços d'alavanca d'essas duas forças*.

Sejam P e Q duas forças applicadas ás extremidades d'uma alavanca interfixa (fig. 13). Sendo AC e BC os braços d'alavanca d'uma e outra força, teremos nós que

$$\frac{P}{Q} = \frac{BC}{AC}$$

ou seja

$$P \times AC = Q \times BC$$

Ao producto d'uma força pelo seu braço d'alavanca chama-se *momento*. A terceira condição ficará assim expressa mais simplesmente dizendo que os *momentos das duas forças em relação ao fulcro devem ser eguaes*.

82. CLASSIFICAÇÃO DAS BALANÇAS. — As balanças podem ser de braços eguaes ou deseguaes. Tem braços eguaes a balança ordinaria e a balança ingleza ou de Roberval; a balança romana e a balança decimal são de braços deseguaes.

83. BALANÇA ORDINARIA. — A balança ordinaria consiste n'uma alavanca interfixa de braços eguaes em peso e comprimento a que se chama *travessão* e que é movel em torno d'um eixo horisontal collocado no seu meio. A's extremidades d'esta alavanca estão suspensos dois pratos, destinados um a receber os objectos que se querem pesar, e o outro as unidades de peso com que se executa essa operação. Ao meio do travessão, e perpendicularmente a elle, está um ponteiro, chamado *fiel* que indica sobre um arco

graduado as mais pequenas oscillações do travessão. (Fig. 15)

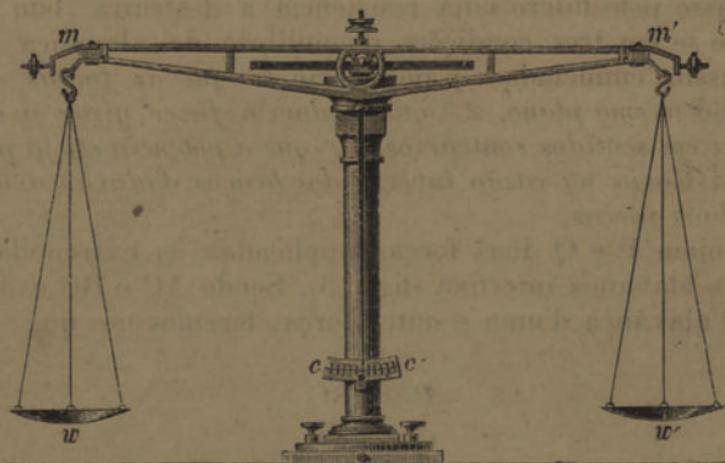


Fig. 15

Para se usar d'este instrumento lança-se n'um dos pratos o objecto que se quer pesar, e no outro tantas unidades de peso quantas as precisas para lhe fazer equilibrio. Diremos que o corpo pesa *tantas* grammas, conforme o numero d'estas unidades que tivermos de empregar.

84. CONDIÇÕES DE EXACTIDÃO. — Para que uma balança seja boa, isto é, pese com toda a exactidão deve: 1.º equilibrar-se perfeitamente com dois pesos eguaes, isto é ser *rigorosa*; 2.º oscillar sob a influencia de qualquer peso por muito pequeno que seja, isto é, ser *sensivel*. Se não satisfaz a esta segunda condição, diz-se que a balança é *preguiçosa*.

A. — Para que a balança seja *rigorosa* é preciso que: 1.º Os braços do travessão sejam *exactamente eguaes*; d'outra maneira, segundo os principios estabelecidos ao tratarmos das alavancas, os pesos que se fazem equilibrio não são eguaes. Reconhece-se que a balança satisfaz a esta condição equilibrando-a com dois pesos eguaes, e trocando-os depois d'um prato para outro. Se os braços são eguaes, como os pesos tambem o são, a balança permanece da mes-

ma sorte em equilibrio, se não são exactamente do mesmo comprimento o travessão inclina-se. A egualdade dos braços deve conservar-se em todas as posições, o que se consegue suspendendo os pratos sobre as arestas vivas de prismas triangulares collocados nas suas extremidades.

2.º *O centro de gravidade da balança esteja inferior ao centro de suspensão na mesma perpendicular ao travessão.* D'esta maneira se consegue que o equilibrio seja estável; se por ventura o centro de gravidade coincidissem com o de suspensão, o equilibrio seria *indifferente* e dar-se-hia em qualquer posição; se lhe fosse superior, então o equilibrio seria instável e a balança chamar-se-hia *louca*.

B. — Para que uma balança seja *sensível* é preciso:

1.º *Que o centro de suspensão, comquanto superior ao de gravidade, esteja o mais proximo possivel d'elle.*

2.º *que o travessão seja o mais leve possivel.*

3.º *que os seus braços sejam o mais longos que possam ser.*

Todas estas condições supõem uma outra que vem a ser, que os attritos sejam muito pequenos, e isto consegue-se empregando para a suspensão um prisma triangular de aço denominado *cutello*, com o cume assente n'uma superficie polida do mesmo aço ou de agatha. Os pequenos attritos na suspensão dos pratos conseguem-se pela maneira já atraz indicada.

85. **METHODO DA DUPLA PESAGEM.** — Póde determinar-se o peso exacto d'um corpo, com uma balança que não seja muito rigorosa, e cujos braços não sejam eguaes. Para isto basta equilibrar o corpo cujo peso se deseje obter com grãos de areia ou de chumbo e substituil-o depois por pesos graduados. Estes pesos representam exactamente o peso do corpo, porque actuaem como elle no mesmo braço da alavanca e equilibram a mesma resistencia, isto é, o peso da areia ou do chumbo.

86. **BALANÇA INGLEZA.** — A balança ingleza ou de Roberval, hoje muito empregada no commercio, compõe-se de duas alavancas interfixas de braços eguaes e collocadas

parallelamente de modo que os centros de suspensão estejam na mesma linha vertical. Às extremidades d'estas alavancas estão articuladas duas hastes metallicas e perfeitamente eguaes que sustentam os pratos da balança. O instrumento funciona como se fosse constituido por uma só alavanca interfixa de braços exactamente eguaes.

87. BALANÇA ROMANA. — Esta especie de balança tem um travessão de braços muito deseguaes, suspenso por um *cutello*. O maior dos braços é graduado e n'elle gira á vontade um anel a que está applicado um peso conhecido; (fig. 16) o mais pequeno tem um gancho a que se suspen-

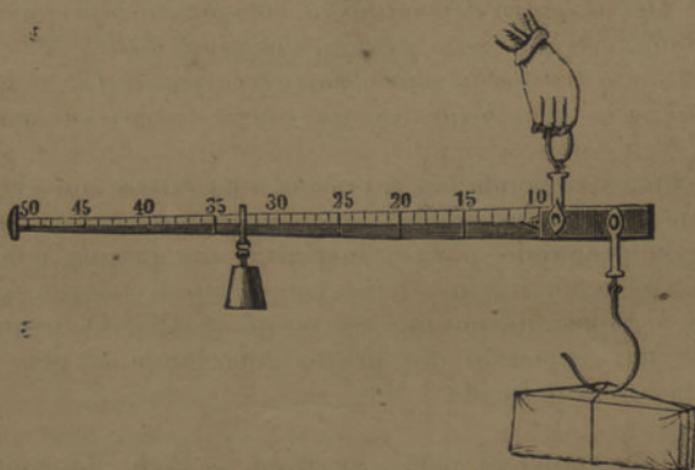


Fig. 16

dem os corpos que se querem pesar. Sendo muito pequeno o braço da resistencia e podendo á vontade variar-se o braço da potencia, podemos com este instrumento medir os mais differentes pesos.

88. BALANÇA DECIMAL OU BALANÇA DE QUINTENZ. — Esta balança (fig. 17) é sobretudo applicada á avaliação de grandes pesos, e por tal motivo encontra-se nos grandes armazens, nas estações de caminhos de ferro, nas alfande-

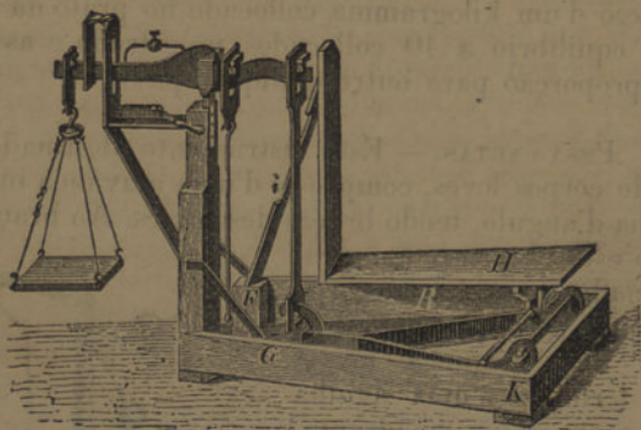


Fig. 17

gas, etc. O travessão d'esta balança (fig. 18)  $POd$  é movel em torno do cutello  $O$ . A' extremidade  $P$  d'este travessão está applicado um prato destinado a receber os pesos; ao passo que no outro braço  $OD$  está suspenso o aparelho destinado a receber os objectos que têm de ser

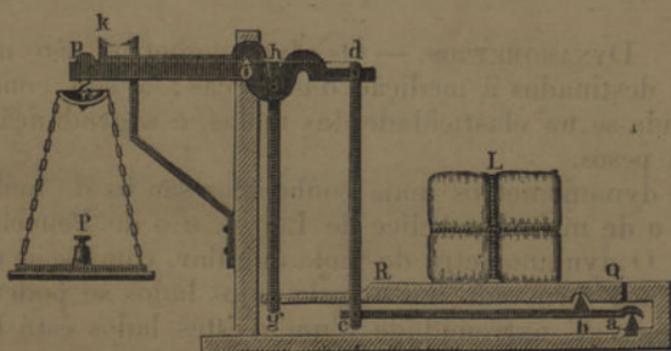


Fig. 18

pesados. Este aparelho é composto d'um estrado que repousa em duas reguás de madeira que por um lado estão assentes sobre cutellos  $a$  e  $b$  e por outro se ligam ao ponto  $h$  do braço  $Od$  por intermedio da haste  $gh$ . O comprimento das reguas é calculado de modo que toda a resistencia se venha applicar no ponto  $h$ . Se  $Oh$  fôr egual a  $\frac{1}{10}$  de

*OP* o peso d'um kilogramma collocado no prato da balança fará equilibrio a 10 collocados no estrado e assim na mesma proporção para outro qualquer peso.

89. **PESA-CARTAS.** — Este instrumento, destinado á pesagem de corpos leves, compõe-se d'uma alavanca interfixa em fórma d'angulo, tendo braços deseguaes. Ao braço mais pequeno está suspenso um prato destinado a receber o corpo que se quer pesar; o outro braço tem uma pequena massa fixa e termina n'uma agulha que se move n'um quadrante. É claro que quanto maior fôr o peso collocado no prato, mais se levantará o outro braço. Para graduar o instrumento, collocam-se no prato pesos determinados, e marcam-se successivamente estes pesos nos pontos em que pára a agulha. (Fig. 19)

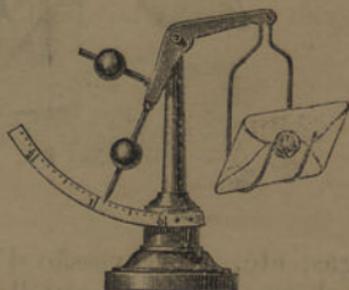


Fig. 19

90. **DYNAMOMETROS.** — Os dynamometros são instrumentos destinados á medição das forças; a sua construção funda-se na elasticidade das molas, e a gradação faz-se com pesos.

Os dynamometros mais conhecidos são os de mola angular, o de mola em helice de Leroy, e o de Poncelet.

1.º O dynamometro de mola angular, compõe-se d'uma mola d'aço formando um angulo cujos lados se podem approximar. A' extremidade d'um d'estes lados está ligado um arco metallico que atravessa livremente o outro lado do angulo e termina n'um gancho que serve para suspender o instrumento. A' extremidade do outro lado está da mesma maneira preso um arco metallico que atravessa livremente o primeiro, terminando egualmente n'um gancho que serve para a suspensão de um peso ou para a applicação de qualquer força.

Para a gradação do instrumento suspende-se pelo gancho e applica-se o peso de um kilogramma; os dois lados

do angulo approximam-se e marca-se na extremidade que são fóra do ramo superior do instrumento um traço correspondente a este peso. Repetindo a mesma operação para dois, tres e mais kilogrammas, teremos assim graduado o instrumento. Se, depois d'isto, tentarmos apreciar uma força ou medir um peso, diremos que ella ou elle é igual a um kilogramma se fizer coin que o ramo superior do instrumento raze o ponto em que marcamos um kilogramma, dois se fôr n'aquelle em que marcamos dois, etc.

2.º O dynamometro de mola em helice, de Leroy, é composto de um cylindro ôco de ferro, no interior do qual ha uma mola em helice presa por um lado ao tubo e por outro a uma haste graduada terminada n'um gancho, ao qual se suspende o corpo que se quer pesar.

A graduação faz-se analogamente ao que se praticou para o dynamometro de mola angular.

3.º E' além d'estes extremamente empregado o dynamometro de Poncelet que se compõe de duas molas parabolicas, articuladas a duas pequenas hastes metallicas, e tendo na parte central armaduras ás quaes está applicado superiormente um gancho destinado a suspender o instrumento e inferiormente um outro para prender os objectos que se querem pesar, ou se applicar a força que se quer medir, e interiormente duas reguas, uma graduada e outra em que está marcado simplesmente um traço. O deslocamento d'este traço marca o affastamento das molas e portanto a tracção exercida sobre ellas.



Fig. 20

A fig. 21 representa um dynamometro analogo ao de Poncelet, mas em que a aproximação das molas se vae, por meio d'um pequeno travessão, communicar a uma agulha que se move n'um quadrante.

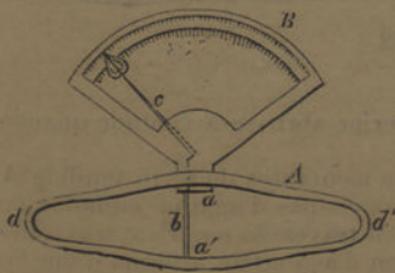


Fig. 21

91. BALANÇA DE PRECISÃO. — A

balança ordinaria tal como a representa a fig. 15 satisfaz plenamente ás necessidades do commercio; para usos physicos e principalmente chimicos são todavia necessarios instrumentos de muito maior sensibilidade e precisão. Para a construcção d'estes instrumentos é necessário: 1.º tornar os braços sensivelmente eguaes; 2.º dar-lhes ao mesmo tempo grande comprimento e pequeno peso; 3.º collocar no mesmo plano horisontal e com direcções parallelas os eixos de suspensão do travessão e dos pratos; 4.º fazer com que o centro de gravidade fique abaixo do eixo de suspensão, mas á melhor distancia possivel.

A fig. 22 representa uma balança de precisão sensivel a  $\frac{1}{2}$  miligramma. Está encerrada n'uma caixa de vidro para a garantir da

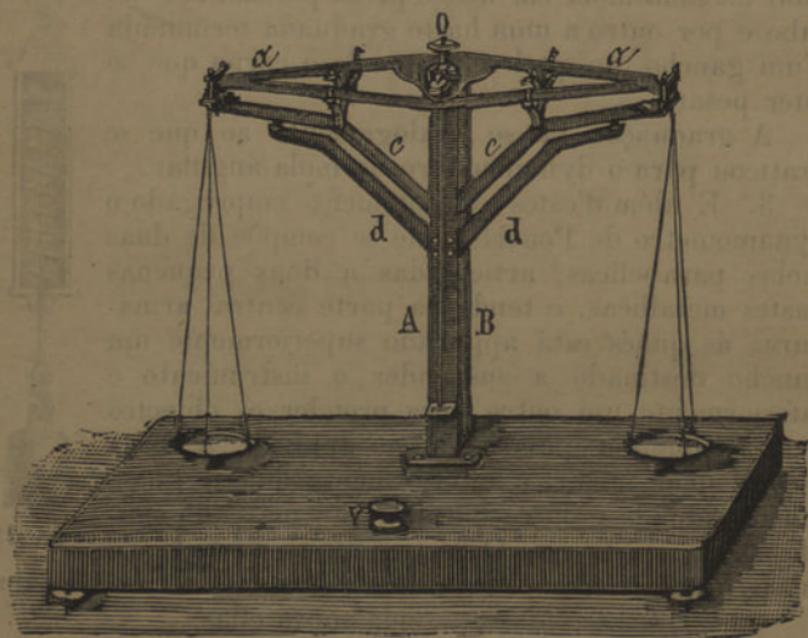


Fig. 22

humidade do ar, podendo a face anterior abrir-se á vontade quando se queira executar a pesagem.

Compõe-se o instrumento de dois montantes de ferro fundido A e B, tendo na sua parte superior duas chapas d'agatha, situadas no mesmo plano, sobre as quaes assenta o travessão aa. Este travessão é formado d'uma lamina de bronze ou d'aço e tem a fórmula d'um losango alongado, em que se praticaram largas aberturas com o fim de se tornar o peso o menor possivel. O eixo do travessão é consti-

tuido por um prisma d'aço temperado, cuja aresta inferior, rectilínea, está em relação com as chapas d'agatha.

A suspensão dos pratos realisa-se pela forma seguinte: Em cada extremidade do travessão está fixa um prisma d'aço cujo bordo superior é destinado a supportar uma chapa d'agatha, á qual está preso cada prato. Como estas prismas, se ficassem em contacto com as chapas d'agatha, se gastariam, com prejuizo da sensibilidade da balança, adapta-se á balança de precisão um accessorio importante, a *forquilha*, peça destinada a levantar os pratos e o travessão de todas as vezes que a balança não funciona.

Os braços *dd*, ligados ao montante A, são fixos e servem apenas para guiar a forquilha, que é uma peça de ferro fundido que póde abaixar-se e elevar-se com attrito doce ao longo do montante, por meio d'uma haste que se não póde ver no desenho.

Nas extremidades dos braços estão prismas d'aço sobre os quaes se vem applicar quando a balança funciona planos resistente d'agatha, ligados a uma peça que sustenta os pratos. Por baixo do travessão ficam as extremidades da forquilha que tem duas cavilhas de cada lado que veem collocar-se precisamente por baixo de duas peças conicas ligadas á chapa d'agatha. D'este modo, quando a forquilha sóbe, as cavilhas encontram as peças conicas ligadas á suspensão dos pratos, levantam-nas e o peso do prato é sustentado pela forquilha.

O mesmo succede para a suspensão do travessão. Continuando a forquilha a subir outras cavilhas vem encontrar de cada lado duas peças conicas que levantam, ficando todo o travessão apoiado em quatro pontos. Uma mola V permite por um mecanismo mais ou menos complicado abaixar ou levantar a forquilha.

92. DYNAMOMETROS E BALANÇAS. — Convem ter presente ao espirito que qualquer especie de balança serve para medir o peso relativo, ao passo que os dynamometros podem fornecer o peso absoluto. Basta reparar em que, na balança, as variações d'intensidade da gravidade em nada modificam o resultado, visto que aquella força tanto se exerce sobre os corpos que se querem pesar como sobre as unidades empregadas. Um corpo que pesa 1 kilogramma no polo, tambem o pesará no equador.

Não succede o mesmo com os dynamometros. Como o peso absoluto dos corpos varia com os differentes logares, attentas as variações da gravidade, a flexão da mola do dynamometro cederá mais ou menos conforme nos approximarmos mais do polo ou do equador.

## CAPITULO V

## Estado dos corpos. Caracteres geraes

Attracção molecular. Diferentes estados da materia. Caracteres geraes dos solidos, dos liquidos e dos gazes : compressibilidade, elasticidade, ductilidade, malleabilidade, tenacidade. Tempera.

93. DIVERSOS ESTADOS DA MATERIA. — Já atraz disse-mos que da mesma sorte que os corpos situados á superficie da terra são attrahidos, tambem as moleculas dos corpos se acham reunidas entre si por uma força que se chama *cohesão*. Uma outra força tende a separar essas moleculas — a *força repulsiva do calor* — e da relação d'essas forças é que resultam os estados dos corpos.

Ha corpos que podem passar successivamente por todos os tres estados, como são a agua, o enxofre, o mercurio, etc., e theoreticamente assim deveria succeder com todos. Na pratica, porém, ha circumstancias d'ordem physica e chimica que se oppõem a este resultado theorico. Assim ha corpos, taes como o carboneo e a magnesia, que nunca se apresentam senão no estado solido. O mais que se conseguiu foi amollecere o carboneo, submettendo-o á acção d'uma pilha de 500 elementos. Durante muito tempo houve tambem corpos que se não mostravam senão no estado liquido e no gazoso, mas depois que se conseguiu solidificar o alcool e o sulfureto de carboneo e liquifazer e até solidificar o hydrogenio, etc., já não ha motivo para o affirmar.

94. CARACTERES GERAES DOS CORPOS SOLIDOS. — Já disse-mos o que se deve entender por corpos solidos; são aquelles cujas partes se não podem affastar sem um esforço maior ou menor. Os solidos possuem um certo numero de propriedades physicas que importa estudar; taes são a *compressibilidade*, a *elasticidade*, a *ductilidade*, a *malleabilidade* e a *tenacidade*.

*Compressibilidade.* A compressibilidade nos solidos é muito variavel; ao passo que ha corpos que, como a medulla de sabugueiro, são muito compressiveis, outros ha que, como o carvão e o enxofre, o são em muito pequeno grau. As applicações da compressibilidade dos solidos são numerosas; tal é por exemplo a cunhagem das medalhas ou moedas. Sob a influencia d'um balanceiro o cunho bate subitamente d'encontro a um disco de metal em que deixa impressos os mais delicados desenhos. A compressibilidade dos solidos modifica-se com o tempo, pela continuidade da pressão.

*Elasticidade.* E' tambem muito variavel a elasticidade dos solidos; assim como os ha que como o cautchouc e o marfim são muito elasticos, outros, como o chumbo, gosam d'esta propriedade em grau pouco subido.

Ha diferentes especies d'elasticidade nos solidos, mas podem ser reduzidas a quatro: de *compressão*, de *tracção*, de *flexão* e de *torsão*. A elasticidade de *compressão* é aquella que o corpo manifesta, quando depois de sujeito a uma pressão que lhe diminuiu o volume, o recupera logo que ella cessou. A elasticidade de *tracção*, é a que manifesta uma barra que se alongou sob a influencia d'um peso e que volta ao comprimento primitivo quando deixa d'estar sujeita a estas condições. A elasticidade de *flexão* dá-se quando dobramos uma lamina qualquer e a abandonamos depois, voltando ella ao seu estado primitivo. Finalmente a elasticidade de *torsão* é a que se põe em evidencia n'um fio qualquer que, sendo torcido, por si proprio destorce, logo que seja subtrahido á causa que o obrigou áquelle movimento.

Por muito elastico que seja um corpo, ha um limite passado o qual não retoma o seu volume primitivo quando cessa a causa que actuou sobre elle: é o que se chama *limite d'elasticidade*. Assim succede quando vergamos de mais uma mola d'aço que perde até certo ponto a fôrma que tinha, ou quando distendemos de mais um fio de cautchouc que fica mais comprido do que era.

A elasticidade modifica-se profundamente sob a influencia d'um esforço prolongado por muito tempo; é esse facto

que explica o perderem a força as molas que diariamente empregamos com fins diversos. Não é necessario para isso que seja ultrapassado o limite d'elasticidade. A elasticidade dos solidos tem numerosas applicações. Assim os colchões e travesseiros são uma applicação da elasticidade de compressão; as molas dos relógios e os dynamometros (87) são baseados na elasticidade de flexão do aço, etc.

*Ductilidade e malleabilidade.* Chama-se *ductilidade* á propriedade que apresentam alguns corpos solidos e principalmente os metaes de se reduzirem a fios mais ou menos delgados quando se estiram á feira. Dá-se o nome de *malleabilidade* á propriedade que tem certos corpos de se reduzirem a laminas mais ou menos delgadas sob a influencia do martello ou do laminador. Os metaes mais ducteis são por sua ordem, o ouro, a prata, a platina, o aluminio, o ferro, o cobre, o zinco, o estanho e o chumbo. Os mais malleaveis são, tambem por sua ordem, o cobre, o estanho, a platina, o chumbo, o zinco e o ferro. Como se vê, a não serem o ouro e a prata, não ha relação entre a ductilidade e a malleabilidade; assim o ferro que tem uma ductilidade bastante grande, tem uma pequena malleabilidade.

O calor exerce uma notavel influencia sobre estas duas propriedades, modificando-as para mais e para menos. Assim o vidro que, á temperatura ordinaria não é ductil, póde, quando aquecido ao rubro, reduzir-se a fios tenuissimos. O zinco, que á temperatura ordinaria é muito pouco malleavel, é facil de laminar á temperatura de 130 a 140 graus. O ferro só á temperatura rubra se póde estirar com facilidade. Ao passo, porém, que n'estes corpos a ductilidade e a malleabilidade augmentam com a temperatura, outros ha que como o chumbo, o estanho, e o cobre são menos ducteis a quente do que a frio.

*Tenacidade.* Dá-se o nome de *tenacidade* á propriedade que tem os solidos de opporem maior ou menor resistencia á ruptura por tracção. Para comparar a tenacidade d'uns corpos em relação aos outros, reduzem-se a fios prismaticos ou cylindricos da mesma secção e prendem-se n'uma extremidade, applicando á outra pesos variados. Será mais

tenaz o corpo que supportar maior peso sem se romper. Chama-se *coefficiente de ruptura* o numero que exprime em kilogrammas o peso que determina a ruptura d'um fio d'esse corpo que tenha um millimetro quadrado de secção. Os metaes mais tenazes são, por ordem decrescente, o ferro, o cobre, a platina, a prata, o ouro, o zinco, o estanho e o chumbo.

Mostra a experiencia que o coefficiente de ruptura diminue com a temperatura. Apenas ha uma excepção que é o ferro, em que augmenta até 100°, submettendo-se passado esse ponto á lei geral.

*Tempera.* A *tempera* é uma operação que consiste em elevar um metal a uma temperatura subida e mergulhal-o depois n'um liquido frio. Ordinariamente o liquido empregado é a agua, mas em alguns casos emprega-se o azeite e o mercurio. O effeito da tempera é tornar o metal mais duro e quebradiço. Assim o aço que, não temperado, não é mais duro do que o ferro, adquire por este processo uma dureza tal que lhe permite linar aquelle metal e ainda corpos mais resistentes. Ha casos, porém, em que a tempera produz um effeito contrario; é o que succede com o bronze aquecido e resfriado subitamente na agua fria, o qual se torna bastante malleavel para se afeiçoar a martello; mas se fôr aquecido novamente e se deixar resfriar lentamente, adquire outra vez dureza e fragilidade.

95. CARACTERES GERAES DOS LIQUIDOS. — Os liquidos, como já dissemos (6) são caracterizados pela extrema mobilidade das suas moleculas, d'onde resulta o não podem affectar fórma propria, tomando a dos vasos que os contém.

Apesar da sua mobilidade, os liquidos possuem uma certa cohesão que, pouco accentuada no ether e no alcool, é manifesta no acido sulfurico e nas soluções assucaradas. E' em virtude d'esta adherencia que os liquidos abandonados a si proprios tomam constantemente a fórma espherica, como se torna bem evidente quando deixamos cair gottas de mercurio n'um plano formado por uma substancia que não tenha afinidade para com este

metal. Sobre este facto repousa tambem a fabricação do chumbo de caça.\*

Uma experiencia notavel, devida a Plateau, põe em evidencia esta propriedade dos liquidos. O azeite é um liquido mais leve do que a agua e mais pesado do que o alcohol; misturando porém estes dois liquidos pôde-se-lhes dar uma densidade igual á do azeite. Se o fizermos e na mistura deitarmos lentamente este ultimo, conserva-se suspenso sob a fórma d'uma esphera.

A experiencia torna-se muito mais interessante se por meio d'uma longa agulha que passe pelo centro imprimirmos á massa d'azeite um movimento de rotação. Vê-se immediatamente achatar-se o globo nos polos de rotação, e tornar-se este achatamento tanto mais accentuado quanto maior fôr a velocidade. Se esta fôr augmentando sempre, chega um movimento em que a coesão que une as moléculas entre si é vencida pela força centrífuga e forma-se uma especie d'annel que continúa girando.

Esta experiencia dá uma ideia frisante da maneira como a terra e os planetas, dada a sua fluidez primitiva, tomaram a fórma espherica, e ainda explica o mechanismo porque se produziu o annel de Saturno.

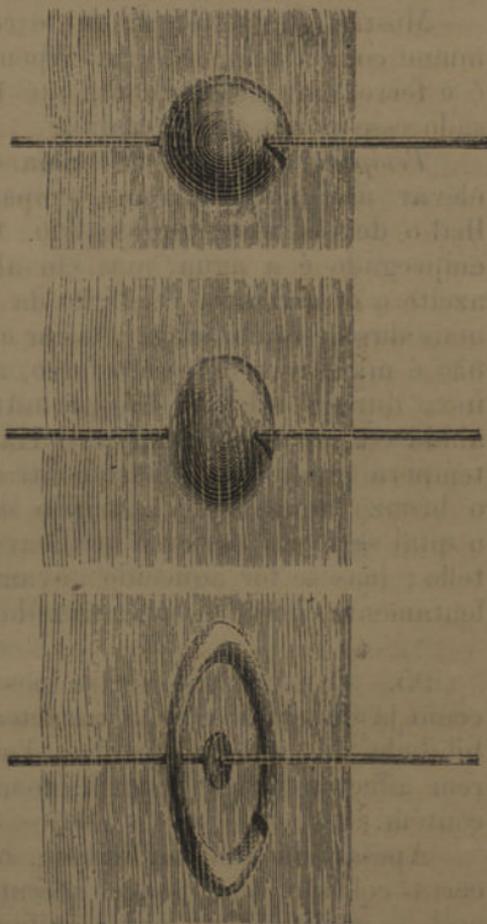


Fig. 23

E' tambem notavel aos liquidos a sua adhesão aos solidos. Prova-se muito bem o facto com uma balança, a um dos pratos da qual se suspende horisontalmente um disco de vidro que se applica sobre a superficie d'um liquido. Verifica-se então a necessidade que ha de empregar pesos para que o disco se separe da superficie do liquido. Esta experiencia tanto se realisa com os liquidos que molham o disco como a agua, como com aquelles que o não molham como o mercurio.

Dupré, de Rennes, realisou tambem uma experiencia que quasi podem verificar sem necessidade de um apparelho especial. Sobre uma lamina horisontal de cobre move-se em torno de um eixo uma pequena alavanca muito movel. Lançam-se algumas gottas d'uma solução de sabão sobre a lamina de cobre de maneira que se molhe tambem um dos lados da alavanca. Affastando a lamina, o liquido acompanha a alavanca; se a fazemos recuar, o liquido tambem recua sobre si.

*Compressibilidade.* Durante muito tempo suppoz-se que os liquidos eram absolutamente incompressiveis, e a experiencia que atraz referimos (19) devida aos academicos de Florença era tida como demonstração bastante d'esse facto. Hoje está provado que não é isso rigorosamente exacto, e que os liquidos diminuem tambem de volume quando são comprimidos. Esta diminuição é todavia muito pequena.

Os instrumentos com os quaes se póde verificar a compressibilidade dos liquidos receberam o nome de *piezometros*. O mais empregado é o d'Ers-ted que passamos a descrever. Compõe-se d'um reservatorio cylindrico de vidro A, tendo superiormente um pequeno tubo capilar que se alarga na extremidade livre em fôrma de

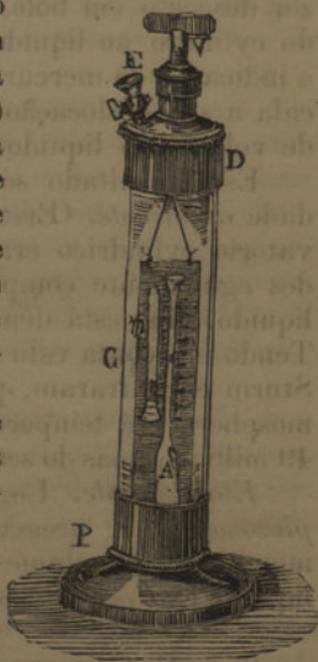


Fig. 24

funil, e dividido n'um certo numero de partes d'egual capacidade, cada uma das quaes representa uma fracção conhecida do volume total do liquido. Este cylindro está fixo a uma prancheta a que egualmente está ligado um manometro *m* d'ar comprimido, que serve para medir a pressão durante a experiencia. O aparelho está encerrado n'um cylindro de vidro, de paredes resistentes, solidamente ligado a um sôcco de cobre, e tendo na parte superior um revestimento do mesmo metal *D*, fechado por um prato que se póde desatarrachar, e em que está um embolo que se póde fazer mover por meio do parafuso *V*. Para com este instrumento se medir a compressibilidade d'um liquido, por exemplo a da agua, enche-se com este liquido o reservatorio *A* e o tubo até uma certa altura e deita-se por cima uma gotta de mercurio que serve d'indicador e ao mesmo tempo para isolar o liquido contido no reservatorio. Enche-se então d'agua o cylindro por meio do funil *E* que se fecha por meio d'uma torneira e faz-se mover o parafuso de modo a fazer descer o em bolo. A pressão transmittida pela agua do cylindro ao liquido contido no reservatorio faz baixar o indicador de mercurio no tubo capilar e basta ler na escala a sua deslocação para se saber qual foi a diminuição de volume do liquido.

Este resultado só exprime, todavia, a compressibilidade *apparente*. Ersted julgou que a capacidade do reservatorio cylindrico era invariavel por serem as suas paredes egualmente comprimidas interna e externamente pelo liquido. Mas está demonstrado que o seu calibre diminue. Tendo em conta esta alteração da capacidade, Colladon e Sturm encontraram, para uma pressão egual á d'uma atmosphera e á temperatura de 0° que a agua se comprimia 49 millionesimas do seu volume e o mercurio 5 millionesimas.

*Elasticidade.* Logo que se allivie o liquido contido no *piezometro* da pressão que supportou, volta immediatamente ao seu volume primitivo. D'aqui se conclue que os liquidos são *perfeitamente elasticos*.

96. CARACTERES GERAES DOS GAZES. — Os gazes são caracterisados pela repulsão constante das suas moleculas,

d'onde resulta a sua *expansibilidade*, isto é a propriedade em virtude da qual tendem a occupar um volume maior. Em razão d'esta expansibilidade, exercem sobre a parte interna dos reservatorios em que estão contidos uma certa pressão, a que se chama *tensão* ou *força elastica* dos gazes.

Ainda assim os gazes teem uma certa cohesão que se não póde demonstrar, mas se impõe ao nosso espirito, sobretudo quando se liquifazem. A sua adhesão aos solidos é todavia facil de demonstrar, e d'elle se fazem grandes applicações. Se deixarmos um pouco de carvão poroso em sitio onde haja gazes deleterios que se traduzam por um cheiro desagradavel, ao cabo d'um certo tempo estará o espaço em que isto se executar completamente desinfectado, por isso que o carvão absorve os gazes. Se mergulharmos um corpo solido, observamos que immediatamente se começam a desenvolver pequenas bolhas de ar que estava adherente á superficie d'elle.

Estes factos de adhesão dão-se mesmo com os metaes, e verão quando estudarem chimica que a esponja de platina tem a propriedade de absorver notaveis volumes de hydrogenio.

Durante muito tempo os gazes foram divididos em *não permanentes* e *permanentes*, segundo podiam ou não passar ao estado liquido sob a influencia d'um excesso de pressão ou d'um excesso de frio. Esta distincção não tem razão de ser desde os fins do anno de 1877, em que os seis gazes chamados *permanentes* oxygenio, hydrogenio, azote, bioxydo d'azote, oxydo de carbonio e carboneto d'hydrogenio foram liquefeitos e até solidificados por Cailletet em França e Raul Pictet em Genebra.

Na linguagem corrente dá-se o nome de *gazes* ás substancias que nas condições habituaes de pressão e de temperatura só se apresentam no estado aeriforme; entendendo-se por *vapor* o estado aeriforme que tomam certos liquidos ou solidos, taes como a agua e o ether, sob a influencia do calor.

*Compressibilidade.* Os gazes são de todos os corpos os mais compressiveis. Ao passo que a pressão d'uma atmospherá reduz o volume da agua apenas 49 millione-

simas, a mesma pressão reduz o espaço occupado por um gaz a metade. A experiencia do *fusil d'ar* (fig. 20) prova á evidencia a grande compressibilidade dos gazes.

*Elasticidade.* Se depois de comprimido o ar no *fusil d'ar* largarmos subitamente o embolo, este move-se em sentido inverso, de maneira a occupar o seu volume primitivo. A experiencia do arcabuz (fig. 21) tambem demonstra a grande elasticidade dos gazes. Os gazes são eminentemente elasticos, d'onde o nome de *fluidos elasticos* pelo qual ainda são designados. Não se deve, porém, julgar que o sejam mais perfeitamente do que os liquidos, mas apenas que n'elles a elasticidade é mais apparente do que nos outros corpos.

## LIVRO TERCEIRO

### HYDROSTATICA

---

#### CAPITULO I

#### Propriedades dos liquidos

Principio da egualdade de pressão. Condições d'equilibrio dos liquidos pesados. Prensa hydraulica. Pressões sobre as paredes dos vasos. Avaliação das pressões exercidas pelos liquidos pesados. Paradoxo hydrostatico. Equilibrio dos liquidos de differente densidade. Equilibrio dos liquidos em vasos communicantes. Niveis d'agua e de bolha d'ar.

97. EQUILIBRIO DOS LIQUIDOS: HYDROSTATICA. — Os liquidos podem ser estudados quando em repouso, ou quando em movimento. A parte da physica que estuda os liquidos em movimento chama-se *hydro-dynamica*; a que estuda as suas condições de equilibrio e as pressões que exercem sobre si mesmos e sobre os vasos que os encerram tem o nome de *hydrostatica*.

98. PRINCIPIO DA EGUALDADE DE PRESSÃO. — Se tomarem um cylindro ligado a um balão que tenha differentes aberturas, e no interior do qual haja um embolo que possam fazer caminhar á vontade, enchendo o aparelho de agua e exercendo com o embolo uma certa pressão, o liquido sairá por todos os orificios e com uma velocidade sensivelmente equal.

Se augmentarem a pressão de outro tanto do que fizeram da primeira vez, o liquido sairá com uma força dupla; se ainda a forem tornando tres vezes maior, o liquido sairá com velocidade tres vezes maior e assim successivamente.

Ora este facto leva-nos á admissão d'uma lei cha-

mada lei de Pascal ou da equaldade de pressão que se póde enunciar assim: *Toda a pressão exercida em qualquer ponto da massa d'um liquido transmite-se em todos os sentidos e com a mesma intensidade em equaldade de superficie.*

Este principio póde ser entrevisto pelo raciocinio, attendendo á extrema mobilidade das moleculas dos liquidos. Se deslocarmos uma molecula d'um liquido com uma pressão qualquer, este tende a ir sobre as outras e deslocal-as, mas não sendo isso possivel em virtude da impenetrabilidade, transmite ás moleculas restantes da massa liquida o movimento de que vae animada.

Note-se que se a pressão exercida é transmittida a uma superficie duas vezes maior, tambem a pressão se torna duas vezes maior, etc.

E' o que se póde reconhecer por meio d'um vaso que tenha aberturas deseguaes em que se movam embolos. A pressão exercida sobre qualquer d'elles por meio de pesos vae-se exercer na face interna dos outros embolos integralmente em cada elemento de superficie igual. Por conseguinte, para cada superficie duas ou tres vezes maior ou duas ou tres vezes menor, a pressão será tambem duas ou tres vezes maior ou menor.

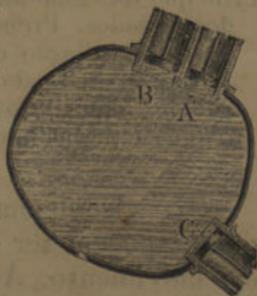


Fig. 25

99. PRENSA HYDRAULICA. — Este instrumento foi imaginado por Pascal, e é uma das applicações mais proveitosas do principio por elle descoberto.

Compõe-se o instrumento de dois cylindros de metal extremamente resistentes *a* e *l*, tendo diâmetros deseguaes e communicando entre si por meio de um tubo *c*. No interior de *l* caminha um embolo *i*, que levantando-se ou abaixando faz abrir ou fechar uma valvula que estabelece ou interrompe a communicação com uma tina de ferro cheia de agua, collocada por baixo do aparelho. Este embolo é movido por intermédio de uma haste *h*, posta em movimento pela alavanca interresistente *g*. No ponto d'este re-

servatorio em que desemboca o tubo *c* ha egualmente uma valvula disposta da mesma maneira. No tubo maior *a* serve de embolo um cylindro de metal *b* que sustenta um prato destinado a receber os objectos que se querem sujeitar á

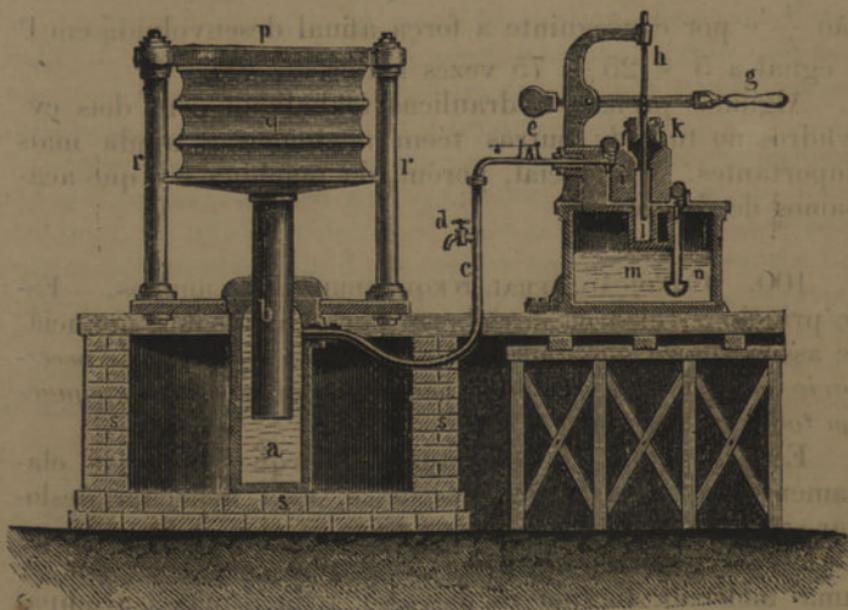


Fig. 26

compressão e que os encosta contra uma lamina de metal *P* sustentada superiormente por umas columnas de ferro.

Vejamos agora como funciona o apparelho. Quando elevamos o embolo no reservatorio *l*, a agua é aspirada, abre a valvula e penetra no cylindro; quando se abaixa, a agua fecha a valvula, vence a resistencia que lhe offerece a que obtura o tubo *c* e entra no cylindro maior *a*; tornando a elevar o embolo, a agua pelo seu peso fecha a valvula no tubo de communicção e não volta para o cylindro *l*, onde novamente se aspira a agua que é levada depois para *a* e assim successivamente. D'esta maneira a pressão exercida no tubo mais pequeno *l* é transmittida por egual a cada superficie egual da agua encerrada no cylindro *a*.

Supponhamos  $\frac{1}{5}$  a relação existente entre os braços da alavanca  $g$ ; o esforço empregado na sua extremidade tornar-se-ha cinco vezes maior e se fôr também  $\frac{1}{5}$  a relação dos diâmetros dos cylindros, as superficies estarão na relação  $\frac{1}{25}$  e por conseguinte a força afinal desenvolvida em  $P$  é igual a  $5 \times 25 = 75$  vezes maior.

Algumas prensas hydraulicas trabalham com dois cylindros no tubo  $l$ ; outras têm modificações ainda mais importantes. O essencial, porém, da machina é o que acabamos de descrever.

100. CONDIÇÃO GERAL D'EQUILIBRIO DOS LIQUIDOS. — Este principio celebre, descoberto por Archimedes, enuncia-se assim: *para que um liquido esteja em equilibrio é necessario e sufficiente que cada molecula soffra pressões egues em todos os sentidos.*

Este principio é quasi intuitivo, porque se percebe claramente que, se tal não succedesse, essa molecula deslocar-se-hia no sentido da maior pressão, deixando por isso de haver equilibrio; e como já fizemos conhecer que se uma molecula liquida se movesse, toda a massa acompanharia este movimento, segue-se que, estando em equilibrio, toda a massa de que faz parte o estará também.

101. PRINCIPIO FUNDAMENTAL D'EQUILIBRIO DOS LIQUIDOS PESADOS. — Como consequencia do principio acima estabelecido, temos que *um liquido, submettido apenas á acção da gravidade, estará em equilibrio quando todos os pontos d'uma mesma camada horisontal estiverem sujeitos á mesma pressão.* Se tal não succedesse, aconteceria o mesmo que supposemos para o caso antecedente, isto é, deslocar-se-hia o ponto que estivesse submettido á pressão maior, e a consequencia seria a destruição do equilibrio.

102. PRESSÕES EXERCIDAS PELOS LIQUIDOS. — Temos a considerar nos liquidos duas especies de pressões: verticaes e lateraes. Resulta do principio de Pascal que a pres-

são se transmite n'um liquido em todos os sentidos. D'aqui a existencia de *pressões verticaes de baixo para cima e de cima para baixo e pressões lateraes*.

103. PRESSÃO VERTICAL DE CIMA PARA BAIXO — PRESSÃO NO FUNDO DOS VASOS. — A pressão vertical de cima para baixo é igual ao peso d'uma columna de liquido que tenha por base a superficie que se considera e por altura a distancia á superficie livre do liquido.

Se se tiver em vista a pressão exercida por um liquido sobre o fundo do vaso que o encerra, é igual ao peso da columna liquida que tem por base o fundo do vaso e por altura a distancia que d'elle vae á superficie livre do liquido. Qualquer, pois, que seja a fórma dos vasos, se tiverem base semelhante e o liquido chegar á mesma altura, a pressão sobre o fundo será sempre a mesma. E' o que se demonstra experimentalmente com o apparatus de Haldat.

104. APPARELHO DE HALDAT. — Este apparatus compõe-se d'um tubo duas vezes recurvado em angulo recto, tendo n'um dos ramos verticaes uma virola metallica D (fig. 27) a que podem adaptar-se differentes tubos *m*, *a*, *b*, das mais

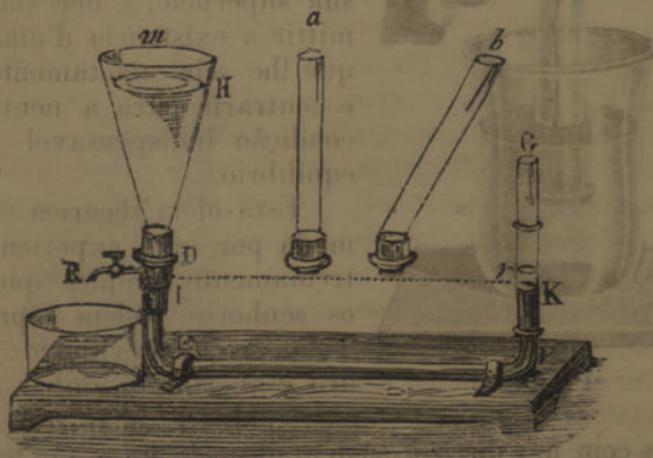


Fig. 27

variadas fórmas, mas que têm todos uma base igual. N'es-

te tubo recurvado lança-se mercúrio e depois de se ter atarrachado em D um dos tubos, enchemol-o d'agua ou d'outro qualquer liquido até uma certa altura que marcamos por meio d'um estylete. Observamos então que o mercúrio sobe até um certo ponto que marcamos por intermedio d'um anel em *r*. Fazendo sair do tubo a agua, por intermedio da torneira que ha na virola D, pomos em relação com ella outro tubo com um fundo das mesmas dimensões mas com uma fôrma muito differente e ainda assim o mercúrio rasa o mesmo ponto se a agua no tubo applicado em D chegar á mesma altura a que tinha chegado no primeiro tubo. Isto prova que a pressão em nada depende da quantidade do liquido, mas simplesmente da superficie do fundo e da altura do liquido.

105. PRESSÃO VERTICAL DE BAIXO PARA CIMA. — Se raciocinarmos sobre as noções que acabamos de adquirir,



Fig. 28

(fig. 28) persuadimo-nos immediatamente que, desde o momento que nos liquidos existe uma pressão de cima para baixo que actua em todos os pontos da sua superficie, é necessario admittir a existencia d'uma outra que lhe seja exactamente igual e contraria para a neutralisar, condição indispensavel para o equilibrio.

Esta ideia theorica é confirmada por uma experiencia extremamente simples que todos os senhores podem reproduzir. Toma-se um cylindro de vidro *g* aberto em ambas as suas extremidades, mas que nós

chamos com um disco *k* sustentado pelo fio *s* que temos na mão. Introduzindo o tubo na agua e soltando o fio, observamos então que o disco se não aparta da extremidade do tubo. Para podermos ajuizar da intensidade da força que

determina este phenomeno, vamos enchendo com vagar o tubo, e observamos que só quando o liquido rasa, dentro do tubo, o mesmo nivel que fóra é que o disco se solta. Em vista d'isto enuncia-se um outro principio por esta fórma: *a pressão exercida por um liquido de baixo para cima é igual ao peso d'uma columna de liquido que tem por base a superficie horisontal comprimida e por altura a distancia á superficie livre do liquido.*

106. PRESSÕES LATERAES. — Se fizermos n'um vaso qualquer uma abertura lateral, o liquido escoo-se por ella. Isto prova que ha n'elle uma pressão lateral, que é a causa d'este phenomeno, e como apesar da sua existencia, está em equilibrio a massa, é necessario admittir uma outra força que se opponha directamente a ella. Uma e outra são as *pressões lateraes*. *A pressão exercida na superficie lateral d'um vaso é igual ao peso d'uma columna liquida que tem por base essa superficie e por altura a distancia do seu centro de gravidade á superficie livre do liquido.* Chama-se ao ponto de applicação d'esta força *centro de pressão*, e fica sempre um pouco abaixo do centro de gravidade da superficie sobre que se exerce a pressão.

107. TORNIQUETE HYDRAULICO. — A existencia das pressões lateraes demonstra-se por meio d'um apparelho muito curioso, (fig. 29) o *torniquete hydraulico*. Compõe-se elle d'um vaso de vidro movel em torno d'um eixo vertical e terminado em baixo por uma capsula de metal que tem communicação com dois tubos collocados horisontalmente e em seguimento um do outro. Estes tubos são abertos na extremidade e recurvados em



Fig. 29

sentido contrario um do outro. Se enchermos o vaso d'agua, vemos que ella se esgota pelas duas aberturas, produzindo um movimento de rotação em torno do eixo vertical, em sentido contrario áquelle em que se realisa o esgotamento. Este phenomeno é devido ás pressões lateraes que o liquido exerce nos pontos oppostos ás aberturas e que não são neutralizadas pelas pressões contrarias em virtude do escoamento do liquido.

108. PARADOXO HYDROSTATICO. — O principio enunciado precedentemente (103) a proposito das pressões sobre o fundo dos vasos, deu logar a um paradoxo celebre — o *paradoxo hydrostatico*. A razão do titulo está no seguinte: parece realmente inadmissivel que a pressão d'um liquido sobre o fundo d'um vaso que o encerra seja umas vezes maior e outras menor do que o peso do liquido. E todavia assim acontece.

Suspende-se a um dos braços de uma balança um disco que se applica successivamente aos tubos que servem ao apparelho de Haldat que se fixam n'um supporte independente de balança, para que a balança nos dê o valor da pressão exercida sobre o fundo do vaso e não o peso do liquido. Observa-se então que, estando a agua n'estes tubos á mesma altura, tambem os pesos que são precisos para lhe fazer equilibrio são eguaes. E' este mesmo um outro meio de demonstrar o principio da pressão vertical de cima para baixo. Se, porém, collocarmos os tubos cheios de agua nos pratos da balança, veremos que, abstrahindo do peso do tubo, são precisos pesos muito variaveis para fazer equilibrio ao liquido contido no tubo, conforme as suas respectivas dimensões.

Esta apparente contradicção explica-se perfeitamente, porquanto, no primeiro caso, o que se transmite á balança é a pressão so-

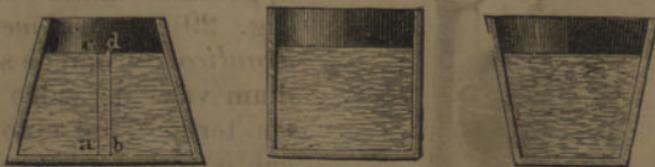


Fig. 30

bre o fundo do vaso, e no segundo transmite-se esta, augmentada ou diminuida da resultante das pressões lateraes; augmentando, se o vaso se alarga para cima, diminuindo se se estreita. Só quando o vaso fôr cylindrico é que o peso do liquido é egual á pressão sobre o fundo do vaso.

Nos vasos que a figura representa, admittindo que tenham uma

base d'eguaes dimensões, a pressão sobre o fundo do vaso será respectivamente maior, igual e menor do que o peso do liquido.

109. VARIACÕES DAS PRESSÕES VERTICAES COM A PROFUNDIDADE. — Do celebre principio de Pascal tira-se uma conclusão d'importancia que vem a ser que: *a pressão sobre um elemento liquido qualquer é igual á exercida em outro equal, superior ou inferior, augmentada ou diminuida do peso d'uma columna liquida que tem por base aquelle elemento e por altura a differença dos niveis a que estão collocados.*

Ha uma demonstração extremamente simples d'este principio. Consideremos os dois elementos planos  $m$  e  $m'$  collocados na mesma vertical.

Da inspecção da figura se vê immediatamente que o elemento  $m$  collocado inferiormente a  $m'$  recebe, além da pressão transmittida a este elemento, o peso d'uma columna liquida que tem por base o elemento  $m$  e por altura a distancia entre  $m$  e  $m'$ .

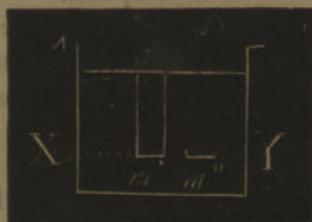


Fig. 31

Se em lugar do elemento  $m$ , considerassemos o elemento  $m''$ , situado na mesma camada, substituil-o-iamos pelo primeiro, visto que os elementos da mesma camada horisontal têm a mesma pressão, e provariamos para elle o que foi provado para  $m$ .

110. LIQUIDOS SOBREPOSTOS. — Para que se dê o equilibrio entre liquidos de natureza diversa, contidos no mesmo vaso, é preciso que a superficie de separação seja horisontal, porque só assim pôde ser a mesma a pressão em todos os pontos de uma mesma camada horisontal.

E' além d'isso necessario que os liquidos se sobreponham por ordem das suas densidades. Se assim não fosse, o liquido deixava de estar em equilibrio e as moleculas mais densas, em virtude de maior peso e da mobilidade da massa, tenderiam a tomar o fundo do vaso. Esta condição geral d'equilibrio de liquidos sobrepostos demonstra-

se muito bem experimentalmente por meio do aparelho, e a que se dá o nome de *frasco dos quatro elementos*. É um tubo de vidro fechado á lampada em ambas as suas extremidades e contendo quatro liquidos que não tem acção chimica uns sobre os outros: mercurio, agua tendo em dissolução uma grande quantidade de carbonato de potassa, alcool corado de vermelho e oleo de naphta. Se nós agitarmos o frasco, todos os liquidos se misturam; porém, passado pouco tempo, recuperam o equilibrio, apresentando superficies de separação horisontaes e dispondo-se segundo as suas respectivas densidades, isto é, de baixo para cima o mercurio, a solução de carbonato de potassa, o alcool e o oleo de naphta.

Escolhem-se de proposito estes liquidos ou outros quaisquer gosando da mesma propriedade de se não misturarem, aliás teriamos o phenomeno da diffusão.

111. EQUILIBRIO D'UM LIQUIDO EM VASOS COMMUNICANTES. — Para que um liquido encerrado em diferentes vasos communicantes esteja em equilibrio é preciso que as superficies livres estejam á mesma altura, em todos os vasos, isto é, no mesmo plano horisontal.

Este principio é uma consequencia d'equilibrio dos liquidos pesados (101), visto que só que nas condições apontadas a pressão será a mesma n'uma camada horisontal.

Demonstra-se experimentalmente este principio por

meio d'uma serie de tubos reunidos entre si por um canal metallico a um vaso que contenha um liquido qualquer. No ponto de reunião com este ha uma torneira que serve para in-

terromper ou abrir communicação com os tubos de vidro. Lançamos agua ou outro qualquer liquido no vaso gran-

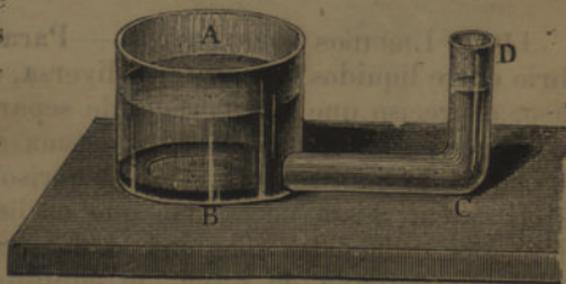


Fig. 32

de e abrimos a torneira; immediatamente o liquido sóbe á mesma altura em todos os tubos. E' o que succede tambem no vaso representado na figura 32.

112. EQUILIBRIO DOS LIQUIDOS HETEROGENEOS EM VASOS COMMUNICANTES. — Esta condição d'equilibrio pôde ser expressa nos seguintes termos: *para que liquidos de differente natureza se equilibrem em vasos communicantes é necessario que as alturas a que chegam estejam inversamente proporcionaes ás suas densidades.*

Verifica-se esta condição com dois tubos communicantes em que se lança mercurio, o qual em virtude da condição de equilibrio dos liquidos em vasos communicantes fica á mesma altura nos dois tubos (fig. 33).

N'um d'elles lançamos então uma pouca d'agua e acontece que o nivel de mercurio abaixa-se n'esse tubo para se elevar no outro. A differença de altura das duas columnas de mercurio está para a altura da agua, como a densidade d'esta para a d'aquelle. E' ainda uma consequencia do equilibrio dos liquidos pesados. Seja  $ON$  a superficie de separação dos dois liquidos e seja  $h$  e  $h'$  as alturas respectivas dos liquidos. Os pesos d'essas columnas em cada unidade de superficie são, para a agua  $h'd'$ , representando  $d'$  a sua densidade, e  $hd$  para o mercurio, representando  $d$  a densidade d'este. Para que haja egualdade de pressão em  $ON$  é necessario que

$$hd = h'd'$$

isto é que

$$\frac{h}{h'} = \frac{d'}{d}$$

que é o enunciado da lei.

113. APPLICAÇÕES. — NIVEIS. — NIVELAMENTO. — As principaes applicações do equilibrio dos liquidos em vasos communicantes são os *niveis* e os *poços artesianos*.



Fig. 33

Chamam-se *superfícies de nível* ou *camadas de nível* as camadas em que existe a mesma pressão; n'um liquido apenas sujeito á acção da gravidade, as superfícies do nível são horisontaes; n'um liquido submettido á acção d'outra força, as *camadas de nível* são sempre perpendiculares a essa força.

A superficie livre d'um liquido é uma superficie de nível, por isso que todos os seus pontos téem a mesma pressão, e portanto deve ser em cada um dos seus pontos perpendicular á resultante das forças que n'elle actuaem; se é apenas a gravidade a que exerce a sua acção, então a superficie livre é perfeitamente horisontal.

114. NÍVEL DOS MARES. — Como n'uma pequena extensão podemos considerar parallelas as linhas verticaes, segue-se que a superficie livre dos liquidos contidos em vasos ou pequenos reservatorios é um plano horisontal. Se, porém, considerarmos uma extensa superficie, como a dos mares, então observamos que ella é sensivelmente espherica, porque, sendo em cada ponto perpendicular á acção da gravidade, não podia deixar de formar um polyedro de numero infinito de lados, isto é, uma esphera. Succede porém que a visinhança das montanhas que limitam algumas costas, e mais ainda a força centrifuga resultante do movimento de rotação da terra, dão em resultado uma maior elevação das aguas; as montanhas pela attracção que exercem, e a força centrifuga por determinar o affluxo das aguas para o equador. Apesar d'isto todos os mares téem sensivelmente a mesma altura, por communicarem uns com os outros; faz excepção o mar Caspio, que isolado por todos os lados, se acha 26 metros mais baixo do que o mar Negro.

As aguas do mar estão em continuo movimento, o que é devido a phenomenos d'attracção interplanetaria e ainda a outras causas. O que se convencionou chamar *nível dos mares* é o nível médio entre o ponto mais alto a que o mar chega no dia — *preamar* e o mais baixo — *baixamar*.

115. NÍVEL D'AGUA. — E' sobre o equilibrio dos liqui-

dos em vasos communicantes que repousa a theoria d'este apparelho. Consta d'um tubo metallico, de proximo d'um metro de comprimento (fig. 34), recurvado em angulo recto



Fig. 34

nas suas extremidades e terminado em ambas ellas por dois cylindros de vidro. O instrumento assenta sobre um tripé. Para nos servirmos d'elle, damos-lhe uma direcção sensivelmente horisontal e enchemos o tubo com agua até ao meio dos copos de vidro. Já sabemos que as superficies livres da agua estão no mesmo plano horisontal e olhando tangencialmente a essas superficies, determinamos uma linha horisontal.

Este apparelho serve para as operações de nivelamento, que têm por fim conhecer a differença d'altura entre dois logares afastados. Para isso, collocam-se, nos dois pontos cuja differença de altura se deseja conhecer, reguas graduadas verticaes chamadas *miras*, ao longo das quaes pôde correr um rectangulo de folha cujo centro é o ponto de referencia. Dirige-se o olhar para uma d'estas miras e faz-se signal ao individuo que a traz para que abaixe ou eleve o rectangulo de modo que o seu centro fique no prolongamento do olhar tangente ás duas superficies do liquido. Dirige-se para a outra mira a attenção do observador e faz-se para ella o mesmo. Lendo as indicações nas hastes graduadas, conhecemos a differença d'alturas.

Se os pontos são entre si muito distantes, ou têm uma differença d'altura superior ao comprimento da mira, fazem-se nivelamentos parciaes e intermediarios.

116. NIVEL DE BOLHA D'AR. — Este nivel é muito mais sensível do que o precedente, e não só serve para tomar nivelamentos, como ainda para verificar se um determinado plano está ou não horisontal. Compõe-se d'um tubo fechado em ambas as extremidades e quasi cheio por um liquido extremamente fluido, como o alcool e o ether, sendo o restante espaço occupado por uma bolha d'ar ou melhor ainda de vapor d'aquelles liquidos.

O tubo está encerrado n'um estojo de metal que tem na sua parte mediana uma pequena abertura para deixar a descoberto a porção do tubo em que se vê a bolha, e que anda ligado a uma regoa tambem metallica, permanentemente n'uma das suas extremidades, e na outra por meio d'um parafuso que permite o movimento de rotação. Deve dispôr-se de modo que assentando o instrumento sobre um plano horisontal, a bolha se venha collocar entre dois traços (fig. 35) que se marcam no meio. Para isso, colloca-se

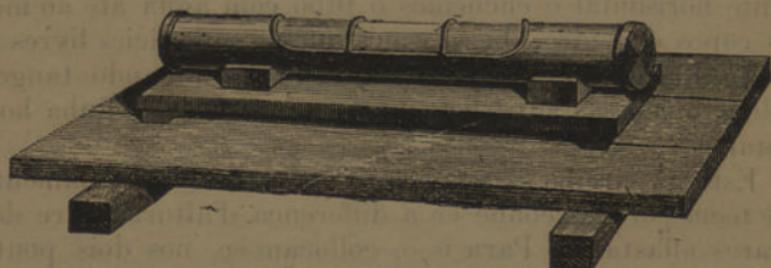


Fig. 35

sobre um plano a que damos uma direcção tal que a bolha fique ao meio do tubo, e invertemol-o sem que mudemos a posição do plano; se a bolha não muda de lugar, concluímos que o nivel é bom, se tal não acontece, precisamos de mover o parafuso até conseguir esse resultado. Para dar com este instrumento a direcção horisontal a um plano, collocamol-o em duas direcções crusadas de modo que a bolha d'ar fique collocada no centro. Temos assim duas

rectas horisontaes e sabido é que bastam duas rectas para a determinação d'um plano.

Se o queremos empregar nos nivelamentos, então fixa-se a um oculo, ao qual por meio d'elle damos a posição horisontal.

117. POÇOS ARTESIANOS — REPUXOS. — Os *poços artesianos* são, como os niveis, uma applicação do equilibrio dos liquidos em vasos communicantes. A agua das chuvas, infiltrando-se a travez das camadas permeaveis dos terrenos, vem por ultimo a correr entre duas camadas impermeaveis. Se conseguirmos perfurar a camada superior, acontecerá que o liquido subirá na sonda com que o fizemos, a tanto maior altura, quanto mais elevado fôr o ponto mais alto de ondulação do terreno. Estes poços chamam-se *artesianos* por serem muito usados na provincia de Artois, em França. (Fig. 36).

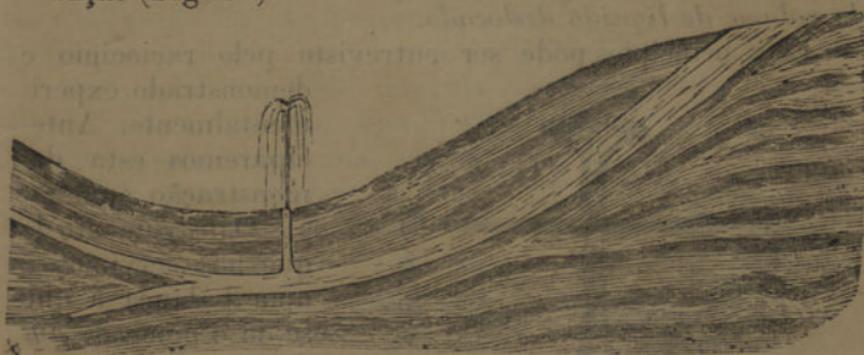


Fig. 36

Os *repuxos* repousam tambem no mesmo principio. As aguas partindo de pontos muito elevados e sahindo pela abertura d'um canal, tendem a tomar a mesma altura que no ponto mais alto d'onde procedem, o que não conseguem em virtude da resistencia d'ar, do attrito no orificio de saída, etc. Podem dar-se aos repuxos variadissimas fórmás, mas que se fundam no mesmo principio.

## CAPITULO V

## Equilíbrio dos corpos mergulhados nos líquidos

Princípio d'Archimedes. Balança hydrostatica. Equilíbrio dos corpos fluctuantes. Methodos para determinar os pesos especificos dos solidos e dos líquidos. Arcometros.

118. PRINCIPIO D'ARCHIMEDES. — Se pesarmos um objecto no ar e depois o fizermos novamente mergulhando-o em agua, verificamos que elle pesa menos no segundo caso. Archimedes, de Syracusa, descobriu que a differença de pesos é egual ao peso do liquido deslocado, o que é traduzido pelo seguinte principio: *todo o corpo mergulhado n'um liquido perde uma parte do seu peso egual ao do volume de liquido deslocado.*

Este principio pôde ser entrevisto pelo raciocinio e demonstrado experimentalmente. Anteciparemos esta demonstração aquella.

O instrumento de que nos servimos é uma balança a que se dá o nome de *hydrostatica*, porque com ella se demonstra o principio fundamental do equilibrio dos corpos mergulhados e fluctuantes.



Fig. 37

Não differe da balança ordinaria se não em que a suspensão é feita por meio de aros de metal muito curtos e em que um dos pratos tem na sua face inferior uns ganchos.

Além d'isso, um systema de alavancas permite o dar descargo ao travessão, impedindo o desgastamento do cutello, o que se faz em todas as balanças de precisão.

Além d'este instrumento, precisamos de um suporte que se possa elevar ou abaixar e de dois cylindros, um ôco e outro cheio, tendo este um volume igual á capacidade d'aquelle.

Para usar do instrumento procede-se assim: Suspende-se a um dos pratos da balança o cylindro ôco e a este o cylindro cheio que, tornamol-o a repetir, tem um volume igual á capacidade do primeiro, e marca-se no outro prato o peso d'este systema de cylindros. Depois d'isto, fazemos subir o suporte, de modo que o cylindro inferior venha a mergulhar n'um vaso com agua que se colloca em cima do suporte, e verificamos que a balança accusa uma differença de peso para menos do lado dos cylindros. Se depois enchermos o cylindro ôco, isto é, se adicionarmos o peso do volume de liquido deslocado, a balança recupera a sua primitiva posição, o que prova o principio acima indicado.

Este principio pôde tambem ser entrevisto e demonstrado pelo raciocinio. Imaginemos que n'uma massa liquida se solidificou uma porção de fôrma qualquer sem mudar de densidade. Permanece ainda assim esse equilibrio. Para isso é necessario que as forças a que esteja sujeito se neutralisem, aliás a molecula liquida caminha no sentido da força maior. Ora as pressões lateraes essas são evidentemente eguaes e por tal motivo destroem-se. Mas quanto ás verticaes não acontece assim: a pressão de cima para baixo é igual ao peso d'um parallepipedo de liquido que tenha por base *A* e por altura a distancia á superficie livre do liquido, ao passo que a de baixo para cima tem por base *B* e por altura tambem a distancia ao nivel do liquido,



Fig. 38

Ora a differença é exactamente o peso do volume da molecula considerada; se se equilibra é porque a gravidade exercida na molecula é exactamente igual ao impulso que esta recebe de baixo para cima.

Retiremos agora esta molecula e substituamol-a por outra d'um outro corpo mais pesado do que a agua. Acontecerá que esta molecula soffrerá no seu peso uma diminuição igual ao peso de volume do liquido que desloca.

119. IMPULSÃO DO LIQUIDO: CENTRO D'IMPULSÃO.— Chama-se impulsão d'um liquido á resultante de todas as pressões exercidas por elle, a qual, como já acabamos de ver, é igual ao peso do volume de liquido deslocado.

Ao centro de gravidade d'este volume chama-se *centro de impulsão*, porque se suppõe applicada n'esse ponto a farça de impulsão.

120. CORPOS FLUCTUANTES.— Todo o corpo mergulhado n'um liquido está como se acaba de vêr submettido á acção de duas forças directamente oppostas: a força de gravidade e a d'impulsão. Tres casos podemos figurar: pôde o peso do corpo ser maior que a impulsão; pôde ser-lhe igual; pôde ser-lhe inferior; a todos estes casos correspondem differentes phenomenos.

No 1.º caso, isto é, quando o peso é maior que a impulsão, o equilibrio é destruido, porquanto o corpo é arrastado no sentido da maior força e cæe no fundo do vaso.

No 2.º caso, sendo a impulsão igual ao peso do corpo, as duas forças destroem-se e o corpo pôde ficar em equilibrio em qualquer parte da massa liquida. Se o corpo é homogeneo, o centro de impulsão confunde-se com o de gravidade e fica em equilibrio *indifferente*; se o não é, o equilibrio só pôde ter logar quando o centro de gravidade e o de impulsão estiverem na mesma linha vertical, e é *estavel* se o centro de gravidade estiver mais baixo do que o de impulsão e *instavel* no caso contrario.

No 3.º caso, quando a força de impulsão é maior do que o peso, faz subir o corpo de modo a ficar apenas mergulhada uma parte do seu volume e d'esta fórma se

se equilibrar. E' necessario, para que então exista o equilibrio, que o centro de gravidade do corpo fluctuante e o de impulsão estejam na mesma vertical; e, se o de gravidade está mais baixo, o equilibrio é *estavel*, sendo *instavel* no caso opposto, isto é, quando seja mais baixo o centro de impulsão.

Podemos, pois, resumir estas condições em duas que convem reter de memoria. Para que um corpo mergulhado ou fluctuante esteja em equilibrio: 1.º é preciso que desloque um volume de liquido cujo peso seja igual ao seu; 2.º é necessario que os centros de gravidade e de impulsão estejam na mesma vertical.

121. LUDION. — Costumam-se demonstrar os tres casos que se podem apresentar nos corpos fluctuantes e mergulhados, com o auxilio d'um pequeno instrumento, o *ludion*. Compõe-se elle d'um boneco ôco d'esmalte, tendo um pequeno orificio na parte inferior, ou, sendo massiço, ligado a uma pequena esphera de vidro em parte cheia de agua e que tem um orificio na sua parte inferior. Este boneco está mergulhado n'um vaso cylindrico, cheio de agua e fechado superiormente por uma membrana elastica, ou por um cylindro metallico a que se adapta um embolo de parafuso. Carregando com o dedo na membrana ou fazendo abaixar o embolo, augmentamos a pressão dentro do cylindro e por consequencia uma parte do liquido entra para dentro do boneco ou da pequena esphera que por tal motivo adquire mais peso e desce. Se, depois d'isto, deixamos de exercer pressão, quer levantando a mão da membrana elastica, quer erguendo o embolo, uma parte da agua contida na esphera sáe, e o boneco sobe novamente, visto que foi alliviado de peso.



Fig. 39

O equilibrio dos corpos fluctuantes é susceptivel ainda de mais facil demonstração. O aparelho instrumental é muito simples: com um cylindro de vidro e um ovo podemos realisar a experiencia. Lança-se agua no vaso e o ovo

desce, porque a sua densidade média é superior á da agua. Se reproduzimos a experiencia com agua salgada, o ovo fluctua, porque então a sua densidade é menor do que o liquido em que está mergulhado. Finalmente, se lançamos com cuidado a agua pura sobre a salgada, os dois liquidos apenas se misturam nas camadas em contacto e o ovo chega até essa superficie, ficando ahi retido em equilibrio.

122. • APPLICAÇÕES. — A doutrina do equilibrio dos corpos fluctuantes tem recebido numerosas applicações. A construcção dos navios e outros meios de transporte fluvial repousa sobre este principio; e mesmo quando se querem carregar se obedece a certas condições no sentido de tornar o equilibrio mais estavel, *lastrando-os*, isto é, collocando areia no porão do navio e d'esta fórma tornando tão baixo quanto possivel o centro de gravidade. Apesar d'este cuidado, é necessario tel-o tambem ao arrumar a carga, para que não neutralisemos o effeito do lastro, deslocando o centro de gravidade para cima.

A *natação* tem egualmente por base este principio. N'este exercicio procura-se pelos movimentos apropriados deslocar um volume d'agua maior do que o que o animal desloca naturalmente, e, fazendo resistencia da agua, imprimir direcção ao corpo.

123. DETERMINAÇÃO DO PESO ESPECIFICO. — Tres são os methodos que temos á nossa disposição para a determinação do peso especifico dos corpos: o *methodo da balança hydrostatica*, o *do frasco* e o *dos areometros*. Qualquer d'elles se applica á determinação dos solidos e dos liquidos, e por tal motivo apresentaremos as differentes operações em que consiste cada um, primeiro applicados á determinação da densidade dos solidos, e depois á dos liquidos.

Antes de proseguir é necessario advertir que, dilatando-se os corpos com o calor, cada um que considerarmos terá uma densidade para cada temperatura. D'aqui resulta que se torna indispensavel referir todas as observações a uma temperatura constante, a 0°, isto é á da fusão



do gelo. Succedendo o mesmo para a agua, adoptou-se como termo de comparação a agua distillada no seu maximo de densidade, isto é a 4°.

A maneira como se procede ordinariamente nos laboratorios é tomando a densidade do corpo a 0°, e referindo-a á da agua á temperatura do laboratorio ou melhor á de 0°, vista a difficuldade de a obter a 4°. Uma correcção simplicissima permite destruir o erro que se commetteu.

Uma outra causa d'erro resulta da diminuição de peso que, como adiante veremos, os corpos experimentam ao ar.

Seja P o peso d'um volume V do corpo a 0°, P' o peso d'um equal volume d'agua a 0°, e P'' o peso d'esse mesmo volume d'agua a 4°. Podemos immediatamente estabelecer a identidade seguinte :

$$\frac{P}{P''} = \frac{P}{P'} \times \frac{P'}{P''}$$

Ora  $\frac{P}{P''}$  é, por definição, o peso especifico relativo do corpo;  $\frac{P}{P'}$  é o peso especifico approximado obtido pela experiencia; enfim  $\frac{P'}{P''}$  é por definição o peso especifico da agua a 0° em relação á agua a 4°. A correcção resume-se pois em multiplicar o numero encontrado pela densidade da agua á temperatura da experiencia. O estudo da dilatação da agua permittiu construir uma tabella das densidades da agua ás diversas temperaturas.

124. DENSIDADE DOS SOLIDOS. — 1.º *Methodo da balança*. Suspende-se o corpo, cujo peso especifico se deseja avaliar, ao prato d'uma balança hydrostatica, e tara-se com pesos collocados no outro prato. Seja P o peso do corpo. Mergulha-se depois em agua pura a 4° e restabelece-se o equilibrio com a addição de um novo peso, P' que representa como sabemos o peso d'um equal volume d'agua.

O quociente  $\frac{P}{P'}$  é a densidade que procuramos.

2.º *Methodo do frasco*. — Emprega-se para avaliar a densidade dos solidos um frasco de bocca larga com rolha de esmeril, oca, prolongando-se por um tubo delgado. Começa-se por avaliar o peso P do corpo cuja densidade se



Fig. 40

deseja obter. Depois pesa-se o frasco cheio de agua, até um certo nivel marcado, juntamente com o corpo, para o que lançamos mão de grãos de areia ou de chumbo.

Introduz-se depois o corpo no frasco, de fôrma que o nivel da agua seja o mesmo, e restabelece-se o equilibrio, por meio da addição d'um novo peso  $P'$ . Este peso representará o do mesmo volume de agua, e por conseguinte o quociente  $\frac{P}{P'}$  re-

presentará ainda a densidade do corpo que se considera.

3.<sup>o</sup> *Methodo dos areometros.* Chamam-se *areometros* uns fluctuadores de vidro de configuração especial, que servem para a avaliação da densidade dos corpos. Dividem-se em areometros de *volume variavel* e *volume constante*, conforme se empregam, mergulhando-os sempre até ao mesmo ponto, ou até pontos diferentes. O que serve para a avaliação da densidade dos solidos é um areometro de volume constante.

*Areometro de Nicholson.* Este instrumento compõe-se d'um cylindro de latão  $w$ , terminado em ambas as extremidades por pyramides conicas. A' extremidade superior está ligada uma haste que sustenta um prato  $t$  e tem n'uma certa altura um ponto  $m$  chamado *ponto de afforamento*. A' outra está junto uma cesta  $h$  em fôrma de pyramide conica com a base voltada para cima.

Para nos servirmos d'este apparelho fazemol-o fluctuar na agua e collocamos no prato os pesos indispensaveis para que elle mergulhe no liquido, até ao ponto marcado na haste; representemos por  $P$  esse peso. Posto isto retiramos os pesos e collo-



Fig. 41

camos sobre o prato o corpo cuja densidade desejamos obter; para fazermos afflorar outra vez o areometro até ao ponto marcado precisamos de juntar-lhe outro peso  $P'$ . A differença  $P - P'$  representará o peso do corpo cuja densidade se procura. Falta-nos obter o d'um volume egual d'agua destillada. Para isso collocamos o objecto na cesta, e acontece que o areometro não mergulha tanto, sendo necessario juntar-lhe para afflorar ou outro peso  $P''$  que representa a diminuição de peso que soffreu o corpo; por conseguinte  $\frac{P - P'}{P''}$  representará a densidade pedida.

125. CASOS PARTICULARES DA DENSIDADE DOS SOLIDOS. — 1.º *Corpos solúveis*. Se o corpo cuja densidade se deseja conhecer é solúvel na agua, toma-se a densidade em relação a um outro liquido em que o não seja, e multiplica-se o algarismo encontrado pelo peso especifico d'esse liquido em relação á agua. Sejam, em volumes eguaes,  $P$  o peso da substancia,  $P'$  o do liquido empregado,  $P''$  o da agua.

$\frac{P}{P'}$  será o peso específico do corpo, referido ao liquido que se em-

pregou, e  $\frac{P'}{P''}$  o peso específico do liquido em relação á agua. O pro-

ducto  $\frac{P}{P'} \times \frac{P'}{P''}$  representará pois o peso específico da substancia referido á agua. A operação é a mesma que para effectuar a correcção da temperatura da agua (123).

Se se quizesse, por exemplo, obter a densidade do assucar, operar-se-hia pelo methodo do frasco com o azeite ou com a essencia de theribentina, liquidos em que aquella substancia não é solúvel.

2.º *Corpos porosos*. Os corpos porosos téem, como já vimos, volumes muito differentes, segundo se considera o espaço realmente occupado ou o que occupa com as lacunas da sua massa, isto é, o seu *volume real*, ou o seu *volume apparente*. A cada um d'estes volumes corresponde um peso d'agua deslocado differente. Seja  $P$  o peso do corpo,  $P'$  o peso d'um volume d'agua a 0º egual ao seu *volume apparente* e  $P''$  o peso d'um volume d'agua a 4º egual ao seu *volume real*.

$\frac{P}{P'}$  será a densidade apparente.  $\frac{P}{P''}$  será a densidade real.

*Densidade apparente*. Pesa-se o corpo no ar; seja  $P$  o seu peso. Cobre-se d'uma delgada camada de cera e pesa-se novamente; seja  $P + p$  o seu peso;  $p$  representa o peso da cera. Emfim, determina-se a perda de peso  $p'$  que soffre na agua do frasco;  $p'$  representa o peso  $P'$  d'um volume d'agua egual ao volume apparente do corpo somnado com o peso  $p''$  d'um volume egual ao da camada de cera.

Se fôr  $d$  a densidade conhecida da cera, o volume d'essa camada é  $\frac{p}{d}$  e o peso do mesmo volume d'agua  $p'' = \frac{p}{d} \times e$ , representando  $e$  a densidade d'este liquido a 0°. D'aqui se tira:

$$p' = P' + \frac{p}{d} \times e$$

d'onde

$$P' = p' - \frac{p}{d} \times e$$

e finalmente, representando por  $D$  a densidade aparente

$$D = \frac{P}{p' - \frac{p}{d} \times e}$$

*Densidade real.* Reduzimos a pó o corpo para assim fazermos desaparecer o excesso de volume devido á porosidade. Obtemos depois a sua densidade pelo methodo do frasco. E' preciso todavia, logo que o corpo esteja immerso, metter o frasco no recipiente da machina pneumatica para expulsar todo o ar que contiver.

3.º *Corpos alteraveis para liquidos.* Ha, finalmente, corpos que são alterados com qualquer liquido usual; tal é o caso da polvora, de guerra ou de caça. Para obter a sua densidade, determina-se o peso da polvora, e o volume é obtido pela medida do mercurio que desloca, depois de privada d'ar, no recipiente da machina pneumatica.

126. DENSIDADE DOS LIQUIDOS — 1.º *Methodo da balança hydrostatica.* — Suspende-se a um dos pratos da balança hydrostatica um corpo que não seja atacavel pelos liquidos, uma esphera de vidro por exemplo, e tara-se com pesos a balança. Feito isto, mergulha-se a esphera no liquido cuja densidade se procura, e como o equilibrio se rompe é necessario juntar um peso  $P$  para de novo o restabelecer.  $P$  representará o peso d'uma esphera do liquido cuja densidade é procurada.

Repete-se a mesma operação para a agua, isto é, restabelece-se o equilibrio no ar, mergulha-se a esphera em agua e o peso  $P'$ , que é necessario juntar representa o mes-

mo volume d'agua distillada. Por esta fórma a relação  $\frac{P}{P'}$  exprime ainda a densidade do liquido.

2.<sup>o</sup> *Methodo do frasco.* — Serve para este fim um frasco de paredes delgadas e bocca estreita, mas em rigor qualquer frasco se póde empregar. Para por meio d'elle se avaliar a densidade d'um corpo, pesa-se primeiro o frasco, e depois cheio do liquido cuja densidade se deseja conhecer. A differença  $P$  representa certamente o peso do liquido. Repete-se a operação com a agua e a differença  $P'$  exprime o peso do mesmo volume d'agua. Por conseguinte  $\frac{P}{P'}$  será a densidade que se procura.

3.<sup>o</sup> *Methodo dos areometros.* — Quando se quer usar d'este meio, emprega-se o *areometro de Fahrenheit* que apenas differe do de *Nicholson* em ser construido de vidro para não ser alterado pelos liquidos com os quaes é posto em contacto. (Fig. 42)

Para o empregar, pesa-se o instrumento n'uma balança e supponhamos que é necessario o peso  $P$  para o equilibrar; mergulha-se depois no liquido cuja densidade se deseja conhecer e tara-se com os pesos necessarios para o fazerem afforar até ao risco traçado na haste; sejam  $P'$  esses pesos.  $P + P'$  representará o peso do systema fluctuante e portanto do volume do liquido deslocado, visto que ha equilibrio. Faz-se a mesma operação para a agua e seja  $P''$  o peso que é preciso adicionar. A relação  $\frac{P + P'}{P + P''}$  representará a

densidade do corpo.



Fig. 42

127. AREOMETROS DE VOLUME VARIÁVEL. — Além dos que já fizemos conhecer, e que ambos são de volume constante, ha uma extrema variedade de areometros de *volume variavel*. Estes são construidos na sua totalidade de vidro, e constam d'um corpo, usualmente cylindrico, ligado superiormente a um tubo delgado e inferiormente a uma pe-

quena esphera lastrada com mercúrio ou grãos de chumbo. Estes instrumentos são pouco rigorosos, e apenas servem para medir a quantidade d'um determinado liquido que anda misturado com outro. Por exemplo, ha um instrumento chamado *pesa-leite*, que é um areometro, graduado de fôrma a reconhecer a quantidade de leite que existe n'uma mistura de leite e agua, etc. Ora se nos servirmos d'elle para avaliar a quantidade de sal que exista n'uma solução salina, o resultado será certamente inexacto. Tem todavia estes instrumentos a vantagem de servirem para os casos em que bastam resultados approximados.

Os mais empregados areometros de volume variavel são os *de Baumé* e o *alcoholometro centesimal de Gay-Lussac*, cuja descripção vamos apresentar.

1.º *Areometros de Baumé*. — Os areometros de Baumé compõem-se, como se vê da figura 43, d'um cylindro de vidro, preso superiormente a um tubo delgado e inferiormente a uma esphera lastrada. Differem todavia uns dos outros na graduação, conforme o fim a que é destinado o instrumento. Por exemplo, se queremos empregar este instrumento como *pesa-saes*, graduamos o instrumento pela fôrma seguinte: Introduzimos em agua e marcamos com um O o ponto em que o liquido raza o tubo delgado que termina superiormente o instrumento. Dissolvemos depois 15 partes de sal marinho em 85 d'agua e no ponto d'affloramento marcamos 15º, dividindo o espaço que separa os dois pontos em 15 partes e continuando a divisão até ao termo do tubo.

Se se applica como *pesa-licores*, a graduação é já feita differentemente. Mergulha-se o instrumento n'uma solução de dez partes de sal marinho em 90 d'agua e no ponto d'affloramento marca-se zero; depois introduz-se em agua



Fig. 43

pura e no ponto que raza a superficie do liquido marca-se 10, dividindo o espaço intermediario em 10 partes e prolongando a graduação até á extremidade superior do tubo.

2.º *Alcoolometro centesimal de Gay Lussac.*—Este instrumento tem a mesma fórma dos areómetros de Baumé, a não ser que as dimensões da haste são diferentes, sendo mais comprida e delgada. Como é destinado a determinar a quantidade d'alcool que existe n'uma mistura d'agua e alcool, a sua graduação é diferente da dos areómetros de Baumé. O alcoolometro, chamado centesimal, porque indica quantos por cento d'alcool entram n'uma determinada mistura, gradua-se mergulhando-o em alcool absoluto e marcando no ponto afflorado 100, e na agua pura onde se marca 0. Depois, mergulha-se em misturas de 10, 20 e 30 partes de alcool para 90, 80 e 70 partes d'agua e vão-se successivamente indicando esses pontos com os algarismos 10, 20 e 30, dividindo cada um dos espaços intermediarios em dez partes.

Para o usar, depois de graduado, mergulha-se no liquido cuja força alcoolica se deseja conhecer, e o ponto que o liquido raza dá-nos a indicação da quantidade d'alcool que encerra. Isto, todavia, só é completamente verdadeiro á temperatura de 15º, porque comprehendem desde já que o calor, fazendo dilatar os corpos, lhes modifica a densidade. Para que se possa chegar a um resultado digno de confiança ha umas tabuas feitas pelo proprio Gay Lussac que indicam as correções a fazer, consoante as diversas temperaturas a que se opera.

128. *DENSIMETROS.* — Os areómetros de volume variavel não costumam ser empregados com o fim de obter a densidade dos corpos. Podem todavia ser apropriados para esse fim e recebem então o nome de *densímetros*.

São variados os densímetros conhecidos e variaveis tambem os principios em que repousam. O mais conhecido e o que ainda tem algumas applicações é o densímetro de Rousseau cuja descripção nos vae occupar.

*Densímetro de Rousseau.* — Este instrumento destina-se especialmente a avaliar a densidade dos liquidos de que possuímos apenas pequenissimas quantidades. Tem a fórma d'um areómetro ordinario, differindo apenas em ter na parte superior da haste uma

pequena capsula destinada a receber o liquido cuja densidade se procura.

Lastra-se o apparelho de modo que sendo mergulhado em agua distillada a 4° esta rase a extremidade superior do tubo : marcamos n'esse ponto o zero da escala. Lançamos depois, na capsula superior, agua distillada até um traço que indica a capacidade d'um centimetro cubico, isto é, juntamos-lhe o peso d'um gramma; obtemos assim um novo ponto de affloramento onde marcamos um numero qualquer conforme a exactidão e rigor que queremos dar ao instrumento. Seja por exemplo 10 e dividamos o intervallo em 10 partes eguaes, proseguindo na divisão até ao extremo superior do tubo.

Temos assim que cada divisão corresponde a  $\frac{1}{10}$  do gramma, isto é, a um decigramma. Feito isto, mergulhado o instrumento na agua e lançando na capsula superior um centigramma do liquido cuja densidade se procura, obtem-se o resultado d'uma maneira extremamente facil. Imaginemos que o ponto de affloramento é 24; concluimos d'aqui que o peso d'um centimetro cubico do liquido é  $24 \times 0\text{gr},1 = 2\text{gr},4$ . A sua densidade será  $\frac{2\text{gr},4}{1\text{g.}} = 2,4$ .

**Tabella da densidade d'alguns corpos, a 0° referidos á agua a 4°**

| <i>Solidos</i>                           |       |                                    |       |
|--|-------|------------------------------------|-------|
| Platina . . . . .                        | 23,00 | Potassio . . . . .                 | 0,86  |
| Ouro fundido . . . . .                   | 19,26 | Crystal . . . . .                  | 3,33  |
| Chumbo fundido . . . . .                 | 11,35 | Vidro ordinario . . . . .          | 2,50  |
| Prata " . . . . .                        | 10,47 | Sal comun . . . . .                | 2,21  |
| Cobre " . . . . .                        | 8,79  | Carvão de pedra . . . . .          | 1,33  |
| Ferro " . . . . .                        | 7,21  | Buxo . . . . .                     | 1,32  |
| Estanho " . . . . .                      | 7,29  | Nogueira . . . . .                 | 0,80  |
| Zinco " . . . . .                        | 6,86  | Pinho . . . . .                    | 0,66  |
| Antimonio " . . . . .                    | 6,71  | Cortiça . . . . .                  | 0,24  |
| Diamante " . . . . .                     | 3,51  | Medula de sabugueiro . . . . .     | 0,08  |
| Enxofre . . . . .                        | 2,07  |                                    |       |
| <i>Liquidos</i>                          |       |                                    |       |
| Mercurio . . . . .                       | 13,60 | Agua do mar . . . . .              | 1,03  |
| Acido sulfurico concentrado . . . . .    | 1,84  | Leite de vacca . . . . .           | 1,03  |
| Acido chlorhydrico concentrado . . . . . | 1,20  | Azeite . . . . .                   | 0,92  |
| Acido azotado do commercio . . . . .     | 1,22  | Alcool absoluto . . . . .          | 0,79  |
|  |       | Ether sulfurico . . . . .          | 0,72  |
|  |       | Essencia de theribentina . . . . . | 0,86  |
|  |       | Sulfureto de carbonio . . . . .    | 1,263 |

## CAPITULO II

## Capillaridade — Osmose

Capillaridade: phenomenos e leis fundamentaes. Endosmose e exosmose

129. PHENOMENOS CAPILLARES. — Quando os líquidos são contidos em espaços muito reduzidos, observam-se phenomenos que parecem estar em desharmonia manifesta com a doutrina do equilibrio dos líquidos em vasos communicantes.

Se tomarmos um tubo capillar, isto é, um tubo cujo diametro seja extremamente reduzido, e o mergulharmos em agua, observamos que o liquido sóbe a uma altura maior do que o nível exterior, e que não só se eleva mais, como toma uma fôrma concava a superficie de limite.

Se repetirmos o mesmo para o mercúrio, observamos o phenomeno inverso, isto é, o nível interior do liquido é mais baixo do que

o exterior, observando-se o mesmo na superficie de limite exterior, na visinhança do tubo. Ora se nós reproduzirmos o phenomeno com outros líquidos chegamos á conclusão de que todas as vezes que o liquido molha o tubo, o nível interior é mais elevado, e todas as vezes que o deixa de molhar é pelo contrario mais baixo; notaremos que no primeiro caso o nível do liquido termina n'uma superficie concava, e que no segundo termina n'uma superficie convexa. Chamam-se a estas superficies *meniscos* que podem ser *concavos* ou *convexos*.

Estes phenomenos, os observados em tubos de pequenos diâmetros, chamam-se *capillares*. A parte da physica que se occupa d'elles chama-se *capillaridade*.

130. LEIS DA CAPILLARIDADE. — Os phenomenos capillares estão sujeitos a tres leis, chamadas de Gay-Lussac.

Já vimos que todos os líquidos que molham os tubos capillares se elevam mais do que determinam as condições d'equilibrio dos líquidos em vasos communicantes, ao passo que se dá o contrario quando os líquidos não molham o tubo. D'aqui uma 1.<sup>a</sup> lei que se

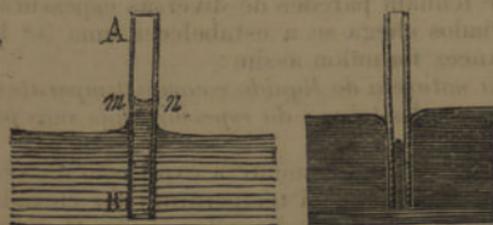


Fig. 44

enuncia d'este modo: *Quando o liquido molha o tubo ha ascensão e depressão no caso contrario.*

Para os liquidos que molham os tubos capillares reconhece-se que a ascensão é tanto maior quanto mais reduzido é o calibre do tubo. Para os liquidos que pelo contrario os não molham, a depressão é tanto maior quanto o calibre do tubo é mais exiguo.

Assim se estabelece uma 2.<sup>a</sup> lei, expressa nos seguintes termos: *nos tubos capillares a ascensão ou depressão é tanto maior quanto menor é o seu calibre.*

Verifica-se isso perfeitamente com o auxilio d'um instrumento composto d'uma prancha de madeira em que estão dispostos quatro vasos communicantes. Cada um d'estes vasos é composto d'um tubo d'um certo diametro a que está unido um tubo capillar, sendo estes vasos eguaes dois a dois, e mais reduzido o calibre d'um dos pares do que o outro. Lançamos agora mercurio em dois dos tubos largos e agua nos outros dois, de modo que os dois liquidos razem o zero d'uma escala arbitraria escripta na prancha. Observamos então que nos tubos capillares em que existe o mercurio este não chega ao zero, ao passo que n'aquelles em que lançamos agua esta ultrapassa aquelle ponto. Mais se reconhece que nos tubos que, como dissemos, téem mais reduzido calibre o mercurio desce e a agua sóbe mais do que nos outros.

Finalmente, se experimentarmos com tubos de differentes substancias, ou da mesma que tenham paredes de diversas espessuras, e empregando liquidos variados chega-se a estabelecer uma 3.<sup>a</sup> lei que o eminente physico francez formulou assim:

*A ascensão varia com a natureza do liquido e com a temperatura mas é independente da natureza dos tubos e da espessura das suas paredes.*

Estas leis não são, todavia, completamente a expressão da verdade. Wolf demonstrou que a agua, se a temperatura fôr elevada, póde não subir nos tubos capillares e até soffrer depressão. Os liquidos que não molham os tubos tambem experimentam depressões variaveis com a natureza do tubo, ainda quando sejam do mesmo diametro, em opposição com a 3.<sup>a</sup> lei.

131. PHENOMENOS CAPILLARES EM LAMINAS INCLINADAS OU PARALLELAS. — Quando mergulhamos n'um liquido dois corpos, seja qual fôr a sua fórma, mas bastante approximados, dão se phenomenos analogos aos que se observam nos tubos capillares. Se, por exemplo, forem duas laminas de vidro parallelas, pouco distantes entre si, de modo que as duas curvas formadas pelo liquido se venham juntar, vê-se: 1.<sup>o</sup> *que a agua se eleva regularmente entre as duas laminas em razão inversa do intervallo que as separa*; 2.<sup>o</sup> *que a altura da ascensão, para um intervallo dado, é metade da que teria logar n'um tubo cujo diametro fosse igual a esse intervallo.*

Se em vez de parallelas, mergulhamos duas laminas de vidro inclinadas uma sobre a outra, de modo que a sua aresta de contacto seja vertical, o liquido eleva-se no vertice do angulo das duas lami-

nas, e a sua superficie, do ponto mais alto ao mais baixo, affecta uma fórma cuja secção é a curva chamada *hyperbole equilateral*.

Quando a linha de contacto das duas superficies é horisontal, e ao mesmo tempo o angulo que formam é muito pequeno, *uma gotta d'agua ou de qualquer outro liquido que molhe as laminas arredonda-se nas extremidades de maneira a formar um menisco concavo e precipita-se para o vertice do angulo. Se é um liquido que as não molhe, como succede com o mercurio, a gotta arredonda-se em menisco convexo e affasta-se do vertice do angulo.*

132. **ATTRAÇÕES E REPULSÕES DEVIDAS Á CAPILLARIDADE.**— Observam-se nos corpos fluctuantes phenomenos muito curiosos d'attracção e repulsão devidos á capillaridade, que estão sujeitos ás seguintes leis:

*Quando dois corpos fluctuantes são ambos molhados pelo liquido, produz-se uma viva attracção logo que esses dois corpos estejam bastante approximados para que não haja entre elles superficie plana.* Tal é o caso de duas espherulas de medulla de sabugueiro na agua.

*Se ambos os corpos não são molhados no liquido, ainda se observa uma viva attracção logo que se dão as mesmas condições da lei anterior.* Tal é o caso de duas pequenas bolas de cera na agua.

Finalmente, *se um dos corpos é molhado pelo liquido e outro não, repellem-se, logo que estão sufficientemente approximados para que as curvaturas contrarias se achem em contacto.* Tal é o caso d'uma esphera de cera e outra de medulla de sabugueiro na agua.

Estes phenomenos dependem das curvas, concava ou convexa, que affecta a superficie do liquido.

133. **EXPLICAÇÃO DOS PHENOMENOS CAPILLARES.**— Comquanto pareça haver manifesta contradicção com o que dissemos a proposito das condições d'equilibrio dos liquidos em vasos communicantes, esta contradicção á apenas aparente e dá-se porque entram no problema outras condições.

Todas as vezes que o liquido molha o tubo, a adhesão da parte do liquido para o solido é maior do que a cohesão entre as suas moleculas combinada com a acção de gravidade; d'ahi o motivo porque o liquido sobe. Se pelo contrario a adhesão do liquido para o solido é menor do que a cohesão das respectivas moleculas, então o liquido não molha o tubo e o nivel abaixa-se.

134. **EXEMPLOS E APPLICAÇÕES.**— E' pela acção capillar que as substancias empregadas para a illuminação: azeite, petroleo, alcool, sobem pela torcida atravez dos pequenissimos canaes que existem no algodão. Com as proprias velas de stearina ou cera, etc., o mesmo phenomeno se reproduz, porquanto a stearina reduzida ao estado liquido sobe da mesma maneira pela torcida para se inflammam.

Muitos dos phenomenos vitaes, a ascensão dos succos nutritivos nos vegetaes e animaes por exemplo, são reductivcis em ultima ana-

lyse a phenomenos de capillaridade, porquanto os vasos dos seres organisados são na sua maioria capillares.

135. OSMOSE. — Se por ventura mergulharmos um sacco membranoso cheio d'uma solução de gomma dentro d'um vaso cheio d'agua e se tivermos o cuidado de lhe juntar um tubo graduado, reconhecemos, passado pouco tempo, que o nivel, a que o liquido chega dentro do tubo, é mais elevado, assim como averiguamos a existencia da gomma no liquido exterior. Deram-se, pois, aqui dois transportes de materia, duas correntes: uma do liquido mais denso, para o menos denso, *exosmose*, outra em sentido inverso, *endosmose*. O conjuncto d'estes phenomenos chama-se *osmose*.

Reconhece-se este facto por meio d'um instrumento chamado *endosmometro* e que não é mais do que um aperfeiçoamento do material que acabamos de descrever. Compõe-se este instrumento d'um frasco de vidro, sendo o fundo constituido por uma substancia porosa ou membranosa e prolongado para cima por um tubo graduado. Deita-se dentro agua asucarada, ou agua gommada, ou liquidos muito diversos, e mergulha-se em agua ou outro qualquer liquido. Reconhece-se então a serie de phenomenos que descrevemos ha pouco.

Estes phenomenos dão-se entre um grande numero de liquidos e até com os gazes; produzem-se mesmo com qualquer substancia porosa que empreguemos. Considerados em tempo como dependentes da capillaridade, parece estar hoje averiguado dependerem da diffusão, mais ou menos modificada pela desigual adhesão dos dois liquidos á substancia que os separa.

136. APPLICAÇÕES. — A osmose tem numerosas applicações. Os actos vitais são em grande parte devidos a esta propriedade. Os phenomenos d'absorpção á superficie dos intestinos, etc., são exemplos d'estes actos em que a osmose intervem directamente.

Repousa sobre ella um processo industrial de purificação d'asucars. O mellaço de beterraba é uma mistura de saes de differentes naturezas e de assucar crystallisavel. Para os separar introduzi-

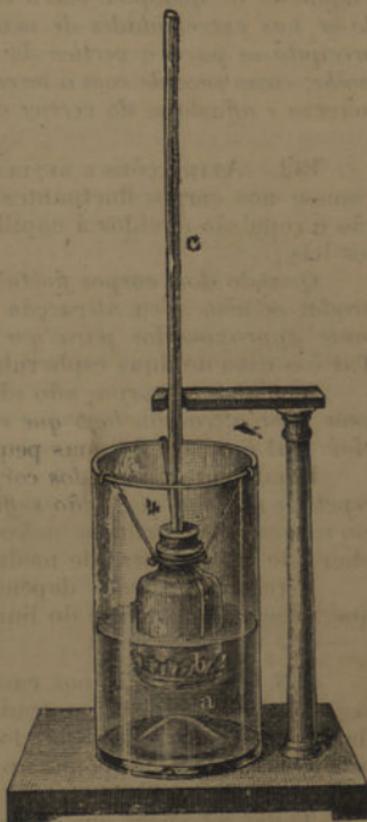


Fig. 45

mol-o no endosmometro e mergulhamos este com agua. Como as substancias extranhas ao assucar passam mais depressa, em pouco tempo a solução está desembaraçada dos saes. Na industria o endosmometro é substituído por grandes apparatus em que a membrana é constituída por uma especie de papel modificado pelo acido sulfurico — *o pergaminho vegetal*.

## CAPITULO III

### Noções d'hydrodynamica

#### Fluxão dos liquidos. Theorema de Torricelli

137. HYDRODYNAMICA. — Chama-se hydrodynamica a parte da physica que estuda o movimento dos liquidos. Todas as leis da hydrodynamica estão comprehendidas n'um theorema fundamental, o *theorema de Torricelli*.

138. THEOREMA DE TORRICELLI. — Se n'um vaso qualquer cheio de liquido praticarmos uma abertura, e a parede fôr muito delgada, a *velocidade com que o liquido atravessa o orificio ao sair é igual á que teria um corpo que caísse livremente desde a superficie livre até ao nivel do centro do orificio*.

Demonstra a experiencia e o calculo que esta velocidade é independente da direcção do escoamento, e quer este se produza de cima para baixo, de baixo para cima ou lateralmente, é sempre proporcional ás raizes quadradas das alturas. Se n'um vaso de 10 metros d'altura tivéssemos um orificio a 1 metro de distancia da superficie livre do liquido e outro a 9 metros, a velocidade n'este ultimo seria quatro vezes maior do que a do liquido que saísse pelo primeiro.

Da mesma maneira que todos os corpos caem com igual velocidade (68), tambem a *velocidade d'escoamento d'um liquido é independente da sua natureza*. Assim a agua e o mercurio que sairem por orificios collocados á mesma distancia dos seus respectivos niveis, tomarão a mesma velocidade.

139. DEMONSTRAÇÃO DO THEOREMA DE TORRICELLI. — Demonstra-se facilmente pela experiencia o theorema de Torricelli. Tomando um vaso cheio d'um liquido qualquer e d'onde parta um pequeno cylindro horisontal, na parede superior do qual haja um orificio, vê-se immediatamente o jacto elevar-se a uma altura sensivelmente igual á do nivel d'esse mesmo liquido. Isto só pôde acontecer quando as moleculas sejam projectadas com uma velocidade igual á que tomariam caindo no vacuo.

## LIVRO QUARTO

### DOS GAZES

#### CAPITULO I

#### Propriedades dos gazes, atmosphaera, barometros

Peso do ar. Pressão atmospherica. Experiencia de Torricelli. Barometros de mercurio. Aneroides. Variações da pressão atmospherica. Correcções da altura barometrica. Valor em peso da pressão atmospherica.

140. PESO DOS GAZES. — Apesar da sua expansibilidade extrema, não se deixem possuir da ideia de que os gazes não sejam pesados. Estão, como todos os outros corpos, sujeitos á lei da gravidade e facil é verificá-lo. Mais d'uma vez temos fallado d'uma machina chamada pneumática, destinada a fazer o vacuo. Pois bem, se com o auxilio d'uma d'essas machinas, fizermos o vacuo dentro d'um balão grande de vidro e o pesarmos, veremos que o seu peso é egual a um certo numero de grammas. Deixando penetrar o ar dentro do balão e pesando de novo, observaremos immediatamente um accrescimento de peso que representará o peso do ar encerrado. E' em virtude do peso que os gazes se podem trasvasar exactamente como os liquidos. Uns são mais pesados do que os outros, e dentro em pouco veremos as applicações que tem este facto. A atmosphaera que nos cerca é uma mistura gazosa, e exerce uma grande pressão sobre todos os objectos que n'ella estão mergulhados. Chama-se a esta pressão : *pressão atmospherica*.

141. EXPANSIBILIDADE E TENSÃO DOS GAZES. — Temos

aqui uma pequena bexiga fechada e quasi completamente vazia, isto é, encerrando uma pequena quantidade d'ar. Em virtude do que dissemos no parographo antecedente, a bexiga está sujeita a duas forças que são eguaes e por isso se contrabalançam: a pressão atmospherica e a força d'expansão do ar encerrado dentro d'ella. Ora, se introduzirmos a bexiga dentro do reservatorio da machina de fazer o vacuo, e a fizermos trabalhar, destruimos a força exterior que contrabalançava a interior, e observamos que a bexiga começa de avolumar (Fig. 46). E' a grande expansibilidade do ar encerrado dentro que opera este phenomeno, e tal ella é que póde fazer rebentar a membrana. Para nos convenceremos que realmente é a expansão do gaz que determina o phenomeno, deixamos entrar o ar no reservatorio da machina pneumatica e vemos que a bexiga volta ao seu primitivo volume.



Fig. 46

Têm uma maneira muito facil de se convencerem da grande expansibilidade dos gazes. Se puzerem uma chocalteira com agua ao lume e a fecharem com a tampa, o mais exactamente que possam, uma parte da agua vae passando lentamente ao estado gazoso; á medida que a temperatura augmenta, maior quantidade de vapor se vae formando e, pelo que sabemos que o calor augmenta a força de repulsão molecular, o proprio gaz vae augmentando de tensão, a ponto que a tampa poderá saltar com um certo ruido.

Quando se dá um tiro de peça, como sabem, apenas se incendeia uma pequena massa de polvora. Este phenomeno traz consigo um augmento de temperatura e um desenvolvimento consideravel de gazes; e tal é a sua força expansiva que a bala, apesar do seu grande peso, é projectada a uma grande distancia.

Conclue-se do que temos dito n'estes dois paragraphos que ha a considerar nos gazes duas especies de pressões : umas que estão dependentes do seu peso, e outras da sua expansibilidade. A resultante d'estas ultimas tem o nome de *tensão dos gazes*.

142. SUJEIÇÃO DOS GAZES AO PRINCIPIO DE PASCAL. — O principio de Pascal é applicavel tambem aos gazes, visto que estes são compressiveis e elasticos, da mesma sorte que os liquidos. Resultam, todavia, da grande expansibilidade d'estes corpos algumas modificações que importa fazer conhecer.

Se, por exemplo, puzermos dois gazes em contacto, estes ao principio sobrepõem-se pela ordem de densidades, como o principio de equilibrio de liquido sobrepostos o regula. Isto, porém, dura pouco tempo, porque, em virtude da expansibilidade, as moleculas d'um e outro dos dois gazes, misturam-se, confundem-se, de maneira a constituirem uma massa homogenea, dando-se então o equilibrio. Chama-se a este phenomeno *diffusão*.

Se, porém, a densidade dos dois gazes é bastante diferente, o principio do equilibrio dos fluidos de diversa densidade é respeitado. Sirva de exemplo o que se dá na celebre gruta do Cão, em que á superficie do solo existe uma camada bastante espessa d'acido carbonico, ao passo que no restante ambiente o ar é muito mais puro. Como o acido carbonico é impróprio para a respiração, acontece que, se um pequeno animal fôr introduzido na gruta, morre em pouco tempo, ao passo que o homem ou um animal de grande estatura se póde mover n'ella sem perigo.

143. ATMOSPHERA: SUA COMPOSIÇÃO. — A *atmosfera* é a massa gazosa que envolve a terra. E' constituída principalmente pela mistura de dois gazes, mas encontram-se n'ella vestigios d'outros. Os dois gazes principaes são um o *oxygenio*, que é eminentemente próprio para a respiração e para as combustões, e o outro o *azote* que é dotado de propriedades contrarias, mas que attenua a acção energica do primeiro. Os gazes que entram em menor

escala são o anhydrido carbonico e o vapor d'agua. O conjuncto d'estes gazes é que se chama *ar atmospherico*.

Os volumes respectivos em que cada um dos componentes entra na constituição da atmospheria são, para 100,

|                         |                 |
|-------------------------|-----------------|
| Oxygenio . . . . .      | 20,8            |
| Azote . . . . .         | 79,2            |
| Anhydrido de carbonio.  | 0,0004 a 0,0006 |
| Vapor de agua . . . . . | 0,0006 a 0,009  |

ou em numeros reduzidos : oxygenio 21 e azote 79.

Sendo a atmospheria uma mistura de gazes, e estando elles sujeitos á lei da gravidade, a densidade do ar vae diminuindo á medida que nos formos elevando na atmospheria. Concebe-se que seja limitada e que a sua espessura dependa da attracção da terra e da força centrifuga. Admittia-se que a sua extensão era de 70 a 80 kilometros, mas as observações de Liais sobre a inflammção dos *balões* levam a crêr que é de 320 a 390 kilometros. A uma certa altura, o ar é tão rarefeito que se torna impróprio para a respiração. Complica-se o facto com a diminuição de pressão atmospherica, e são estes dois factores que concorrem para produzir nos aeronautas grandes perturbações que podem chegar até causar a morte. Sirva de exemplo a catastrophe do Zenith, em que pereceram Sivel e Crocé-Spinelli.

144. PRESSÃO ATMOSPHERICA. — Já dissemos o que se entendia por esta expressão. Exprime-se pelo peso d'uma columna d'ar que tenha por base a superficie que se considera, e por altura a da atmospheria.

A existencia da pressão atmospherica é facilmente demonstravel. Para verificarmos que se exerce de cima para baixo, emprega-se uma manga de vidro, ao rebordo superior da qual se adapta uma membrana bem tensa. Collocando esta manga de vidro na machina de fazer o vacuo, de modo a rarefazer o ar no interior, a membrana rasga-se com violencia, acompanhando o phenomeno d'uma forte detonação, produzida pela entrada do ar. (Fig. 47).

Demonstra-se que igualmente se exerce de baixo para cima, enchendo um copo de agua e applicando-lhe na bocca um pedaço de papel, tendo o cuidado de que não fique nem uma bolha d'ar. Voltando o copo, a agua não cáe, porque o seu peso é equilibrado pela pressão de baixo para cima, exercida pela atmosphera.

A existencia das pressões lateraes tambem se verifica com o auxilio d'un frasco, tendo um ou mais orificios lateraes. Enchemos o frasco d'agua, conservando tapados esses orificios; depois de feito isto, fechamos com cuidado a abertura superior e ainda que conservemos abertos os orificios, o liquido

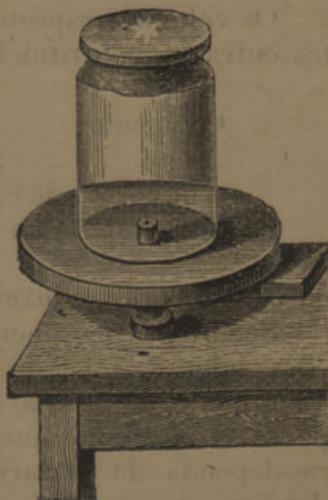


Fig. 47

não se escôa, porque a isso se oppõem as pressões lateraes. Se destaparmos o frasco, então o liquido escôa-se, porque a pressão de cima para baixo neutralisa as pressões lateraes e o liquido fica apenas sujeito á acção da gravidade.

Ha, porém, uma experiencia classica tendente a demonstrar que a pressão atmospherica se exerce em todos os sentidos. Realisa-se com os hemispheros de Magdeburgo

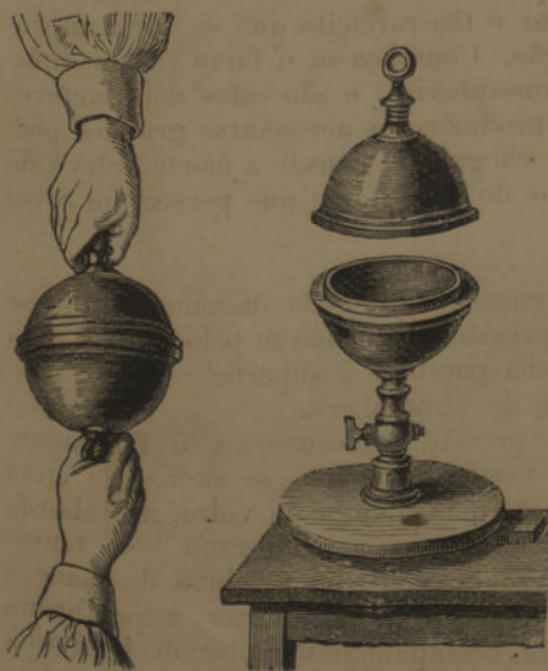


Fig. 48

(Fig. 48) que são feitos de latão e de tal sorte que os bordos se adaptam perfeitamente. Um d'elles ajusta-se ao recipiente da machina de fazer o vacuo por meio d'um tubo, em que ha uma torneira, enquanto que o outro tem superiormente um anel. Os hemispherios podem separar-se facilmente ao ar livre, mas se fizermos o vacuo dentro d'elles, só com um grande esforço é que conseguimos separal-os.

145. MEDIÇÃO DA PRESSÃO ATMOSPHERICA: EXPERIENCIA DE TORRICELLI. — Se tomarmos um tubo fechado n'uma das suas extremidades, e do comprimento de 90 centímetros, e o enchemos de mercurio, voltando-o em seguida sobre uma tina do mesmo liquido, observamos que a altura do liquido, depois de algumas oscillações, se conserva a 76 centímetros (fig. 49). Esta experiencia mostra-nos que a pressão exercida pela atmosphera sobre a superficie que se considera, é igual a uma columna de mercurio que tenha por base a mesma superficie e por altura 76 centímetros.

Foi Torricelli o primeiro que executou esta experiencia, motivo pelo qual conserva o seu nome, bem como o tubo que dispunhamos assim.

Como a densidade da agua é treze vezes e meia menor que a do mercurio, segue-se que, para fazer equilibrio á pressão atmosphérica, seria preciso uma columna d'agua treze vezes e meia maior, isto é, de 10 metros e uma fracção. Este facto foi demonstrado experimentalmente por Pascal.

146. BAROMETROS. — Chamam-se assim os instrumentos que servem para a medição da pressão atmosphérica. Baseam-se, ou no equilibrio da pressão pelas columnas de mercurio, ou nas modificações d'elasticidade que a pressão exerce nas laminas metallicas delgadas. D'aqui



Fig. 49

a divisão dos barómetros em barómetros de mercúrio, e barómetros metallicos.

147. BAROMETROS DE MERCURIO.—Os barómetros de mercúrio são susceptíveis tambem de divisão em *barómetros de tina* e *barómetros de siphão*.

Os barómetros de tina mais usados são o de Torricelli e o de Fortin. O mais conhecido dos barómetros de syphão é o de Gay-Lussac.

*Barometro de Torricelli.* Este barometro é constituido por um tubo de 90 centimetros de comprido, cheio de mercúrio, e mergulhando n'um pequeno reservatorio. Tanto um como o outro estão adaptados a uma prancha de madeira, graduada em centimetros e millimetros, correspondendo o zero da escala á superficie livre do liquido na tina. Ora, como com as differenças de pressão o liquido dentro do tubo sóbe ou desce, segue-se que a quantidade do liquido na tina diminue ou augmenta, de modo que a superficie livre é variavel. O erro, porém, que d'ahi resulta é pequeno se a tina for bastante larga.

O espaço vazio de mercúrio dentro do tubo chama-se *camara barometrica*; a differença de nivel entre o mercúrio da tina e o do tubo chama-se *altura barometrica*. Costuma referir se a pressão a um centimetro quadrado, e é por isso que se enuncia apenas a altura barometrica para a designação da pressão.

*Barometro de Fortin.* O barometro de tina descripto é sujeito a alguns inconvenientes. Em primeiro lugar tem o já apontado de não ser fixo o zero da escala, mas um maior resulta de não ser portatil. Para obviar a este inconveniente,

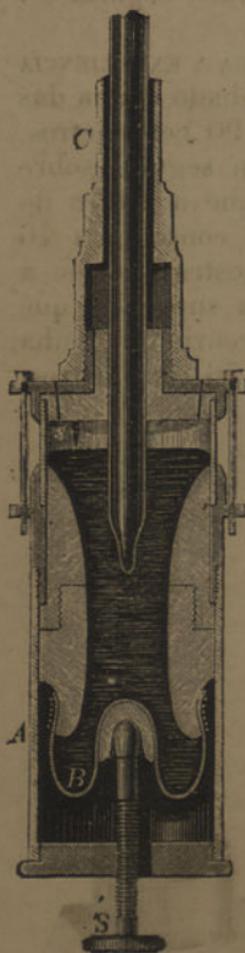


Fig. 50

F'ortin constituiu o seu instrumento que passamos a descrever.

O aparelho compõe-se de um tubo de barometro, protegido por um estojo metallico, apenas aberto na parte superior para se ver a extremidade da columna mercurial. O tubo termina em ponta quasi capillar e está ligado á tina por um pedaço de camurça. A tina é constituída por um tubo de vidro cujo fundo B é movel e ligado invariavelmente a um parafuso representado na fig. 50 por S. Contra a parte superior do reservatorio está applicado um ponteiro de marfim, que não está indicado no desenho, e cuja extremidade inferior se acha exactamente ao mesmo nivel que o zero da escala. Movendo o parafuso, fazemos com que o nivel do liquido rase exactamente a ponta de marfim e d'este modo evitamos a deslocação do zero da escala. Para o transportarmos, elevamos de tal sorte o fundo por meio do parafuso que o mercurio enche toda a capacidade do tubo.

*Barometro de Gay-Lussac.* O barometro de Gay-Lussac é ainda mais portatil do que o precedente. Compõe-se (fig. 51) d'um tubo de vidro de dois ramos deseguaes, o maior dos quaes é fechado, tendo o mais curto uma pequena abertura conica *a*. Estes dois ramos teem um calibre perfeitamente igual, e estão reunidos por um tubo capillar, destinado a impedir que o ar passe para a camara barometrica. A altura da columna é tomada pela differença do nivel n'um e outro ramo, por meio de duas reguas graduadas em sentido inverso, estando collocado o 0° no meio. Dois cursores permitem marcar com toda a exactidão os niveis do mercurio para se medir com exactidão a distancia que os separa. O barometro de Gay-Lussac ou se fixa a uma prancheta ou se mette n'um estojo para ser transportado em viagem.

148. CONDIÇÕES EXIGIDAS N'UM BAROMETRO DE MERCURIO. — Para que um barometro de mercurio forneça indicações dignas de credito, é necessario:

Fig. 51 1.º Que o mercurio seja absolutamente puro, aliás

a altura da columna deixaria de marcar exactamente o valor da pressão.

2.º *A camara barometrica deve ser completamente vacua*, aliás o ar ou qualquer gaz n'elle existente annullaria pela sua tensão uma parte da pressão atmosphérica.

3.º *A escala deve ser perfeitamente vertical*, aliás não mediria exactamente a altura do mercurio.

Para satisfazer a estas condições, empregam-se todas as cautelas na construcção do barometro. O tubo é lavado primeiro com acido azotico, e depois com agua; em seguida secca-se cuidadosamente, fechando-se á lampada n'uma das extremidades. O mercurio, purificado, é lançado em pequenas porções dentro do tubo, e fervido para expulsar as bolhas de ar e a humidade que n'elle exista.

149. CORRECÇÃO DAS ALTURAS BAROMETRICAS. — Já dissemos que o calor dilata os corpos, e o mercurio, como corpo que é, está tambem sujeito a augmentar de volume, quando a temperatura se eleva e a diminuir quando se abaixa. D'aquí resulta que é necessario referir as indicações do barometro a uma temperatura fixa, e adoptou-se a de 0", isto é, a temperatura de fusão do gelo. Por outro lado, o tubo tambem se dilata, mas essa dilatação em nada prejudica a observação, porque é independente do calibre do vaso a altura da columna. A escala de madeira tambem augmenta de comprimento, mas o effeito é contrario, porque d'esta forma o mercurio vem a tocar um ponto inferior ao que tocaria se não fosse a dilatação.

Para que se possam fazer as correcções, anda junto ao barometro um thermometro, isto é, um instrumento destinado a medir o calor.

Além das correcções a introduzir em virtude da temperatura, é necessario fazer outras dependentes da capillaridade. Remedeia-se em parte a este inconveniente escolhendo um tubo de diametro relativamente grande, porque então a capillaridade torna-se menos sensivel.

Tem-se construido umas tabellas com as correcções a fazer, tanto para a capillaridade como para a temperatura.

Nos barometros de syphão ha a effectuar duas correccões da capillaridade em vez d'uma.

150. VARIACÕES DA PRESSÃO ATMOSPHERICA. — Se observarmos diariamente um barometro, observamos que a altura da columna mercurial eleva-se ou deprime-se. Estas variações podem ser divididas em duas classes: umas, as *irregulares* ou *accidentaes*, são assim chamados porque se não acham sujeitas a lei alguma conhecida, outras, as *regulares*, dão-se segundo uma lei determinada. Estas ultimas tambem recebem o nome de *diurnas*, porque se dão em cada dia.

As variações accidentaes estão em relação com determinados estados da atmosphaera. No nosso clima, o barometro sóbe geralmente com o tempo secco e desce com o tempo chuvoso ou tempestuoso. No equador, o barometro conserva-se invariavel na presença das mais violentas tempestades, facto este que até hoje não recebeu interpretação rasoavel.

Independentemente, porém, d'estas variações accidentaes, o barometro apresenta, como dissemos, variações regulares. Estas são muito faceis de verificar no equador, mas não succede o mesmo nos nossos climas, em que se confundem muita vez com as variações accidentaes. No mesmo dia ha dois maximos e dois minimos; os maximos são ás nove horas da manhã e ás onze da noite, e os minimos ás quatro horas da tarde e ás quatro da manhã. A amplitude d'estas variações raras vezes excede 2 millimetros; a sua regularidade é perfeita, e a causa parece residir no movimento do sol.

151. ALTURA BAROMETRICA MÉDIA. — No equador, a altura média annual tomada ao nivel do mar é de 0,758, e augmenta á medida que vamos caminhando para os polos. Em Paris a altura média é de 0,76, e em Lisboa é de 0,76432, tomadas ambas ao nivel do mar.

Costuma tomar-se como *altura normal* do barometro 0,76; contudo a média geral é um pouco superior a este numero.

152. USOS DO BAROMETRO. — Os usos do barometro são numerosissimos e rara é a experiencia de physica em que não tenhamos a entrar em consideração com elle, como se terá occasião de ver. Todavia, os mais frequentes são: a previsão do tempo e a medição das altitudes.

1.º *Previsão do tempo.* Existe, como ainda ha pouco dissemos, uma relação mais ou menos constante entre o estado da atmosphera e a altura barometrica. Por tal motivo, observando-se que quando o barometro marca mais de 758 millimetros, o tempo tende a tornar-se secco, e quando, pelo contrario, marca uma altura menor, se manifesta mau tempo, construiu-se uma escala de nove em nove millimetros, assim arranjada:

|               |                |
|---------------|----------------|
| 785 . . . . . | Muito secco    |
| 776 . . . . . | Seguro         |
| 767 . . . . . | Bom tempo      |
| 758 . . . . . | Variavel       |
| 749 . . . . . | Chuva ou vento |
| 740 . . . . . | Muita chuva    |
| 731 . . . . . | Temporal       |

E' claro, todavia, que estas indicações apenas são approximadas, e não podem merecer absoluta confiança.

2.º *Medição das altitudes.* Diminuindo gradualmente a altura da columna barometrica á medida que nos vamos elevando, facil é reconhecer qual a altura d'um lugar acima do nivel do mar. Basta apenas saber a relação que existe entre um determinado abaixamento de mercurio e a altura correspondente. Se a atmosphera fosse de igual densidade em toda a sua extensão o problema seria simplicissimo, visto que sendo o ar 10:464 menos denso do que o mercurio, cada depressão d'um millimetro corresponderia a uma elevação de 10<sup>m</sup>,464. Como a densidade do ar vae decrescendo n'uma proporção rapida, a determinação das alturas repousa em formulas analyticas muito complicadas. Com o uso d'ellas, construíram-se tabellas cujo uso é frequente nos aeronautas, porquanto, vendo a altura da columna, immediatamente saberá a altura acima do nivel do mar a que se encontram.

153. BAROMETROS METALLICOS. — Estes barometros repousam como já tivemos occasião de dizer sobre a elasticidade dos tubos metallicos, cujas paredes são em extremo delgadas. Os mais conhecidos e usados são os de Bourdon e o aneroide.

O *barometro metallico de Bourdon* (fig. 52) compõe-se d'um tubo de latão de paredes extremamente delgadas e

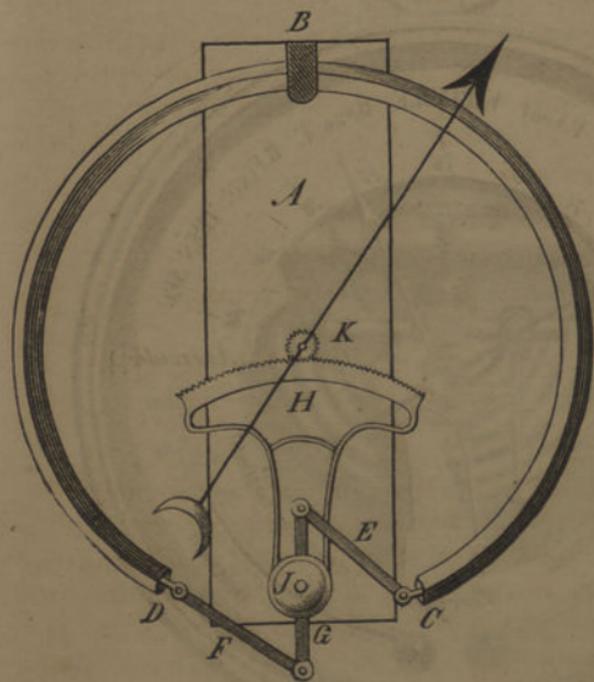


Fig. 52

cuja secção é elliptica. Este tubo está collocado em fôrma de circulo, e fixo em B, aos limites da caixa que o encerra, emquanto que as suas extremidades livres C e D se articulam com duas alavancas E e F que estão ligadas a um sector dentado H.

Este engrena com uma pequena roda tambem dentada K que faz mover um ponteiro sobre um quadrante. O tubo é

completamente vazio no seu interior, e quando a pressão augmenta achata-se, e curva-se mais, de modo que a agulha anda da esquerda para a direita; quando a pressão diminue, o tubo, em virtude da elasticidade de que é dotado, tende a voltar á primitiva posição e a agulha move-se da direita para a esquerda. Este barometro é graduado por comparação com um de mercurio e é sensivel e commodo; tem comtudo o inconveniente de se desarranjar com facilidade, em virtude das modificações que com o tempo soffre a elasticidade do tubo.

O *barometro aneróide* funda-se no mesmo principio do antecedente, mas não é um tubo que está sujeito ás diferentes variações de pressão, é uma caixa de paredes ex-

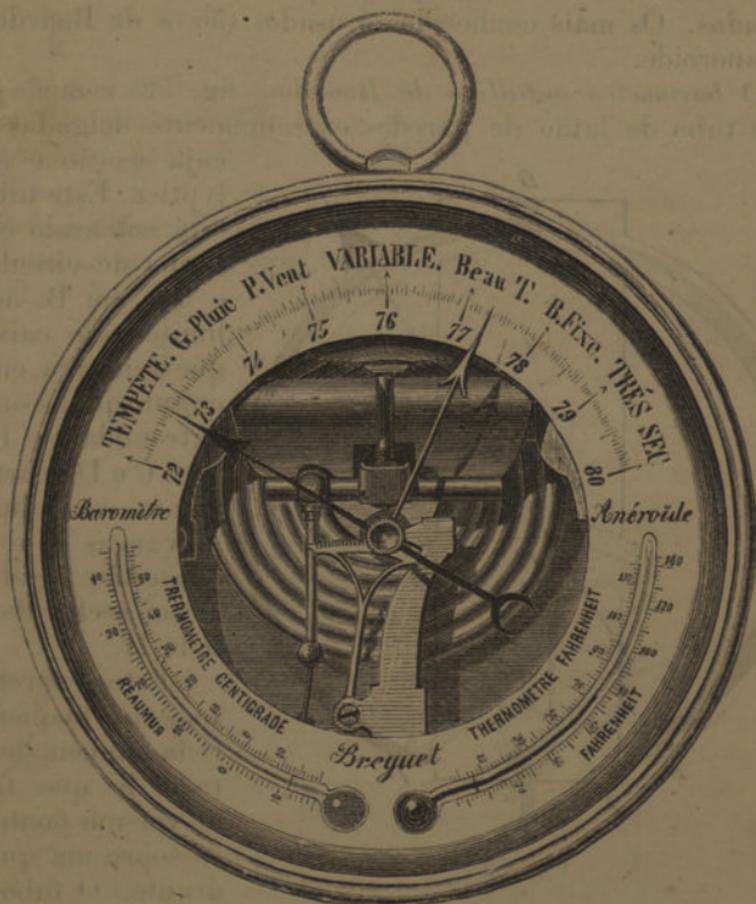


Fig. 53

tremamente moveis e de faces canelladas. Esta caixa transmite os seus movimentos a um ponteiro, por meio de uma mola de aço e de duas alavancas. Este barometro é extremamente commodo e portatil, e muito sensivel.

154. VALOR EM PESO DA PRESSÃO ATMOSPHERICA. — A altura da columna de mercurio que faz equilibrio á pressão atmospherica permite avaliar em peso o seu valor para uma superficie que consideremos. Supponhamos que a columna tenha 76 centimetros de mer-

curio d'altura e que a secção interior do tubo seja d'un centimetro quadrado. A pressão exercida sobre um centimetro quadrado é, pois, igual ao peso d'un cylindro de mercurio que tenha um centimetro quadrado de base e uma altura de 76 centimetros. Como um centimetro cubico d'agua pesa 1 grammas, um centimetro cubico de mercurio pesará  $13^{\text{gr}},6$  por ser este liquido  $13,6$  mais denso do que a agua; d'onde se conclue que o peso da columna de mercurio equivale a  $13^{\text{gr}},6 \times 76$ , isto é 1033 grammas, o que quer dizer que para cada centimetro quadrado ha uma pressão d'un kilogramma e 33 grammas.

Sendo a superficie total do corpo humano, n'un individuo d'estatura e corpulencia médias, de metro quadrado e meio, a pressão que supporta um homem, quando a altura barometrica é de  $0^{\text{m}},76$ , e de 15:500 kilogrammas. Parece que esta pressão deveria ser bastante para nos esmagar, mas, logo que nos recordemos que ella se exerce em todas as direcções e que em todos os sentidos se neutralisa, o facto fica explicado.

## CAPITULO II

### Medida da força elastica dos gazes

#### Lei de Mariotte — Manometros

155. EXPERIENCIA DE MARIOTTE.— Com o intuito de saber que relação existia entre as prèssões que os gazes supportam e o seu volume, Mariotte tomou um tubo recurvado e de ramos muito deseguaes, sendo o mais curto fechado na sua extremidade e o outro aberto. Este tubo estava ligado a uma prancha de madeira, a qual tinha duas escalas em relação com os dois ramos do tubo. A correspondente ao ramo maior estava dividida em centimetros e millimetros; a annexa ao tubo menor em partes de igual capacidade.

Lançou uma pequena quantidade de mercurio de modo que ficasse em ambos os ramos ao mesmo nivel, o que conseguiu depois d'algumas tentativas. D'este modo o ar contido na extremidade fechada do tubo supportava a pressão d'uma atmospherã. Feito isto, lançou novamente uma quantidade de mercurio tal que a differença de nivel nos dois ramos fosse de 76 centimetros e verificou

que o volume do ar se tinha reduzido a metade. Se o tubo tinha o comprimento bastante para que se podesse lançar ainda mais a quantidade de mercurio necessario para que a differença fosse de duas vezes 76 centimetros, via-se que o volume de gaz se reduzia a um terço.

Foi em virtude d'esta experiencia extremamente facil de verificar, que Mariotte enunciou a sua lei que regula a compressibilidade dos gazes: *Os volumes occupados pelas massas gazosas, a uma mesma temperatura, estão na razão inversa das pressões que supportam.*

156. DEMONSTRAÇÃO DA LEI DE MARIOTTE. — A experiencia fundamental que acabamos de descrever e que foi o ponto de partida para a descoberta da lei é a sua mais completa confirmação. Todavia essa experiencia só a demonstra para pressões maiores que a de uma atmosphera, e ha meio tambem de a verificar para pressões menores. Toma-se um longo tubo fechado n'uma extremidade, e lança-se n'ella a quantidade de mercurio necessaria para o encher até tres quartos, deixando captiva uma pequena quantidade d'ar. Volta-se depois sobre um vaso profundo contendo igualmente mercurio, e levanta-se ou abaixa-se, de modo a que o nivel no interior do tubo coincida com o exterior. Temos então a certeza de que o ar contido no interior do tubo está sujeito á pressão d'uma atmosphera. Levantamos o tubo de maneira a deixar que o ar encerrado tome um maior volume, e observamos que, quando o ar tem tomado um volume duplo, o mercurio se tem elevado no tubo *metade da altura barometrica*, o que prova que a pressão supportada pelo ar interior, cujo volume dobrou, se tornou precisamente duas vezes menor.

157. CONSEQUENCIAS DA LEI DE MARIOTTE. — Representando por  $V$  e  $V'$  os volumes que toma um mesmo gaz, submittido a duas pressões differentes  $P$  e  $P'$ , a lei de Mariotte será expressa na seguinte formula:

$$\frac{V}{V'} = \frac{P'}{P}$$

Ora d'esta equação tira-se  $VP = V'P'$ , o que permite dar um outro enunciado á lei: *O producto do volume d'um gaz pela pressão que supporta é constante.*

Como, porém, para as mesmas massas, os volumes estão na razão inversa das densidades, temos que  $\frac{d}{d'} = \frac{V}{V'}$  o que traduzido na primeira formula dá

$$\frac{P}{P'} = \frac{d}{d'}$$

O que se enuncia d'este modo: *as densidades d'um gaz submettido a differentes pressões são directamente proporcionaes a essas pressões.*

Como, ainda, para equal volume o peso é directamente proporcional á densidade, temos que a equação acima se converte em

$$\frac{p}{p'} = \frac{P}{P'}$$

O que se traduz pelo seguinte enunciado: *os pesos d'um mesmo volume de gaz são proporcionaes ás pressões que supportam.*

Experiencias de Despretz e Regnault e as mais recentes ainda de Amagat e Cailletet demonstram que a lei de Mariotte não é perfeitamente exacta. O ultimo d'estes physicos pôde determinar que o azote, a partir de 245 atmospheras, se comprime cada vez menos á medida que a pressão augmenta. A lei de Mariotte é pois uma especie de *lei limite* de que todos os gazes mais ou menos se approximam. De resto, pôde dizer-se que para gazes affastados do seu ponto de liquefacção, taes como o ar e os gazes outr'ora chamados permanentes, os desvios são tão pequenos que se pôde considerar a lei como exacta.

158. MANOMETROS. — Os *manometros* são instrumentos

destinados a medir a tensão ou força elastica dos gazes contidos em espaços fechados. A graduação dos manometros destinados a medir pressões maiores que a da atmosphera é feita tomando para unidade a pressão correspondente á altura de 76 centimetros de mercurio, ao que se dá o nome d'uma *atmosphera*.

Distinguem-se tres especies de manometros: 1) *m. de ar livre*, 2) *m. de ar comprimido*, e 3) *m. metallicos*.

Ha tambem *manometros* de rarefacção, destinados a medir pressões menores que a d'uma atmosphera.

159. MANOMETRO DE AR LIVRE. — Compõe-se este instrumento d'um longo tubo de vidro, aberto na sua extremidade superior e adaptado em baixo a um pequeno reservatorio de ferro cheio de mercurio. Tubo e reservatorio ambos estão ligados a uma prancha de madeira que está graduada pelo modo que em breve indicaremos. A' tina de ferro vae desembocar um tubo de ferro que transmite ao mercurio a pressão exercida pelo gaz comprimido ou pelo vapor.

Para graduar o instrumento marca-se 1, isto é, uma atmosphera, no ponto em que o mercurio no tubo está á mesma altura que no reservatorio; e a partir d'este ponto de distancia em distancia de 76 centimetros 2, 3, 4... que indicam o numero d'atmospheras. Os espaços, comprehendidos entre estes numeros, são divididos em dez partes e representam decimos d'atmospheras.

Cumpre attender ao abaixamento de nivel que experimenta o mercurio na tina, o que modifica um pouco a graduação.

Este manometro apenas serve para medir pequenas pressões, porque exige um comprimento tal do tubo de vidro que o torna pouco portatil e extremamente fragil.

160. MANOMETRO D'AR COMPRIMIDO. — O manometro d'ar comprimido é constituido por um tubo recurvado sobre si mesmo, e fechado n'uma das suas extremidades. Na parte curva contem uma certa quantidade de mercurio. Quando as superficies de nivel estão na mesma linha

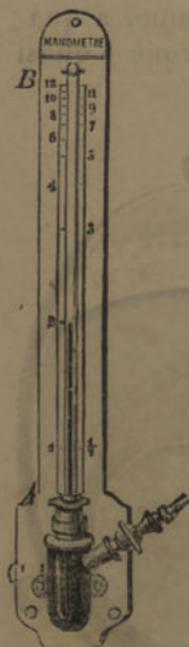


Fig. 54

horizontal a pressão é igual a uma atmosphera. Se, porém, augmentar a tensão do gaz ou vapor no reservatorio que communica com o tubo, o nivel abaixar-se-ha, dando-se uma elevação correspondente do outro lado. A pressão será então medida pela differença de volume do ar contido no ramo fechado, acrescentada com a differença de niveis do mercurio.

Na pratica, em vez de se curvar o tubo, adapta-se um tubo recto a um reservatorio de metal, cheio de mercurio, e communicando, por meio d'um tubo lateral, com o recipiente em que está o gaz cuja força elastica se deseja conhecer. Mede-se da mesma fórma a pressão pela redução de volume do ar e pela differença de niveis do mercurio. Os manometros d'ar comprimido graduam-se, ou pelo calculo, ou por comparação com um manometro d'ar livre.

161. MANOMETROS METALLICOS. — Ha diferentes manometros metallicos, todos fundados na elasticidade das molas. O mais usado é o de *Bourdon* e será portanto o unico que descreveremos. O principio em que repousa é o seguinte: *toda a pressão exercida no interior d'um tubo de paredes flexiveis, enrolado em helice, tende a desenrolal-o, como toda a pressão exterior tende a enrolal-o cada vez mais.*

Compõe-se (fig. 55), pois, d'um tubo de latão, de paredes extremamente flexiveis e de secção ellyptica. Este tubo é fixo n'uma das suas extremidades *a*, aquella que se põe em communicação com o reservatorio em que se encerra o gaz cuja força de tensão se quer conhecer, e livre na outra *b* que está adaptada a um ponteiro que se move n'um quadrante. Cumpre mencionar que o tubo é aberto na sua extremidade em relação com o reservatorio, ao passo que é fechado na outra extremidade. O instrumento gradua-se por comparação com um manometro de mercurio.

Reune este barometro ao seu pequeno volume, a qualidade de ser pouco fragil; este é o motivo porque é quasi o unico empregado nas locomotivas.

162. MANOMETRO DE RAREFAÇÃO. — O manometro de rarefacção é constituido por um tubo em fórma de U, com um ramo fechado e outro aberto, e contendo mercurio no seu interior. O mercurio enche todo o tubo fechado, porque a pressão que supporta na extremidade aberta a isso o obriga; mas, á medida que a pressão vae diminuindo, o mercurio abaixa-se, medindo-se d'esta fórma a tensão do gaz que está em

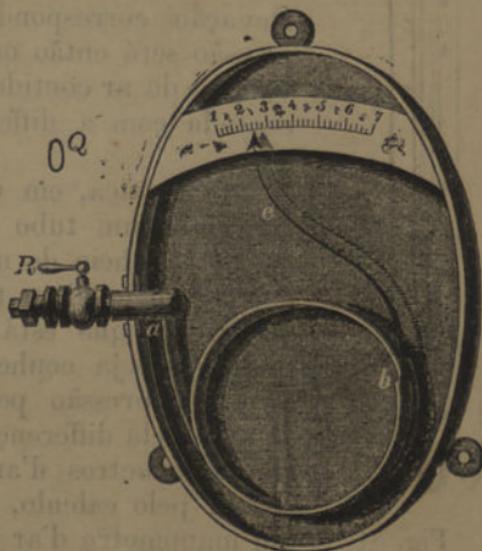


Fig. 55

communição com o ramo aberto. Sendo a tensão inferior a um millimetro, é necessario recorrer ao acido sulfurico concentrado em vez do mercurio.

### CAPITULO III

#### Apparelhos fundados nas propriedades do ar

Machina pneumatica. Machina de compressão.  
Bombas. Siphões

163. MACHINA PNEUMATICA. — Este aparelho é destinado a fazer o vacuo n'um certo espaço, ou melhor ainda a rarefazer extremamente o ar que n'elle se contém. Com-

põe-se (fig. 56) de dois cylindros de crystal ou de cobre, no interior de cada um dos quaes se move um embolo, feito de muitas rodellas de couro sobrepostas, terminado em cima

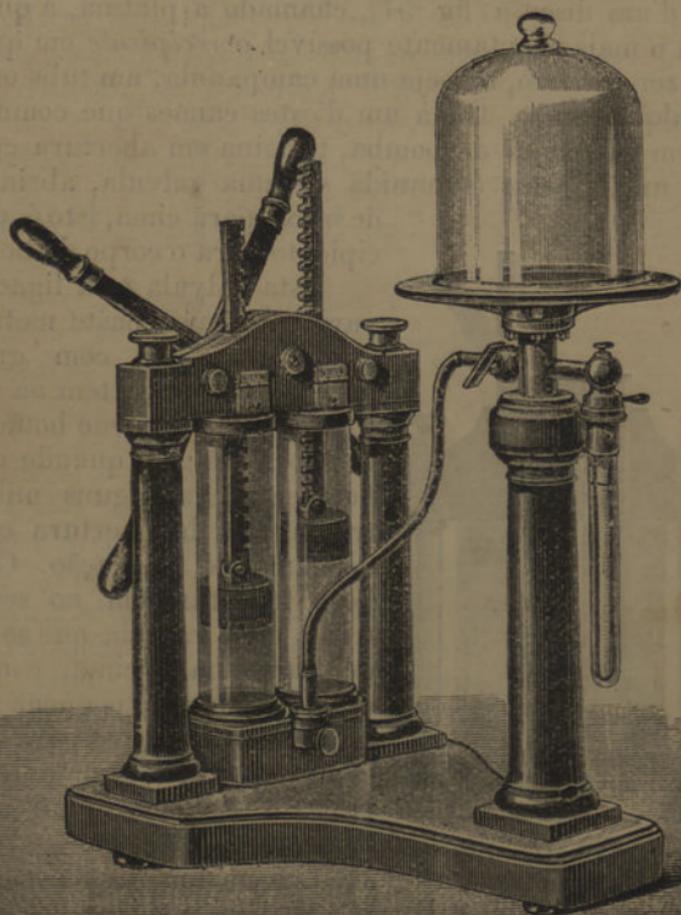


Fig. 56

por uma haste dentada que engrena com uma carreta, de tal sorte que, pondo esta em movimento, desce ou sóbe alternativamente um ou outro dos embolos.

Ambos os corpos de bomba estão montados n'um suporte de cobre, e communicam por dois pequenos canaes com um mais extenso e largo a que se dá o nome de *canal de aspiração*, e cuja extremidade se vem abrir no centro d'um disco *a* (fig. 57), chamado a platina, á qual se applica o mais exactamente possível o *recipiente* em que se quer fazer o vacuo, ou seja uma campanula, um tubo ou outro qualquer vaso. Cada um d'estes canaes que communicam com os corpos de bomba, termina em abertura conica e cada uma d'estas é munida de uma valvula, abrindo-se de baixo para cima, isto é, do recipiente para o corpo de bomba.

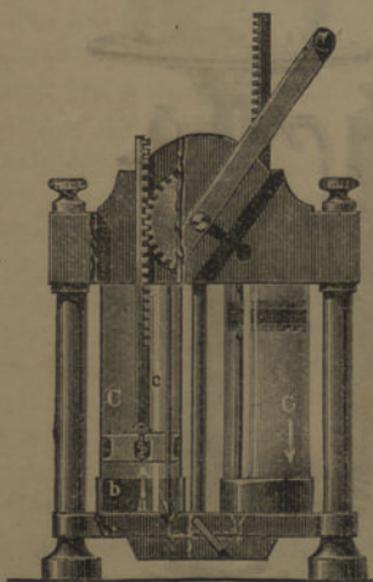


Fig. 57

Esta valvula está ligada invariavel a uma haste metallica *c* que atravessa com grande attrito o embolo, e tem na parte superior um pequeno botão destinado a retel-o, quando o embolo se eleva alguns millimetros acima da abertura conica do canal de aspiração. O embolo tem tambem no seu interior uma valvula que se abre de baixo para cima, e que é mantida por uma pequena mola. Uma torneira serve para interceptar ou abrir communicações entre o recipiente e os corpos de bomba.

Um manometro de rarefacção encerrado n'um tubo de vidro em communicação com o canal de aspiração permite medir a tensão do ar contido no aparelho.

164. JOGO DA MACHINA. — Basta, para se comprehender perfectamente o jogo da machina, examinarmos o que se dá n'um dos corpos de bomba, visto que o que se passa no outro é exactamente o mesmo. Supponhamos um dos embolos no termo inferior da sua carreira; quando

o levantamos, arrasta comsigo a haste da valvula *a*, que se eleva alguns millimetros acima da abertura que obturava, ficando detido no seu movimento pelo botão superior, continuando a mover-se unicamente o embolo, escorregando sobre a haste com um attrito doce. A valvula do embolo essa fica fechada em virtude do seu proprio peso e da pressão atmospherica. Ora, á medida que o embolo caminha na sua marcha ascensional, o vacuo tende a formar-se no corpo de bomba, e o ar do recipiente, em virtude da sua elasticidade, precipita-se no canal d'aspiração, espalhando-se uniformemente em todo o espaço que lhe é offerecido.

Fazendo descer o embolo, a haste da valvula *a* é immediatamente arrastada, de maneira a fechar a abertura do canal d'aspiração, tão completamente que o ar contido no corpo de bomba não póde retroceder. Continuando a descer, o embolo comprime cada vez mais o ar que lhe fica subjacente, e chega um momento em que a força elastica d'este se torna superior á pressão atmospherica, augmentada do peso da valvula do embolo. A valvula é então levantada e o ar comprimido escapa-se para fóra por aberturas praticadas na parte superior do corpo de bomba. Quando o embolo chega ao termo do seu caminho, todo o ar do corpo de bomba tem sido sensivelmente expulso.

Uma nova marcha de embolo dará origem á mesma serie de phenomenos. Podemos reduzir o jogo da machina nas duas seguintes condições: 1.<sup>o</sup> *Quando o embolo sóbe, a sua valvula fica fechada e abre-se a do canal d'aspiração;* 2.<sup>o</sup> *Quando o embolo se abaixa, a sua valvula abre-se e a do canal d'aspiração fica fechada.*

As machinas ordinarias mais perfeitas não permitem realisar o vacuo absoluto e apenas conseguem determinar uma grande rarefacção de ar. As mais bem construidas, graças a uma torneira, chamada de Babinet, levam a rarefacção até um millimetro de mercurio, isto é, a tensão de ar rarefeito faz elevar um millimetro o mercurio no manometro.

—SUAS APPLICAÇÕES.— Temos já mencionado no decurso das nossas lições, numerosas experiencias em que a machina pneumatica se torna indispensavel. Além d'essas, a machina pneumatica serve para a demonstração de que o ar é indispensavel para as combustões e para a vida. Se introduzirmos uma vela accesa no recipiente da machina pneumatica, apaga-se; se n'elle mettermos um animal, morre asphyxiado.

A experiencia do repuxo no vacuo é uma das mais frequentemente realisadas. Se fizermos o vacuo n'um vaso de vidro ligado inferiormente a uma peça de metal que tenha um pequeno canal que se abra ou feche por uma torneira, e depois collocarmos o apparelho n'um prato com agua, veremos, logo que se desande a torneira, que o liquido immediatamente repuxará, porque a falta de pressão ao nivel do orificio obrigará a agua a correr n'esse sentido.

Foi tambem usada a machina pneumatica para empregar a pressão atmospherica como motor nos *caminhos de ferro atmosphericos*, hoje em descredito e desuso. N'elles estava estabelecido entre os rails um tubo, em que se moviam os embolos ligados a um wagon. Fazendo o vacuo adiante d'elles, a pressão atmospherica, exercida do lado opposto, impellia os embolos e por tanto o wagon. A applicação apresentava notaveis inconvenientes que determinaram o seu abandono.

Além d'isto, a machina pneumatica applica-se nas industrias para a evaporação rapida da agua que dissolve o assucar na fabricação dos xaropes, etc., etc.

166. MACHINAS DE COMPRESSÃO.— Estas machinas tem por fim accumular o ar ou outro qualquer gaz n'um reservatorio. Têm o aspecto geral da machina pneumatica, mas differem d'ella em que as valvulas estão dispostas em sentidos contrarios, e em que o recipiente é extremamente solido, fortemente ligado á platina da machina, e protegido por uma rede metallica. O manometro de rarefacção é tambem substituido por um manometro d'ar comprimido.

N'estas machinas, quando o embolo desce, abre-se a val-

vula inferior e o ar comprimido fecha a que está cavada na espessura do embolo, entrando por conseguinte uma certa quantidade d'ar para o recipiente. Quando o embolo sóbe, fecha a valvula inferior, a pressão atmospherica vence a resistencia da valvula do embolo e penetra o ar no cylindro. Recomeça então o mesmo jogo descripto.

167. BOMBA DE COMPRESSÃO.—As machinas de compressão são extremamente perigosas, e por esse motivo pouco usadas em physica. Preferem-se-lhe as *bombas de compressão* que lhes levam grande vantagem na commo-didade e segurança do seu emprego.

Compoem-se estes instrumentos d'um cylindro, dentro do qual se move um embolo massiço. Na base do cylindro ha duas valvulas, uma das quaes communica com o tubo d'entrada e a outra com o tubo de saída, e abrindo-se, a primeira de fóra para dentro, e a segunda de dentro para fóra. O primeiro tubo está em comunicação com a atmos- phera ou com o espaço onde se fabrica o gaz e o segundo com o reservatorio onde se quer accumular. Facil é per- ceber a maneira como o aparelho trabalha; dá-se a as- piração do gaz n'um dos tubos e esse gaz é depois impel- lido para o outro tubo, depois de ter soffrido uma certa compressão; d'esta maneira se vae accumular no reserva- torio.

O que ha de notavel nas bombas de compressão, é que podem servir igualmente para fazer o vacuo, n'um espaço qualquer, invertendo as communicações dos tubos.

O emprego mais frequente das bombas de compressão é o de fazer dissolver em agua determinados gazes, e no- meadamente o anhydrido carbonico.

168. BOMBAS ELEVATORIAS.—As bombas elevatorias são, como se conclue facilmente do nome, instrumentos destinados a levarem a grandes alturas a agua, o azeite ou outros quaesquer liquidos. Segundo o systema emprega- do para produzir a ascensão do liquido, assim as bom- bas recebem o nome de *aspirantes*, *prementes*, ou *aspiran- tes-prementes*.

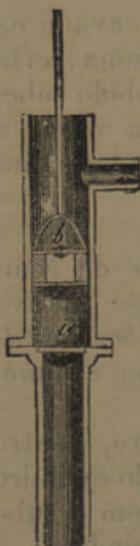


Fig. 58

1.<sup>o</sup> *Bomba aspirante.* A bomba aspirante (fig. 58) consta d'um longo *tubo de aspiração*, tendo superiormente um corpo de bomba cylindrico, no qual se move um embolo *b*. A extremidade inferior do tubo d'*aspiração* mergulha no liquido que se quer elevar, a superior tem uma valvula *a* que se abre de baixo para cima.

O embolo não é massiço, apresenta no seu centro uma outra valvula *b* que se abre egualmente de baixo para cima. O corpo de bomba tem lateralmente um canal de esgoto, destinado a lançar o liquido elevado para o exterior.

Imaginemos agora que, com o auxilio d'uma alavanca, situada fóra do aparelho, fazemos elevar o embolo que esteja no termo inferior da sua carreira. O vacuo tende a fazer-se inferiormente, e a valvula *b* fica applicada em virtude

do seu proprio peso e da pressão atmospherica; mas ao mesmo tempo o ar contido no tubo de aspiração levanta a valvula *a* collocada no seu termo superior e espalha-se no corpo de bomba. Como a pressão exercida sobre a agua é menor, eleva-se uma certa quantidade de liquido no interior do tubo. Quando o embolo desce, a valvula *a* fecha-se pelo seu proprio peso, e a *b* do embolo abre-se, em virtude da tensão do ar comprimido, que se escapa para fóra pelo canal d'esgoto. Reproduzem-se outra vez os phenomenos indicados, até que a agua chega ao corpo da bomba. D'ahi em diante vae-se elevando sempre, de modo a chegar ao canal d'esgoto, isto é, até começar a sair para fóra.

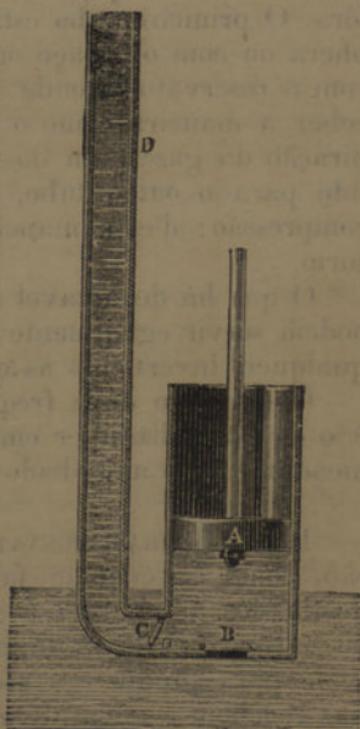


Fig. 59

Deve notar-se que, como a ascensão é devida á pressão atmospherica, a maior altura a que a agua se póde elevar é  $10^m,33$ . Como demais o vacuo absoluto é impossivel, e como ha sempre imperfeições que não é facil evitar, nunca se dá ao tubo d'aspiração um comprimento superior a 8 ou 9 metros.

2.º *Bomba premente*. A bomba premente (fig. 59) differe da antecedentemente descripta em não ter tubo d'aspiração e em ser dotada d'um embolo massigo. Compõe-se d'um corpo de bomba, no qual se move um embolo cheio. A este corpo está ligado um longo tubo D chamado *tubo d'elevação*, que apresenta, na sua parte interior, uma valvula C, que se abre de dentro para fóra. O corpo de bomba é terminado em baixo por uma valvula B que se abre de baixo para cima.

Quando se eleva o embolo, tende-se a fazer o vacuo inferiormente, e por tal motivo a agua vence a resistencia da valvula B situada no corpo da bomba, e espalha-se n'este. Quando o embolo desce comprime-se o ar e a agua, fecha-se a valvula inferior B e abre-se a lateral C, espalhando-se aquelles fluidos no canal d'aspiração. O jogo do apparelho é o mesmo para cada abaixamento e elevação do embolo.

3.º *Bomba aspirante-premente ou mixta*. Esta especie de bomba (fig. 60) não differe da bomba premente propriamente dita, senão pela existencia d'um tubo d'aspiração junto ao corpo da bomba, de modo que este não mergulha na agua, mas sim o tubo de aspiração. D'esta forma, quando o embolo se eleva, a agua penetra no tubo d'aspiração, e no corpo de bomba, vencendo a resistencia da vulvula *a*. Quando desce, esta valvula fecha-se, abre-se a que está situada em *b* e o liquido é repellido para o *tubo d'elevação*.

Como se vê a agua sóbe por aspiração e é propellida pela pressão.

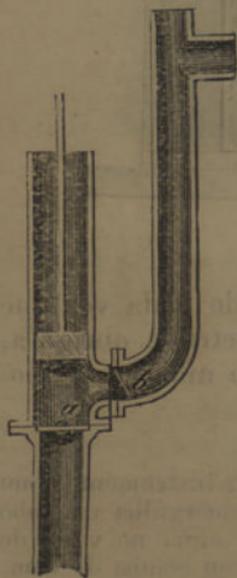


Fig. 60

geraes e conhecidas as applicações das bombas que não é necessario relembra-las. Recordaremos apenas a bomba de incendios pelas modificações que n'ella se apresentam. Este aparelho compõe-se de dois corpos de bomba *bb*, em que se movem egualmente dois embolos massiços, postos em movimento por um travessão movel em torno de um eixo horisontal. Ambas estas bombas prementes accumulam a agua que se acha contida n'uma especie de balde exterior n'um reservatorio central *a* que contem uma certa quantidade d'ar e em que se vem abrir em *e* um canal extremamente comprido de couro chamado *mangureira*. O ar

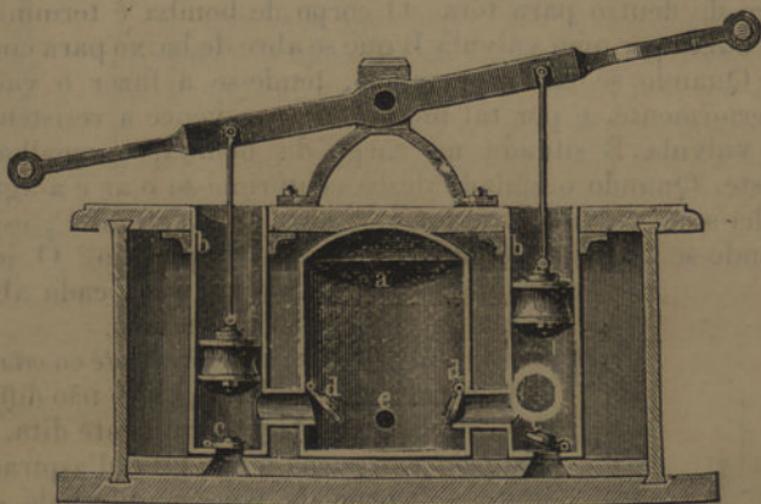


Fig. 61

encerrado n'este reservatorio é comprimido cada vez que uma nova quantidade d'agua n'elle penetra e obriga-a, em virtude da sua elasticidade, a sair com uma certa violencia pela mangureira.

170. FONTE DE COMPRESSÃO. — Compõe-se este instrumento d'um vaso de metal muito resistente, no fundo do qual mergulha um tubo que tem superiormente uma torneira. Deita-se agua no vaso, de modo a encher-o até ao meio, e com a machina ou bomba de compressão comprime-se fortemente o ar que fica superiormente. Abrindo então a torneira a agua, jorra pelo orificio do vaso a uma al-

tura tanto maior quanto maior fôr a pressão. Os frascos d'agua gazona chamados *syphões* não passam de fontes de compressão em que o acido carbonico substitue o ar comprimido.

171. GAZOMETRO. — O gazometro é um instrumento destinado a receber e a distribuir o gaz d'illuminação. Compõe-se d'uma grande campana cylindrica T de ferro fundido, aberta na parte inferior, e que assenta sobre a agua contida n'um tanque de pedra W. Um pouco acima do nivel da agua vêm abrir-se dois tubos b e a, um dos quaes traz o gaz produzido no aparelho em que se fabrica, e o outro é a arteria principal de distribuição. Quando se enche o gazometro, está fechado o tubo de distribuição e aberto o tubo de rece-

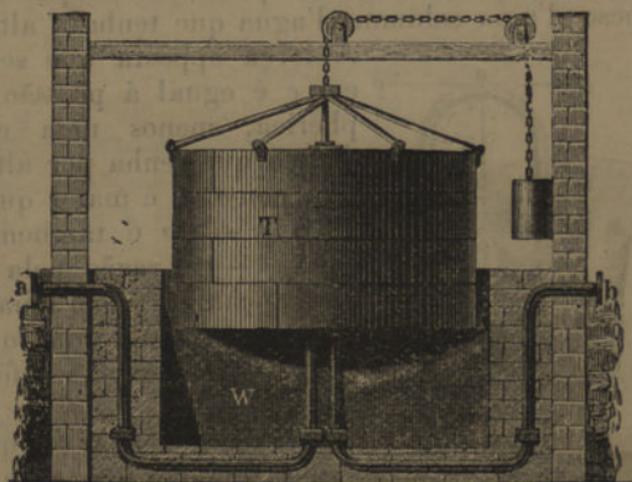


Fig. 62

ção, e o peso da campana é equilibrado por um contrapeso. Quando se quer distribuir o gaz, fecha-se o tubo de recepção e abre-se o de distribuição. O excesso de peso da campana sobre o contrapeso é então bastante para lançar o gaz para a canalisação.

172. SYPHÃO. — Chama-se assim a um tubo recurvado que serve para a trasvasação dos liquidos. Ha duas especies de siphão: isto é, o *siphão d'escoamento continuo* ou *siphão propriamente dito*, e o *siphão intermittente* ou *vaso de Tantalos*.

1.º *Siphão d'escoamento continuo*. Compõe-se, como se vê na fig. 63, d'um tubo *bac*, de ramos desiguales *ab*

e *ac*. Para se fazer uso d'este instrumento, começa-se pelo encher do liquido, mergulhando-se em seguida o ramo mais pequeno no liquido a trasvasar. O escoamento estabelece-se immediatamente do ramo pequeno para o grande, e continúa enquanto aquelle mergulhar no liquido.

Comprehende-se facilmente o mechanismo do syphão, tendo em attenção a differença de pressões que se exercem á superficie do liquido e no orificio de saída do ramo mais comprido do instrumento.

A força que se exerce em *h* e obriga o liquido a caminhar na direcção *hac* é igual á pressão atmospherica, menos o peso d'uma columna d'agua que tenha a altura *da*.

A força opposta que se exerce em *c* é igual á pressão atmospherica, menos uma columna d'agua que tenha por altura *ea*. Ora como *ea* é maior que *da*, a força *p - da* é tambem maior que *p - ea*, razão pela qual o liquido caminha com uma velocidade tanto maior quanto a differença entre *da* e *ea* fôr mais consideravel.

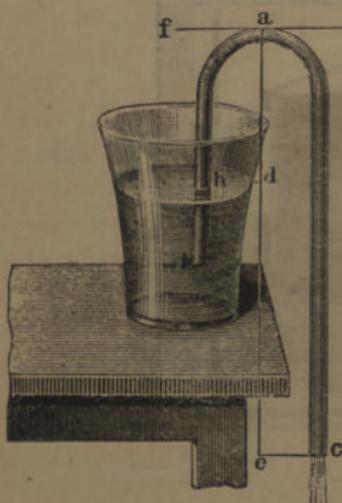


Fig. 63

Comprehende-se do que acabamos de dizer que, se o syphão estiver immovel, a velocidade do escoamento será cada vez menor, á medida que o nivel do liquido fôr abaixando, porque a differença entre as duas columnas cada vez será mais pequena. Para obter um escoamento continuado, dispõe-se o syphão de modo que se vá abaixando com o liquido, o que é facil d'executar dispondo-o n'um fluctuador de cortiça.

Tambem se comprehende que o syphão não póde funcionar no vacuo, nem quando a altura *da* fôr maior do que a altura da columna que equilibra a pressão atmospherica.

Quando o liquido a trasvasar exerce acção nociva sobre a bocca, emprega-se um syphão a que se adapta um

outro tubo *cd*, paralelo ao ramo grande, conforme representa a figura. Faz-se então a aspiração pelo orifício *d*, não deixando que o liquido chegue até aos labios. Outras vezes adapta-se a esta extremidade uma esphera que se aquece, o que faz dilatar o ar de modo a que a differença entre a tensão do ar contido dentro do syphão e a pressão do atmospherico determina a fluxão do liquido.

2.º *Syphão intermittente ou vaso de Tantalos*. Como se conclue facilmente do nome, é este um syphão em que o escoamento se faz por intervallos. O pequeno ramo *a* do instru-

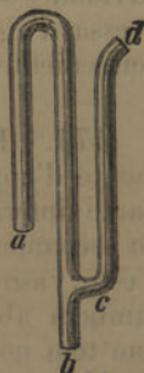


Fig. 64



Fig. 65

mento está collocado no vaso A enquanto que o ramo, maior, atravessa o fundo do vaso. Se fizermos chegar ao vaso uma corrente d'agua ou d'outro qualquer liquido, este logo que chegue á altura da curvatura do syphão esvasiasse. Ora se o escoamento pelo syphão fôr maior que a quantidade de liquido que chega ao vaso, o escoamento far-se-ha intermittentemente, visto que é necessario que o liquido chegue novamente á altura da curvatura do syphão para que recomece.

173. FONTES INTERMITTENTES NATURAES. — Observam-se, em diferentes regiões, fontes cujo escoamento é intermittente, e depois de terem durante muito tempo dado agua param repentinamente, tornando outra vez a fornecel-a passado algum tempo. Póde explicar-se esse facto comparando a fonte com um syphão intermittente natural, formado por



Fig. 66

cavidades subterraneas, que se encheria mais ou menos de pressa d'agua, e depois se esvasiaria por fendas naturaes convenientemente dispostas.

174. FONTE INTERMITTENTE. — Compõe-se este instrumento d'um vaso de vidro fechado com esmeril e tendo na parte inferior dous pequenos tubos capillares destinados ao escoamento do liquido. Vem abrir-se na parte superior d'este vaso um tubo de crystal cuja extremidade inferior, tambem aberta, chega até ao fundo d'um prato de cobre que tem no centro um pequeno orificio central por onde o liquido se pôde escoar para outro vaso collocado superiormente. Como o ar contido no vaso communica com o ar exterior por meio do tubo, a agua corre pelas duas aberturas lateraes. Mas, caindo a agua no prato, cujo orificio dá saída a menos liquido do que dão as duas aberturas lateraes, dentro em pouco tapa a abertura inferior do tubo grande. Então o escoamento ainda continúa por alguns instantes, mas, logo que o ar interior se rarefaz, o liquido deixa de correr. Durante este tempo, o orificio do prato vae continuando a deixar cair liquido no vaso inferior, de modo que a extremidade do tubo fica livre, e penetrando então outra vez o ar dentro do aparelho, recomeça o escoamento e assim successivamente.

175. FRASCO DE MARIOTTE. — Quando se escoar um liquido por um orificio qualquer, a sua velocidade d'escoamento vae diminuindo á medida que o nivel abaixa, conforme o que determina o theorema de Torricelli. A este inconveniente obvia o frasco de Mariotte que permite ao liquido escoar-se com uma velocidade constante. Compõe-se d'um grande frasco fechado por uma rolha que é atravessada por um tubo aberto em ambas as extremidades. A pouca distancia do fundo, abre-se o orificio d'escoamento *o*. Imaginemos primeiro o vaso e o tubo cheios d'agua até ao nivel *AB* e por cima d'essa agua uma camada d'ar que tenha uma pressão igual á da atmospheria. Se ao nivel da camada horisontal *cd*, em contacto com a extremidade *l* do tubo, estivesse praticada uma abertura *e* bastante estreita para que o liquido a podesse atravessar sem se dividir, ver-se-hia ao principio correr a agua, mas este escoamento terminaria logo que o nivel da agua no tubo fosse o mesmo da camada *cd*. Neste caso, a pressão do ar interior sommada ao peso d'uma columna d'agua comprehendida entre o nivel *AB* e a camada horisontal *cd* faria equilibrio á

pressão atmospherica que se exerce em *c* e *l*, e nenhuma causa determinaria a flexão do liquido.

Assentado este ponto, imaginemos fechado o orificio *c* e aberto o orificio *o*; immediatamente tornará a começar o escoamento e veremos entrarem pelo orificio *l* do tubo uma serie de bolhas d'ar que irão tomar no cimo do frasco o logar da agua á medida que ella se escoar pelo orificio *o*. Este escoamento será constante enquanto o nivel do liquido não chegar até ao orificio *l* do tubo. Effectivamente a pressão do ar que está no frasco, é igual á pressão atmospherica, que representaremos por *H*, menos a columna d'agua *Ac*. Esta pressão transmite-se á camada horizontal *of* que

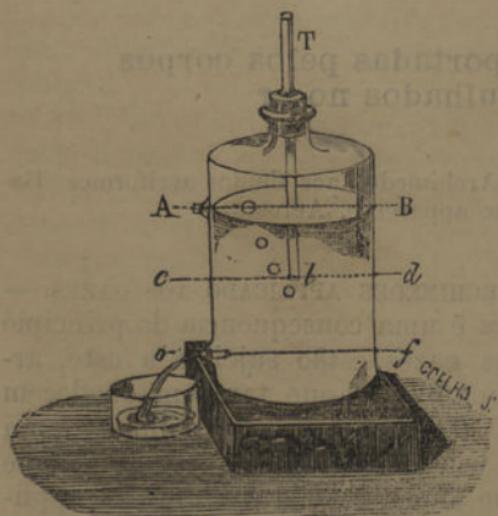


Fig. 67

supporta além d'esta o peso da columna d'agua *co*. Logo, a pressão que se exerce de dentro para fóra em *o* é  $H + Ao - Ac = H + co$ . Do mesmo modo se demonstraria que esta pressão se conserva sempre igual, seja qual fór a altura do nivel *AB*, entre os limites *A* e *c* e que, por consequencia, a velocidade d'escoamento será constante enquanto o nivel se não abaixar mais do que o orificio *l* do tubo. Só desde então a pressão interna, e consequentemente, a velocidade d'escoamento, começará a diminuir.

O vaso de Mariotte é empregado em certas industrias e nomeadamente na preparação do acido sulfurico.

## CAPITULO IV

Pressões supportadas pelos corpos  
mergulhados no ar

Applicações do principio d'Archimedes aos fluidos aeriformes. Baroscópio. Peso apparente. Aerostatos

176. PRINCIPIO D'ARCHIMEDES APPLICADO AOS GAZES. — O principio d'Archimedes é uma consequencia do principio de Pascal. Dizer que os gazes estão sujeitos a este, arrasta immediatamente o affirmar que tambem obedecem áquelle. Effectivamente, todo o corpo mergulhado n'um gaz perde uma parte do seu peso igual ao peso do volume que desloca; de sorte que o principio d'Archimedes applica-se não só aos liquidos mas a todos os fluidos.

Prova-se isto por meio d'um instrumento chamado *baroscópio* que não é mais do que um travessão de balança, de braços eguaes, a cujas extremidades suspendemos duas espheras, eguaes em peso, mas muito deseguaes em volume. No ar, estas duas espheras equilibram-se, mas se introduzirmos o instrumento no reservatorio da machina pneumática, verificamos que o equilibrio é rompido e que pesa mais a esphera maior. Equilibravam-se no ar, porque esta soffria uma maior diminuição do seu peso do que a mais pequena.

177. PESO DOS CORPOS. — Resulta do que acabamos de vêr que todas as vezes que tratamos de avaliar o peso d'um corpo, somos induzidos em erro, em virtude da diminuição de peso que soffrem tanto os objectos de que queremos conhecer o peso, como os que servem de medida. Ha pois um *peso real* e um *peso apparente*, sendo o apparente menor que o peso real.

Do mesmo modo que nos liquidos, podem, quando um corpo se acha mergulhado no ar, dar-se tres casos:

1.º Se o corpo é mais pesado do que o ar em equal-

dade de volume, cõe com uma força igual ao excesso do seu peso sobre o do volume d'ar que desloca;

2.º Se o corpo, debaixo do mesmo volume, tem um peso igual ao do ar, fica suspenso em equilibrio na atmosphera;

3.º Se o corpo, em egualdade de volume, é menos pesado do que o ar, eleva-se na atmosphera, com uma força igual á differença do seu peso e o do volume d'ar que desloca. E' essa a causa por que sobem o fumo, o vapor d'agua e os aerostatos.



Fig. 68

178. AEROSTATOS. — Os aerostatos têm por fim o transporte do homem ás regiões do espaço. Estes apparatus

compõem-se d'um sacco de tela impermeavel que nós enchemos d'um gaz muito leve, tal como o hydrogenio, o gaz d'illuminação ou uma mistura dos dois. Este sacco é envolvido por uma rede de cordas a que se suspende a *barquinha*, isto é, uma especie de cesta, convenientemente lastrada, e destinada a receber os aeronautas. O lastro faz-se com pequenos saccos de areia. Como as camadas superiores da atmosphera são muito menos densas do que as inferiores, acontece que o aerostato chega a uma certa altura do espaço em que deixa de subir; allivia-se a barquinha dos saccos de areia e de novo o aerostato prosegue na sua marcha.

Quando se quer descer, por meio d'uma valvula que existe a abturar uma abertura superior do sacco, deixa-se entrar uma certa quantidade d'ar no balão, que então se torna mais pesado e por isso desce.

E' preciso que o balão não esteja completamente cheio, aliás, com a diminuição de pressão, a tela romper-se-hia, o que acarretaria seguramente a morte dos aeronautas.

A invenção dos aerostatos pertence ao padre portuguez Bartholomeu Lourenço de Gusmão que fez a primeira tentativa em Lisboa em 5 d'agosto de 1709.

179. PARA-QUEDAS. — O para-quedas é um instrumento que permite ao aeronauta abandonar o seu balão, diminuindo a velocidade da queda. Compõe-se d'uma vasta tela circular, de perto de 5 metros de diametro, que por effeito da resistencia do ar se desdobra em fórma de guarda-chuva e cêe lentamente. A toda a roda estão fixas cordas que sustentam a barquinha em que se colloca o aeronauta. No cêntro do para-quedas ha uma abertura circular por onde se escapa o ar comprimido por effeito da descida. Foi J. Garnerin o primeiro aeronauta que desceu em para-quedas. Hoje considera-se este apparelho mais perigoso do que util, visto que as suas manobras são menos seguras do que as de descida do balão.

## CAPITULO V

**Equilibrio dos gazes cujas partes estão  
a diferentes temperaturas**

Correntes d'ar produzidas pela differença de densidade. Tiragem das chaminés. Ventilação

180. GAZES CUJA MASSA NÃO ESTA' A' MESMA TEMPERATURA. — Dentro em breve veremos que um dos effectos do calor sobre os corpos é a dilatação, e que de todos elles os que se dilatam com mais regularidade e uniformidade são os gazes. D'aqui resulta que, quanto maior fôr a temperatura, menor será a densidade. Tendo em vista o que dizemos, se considerarmos uma massa de gaz que não esteja toda á mesma temperatura, as differentes camadas hão-de sobrepôr-se por ordem de densidades, isto é, por ordem de temperaturas. As mais quentes ficarão superiormente, e as mais frias inferiormente. E' sobre este principio que repousa a tiragem das chaminés.

181. TIRAGEM DAS CHAMINÉS. — A tiragem das chaminés resulta d'uma differença de densidade e pressão entre o ar exterior e o ar quente contido na chaminé. Este é mais leve do que aquelle e tenderá a elevar-se, sendo substituido pelo ar frio que, por mais denso, se vem pôr em contacto com o fogão, até que, aquecendo, se reproduzem os mesmos phenomenos. A tiragem será, portanto, tanto mais ampla quanto maior fôr a differença de temperatura entre o ar exterior e o contido na chaminé, e quanto mais alta esta fôr.

E' necessario todavia fazer algumas restricções. Se as dimensões que dermos á chaminé forem muito consideraveis, a vantagem que ganhariamos tornando maior a differença de temperatura, é perdida em face d'um maior inconveniente. O attrito do ar e o grande percurso que tinha a fazer arrefecel-o-iam e a tiragem seria imperfeita. E'

preciso ainda que as chaminés tenham uma largura sufficiente para que a columna d'ar e fumo, apezar d'encher o canal, possa mover-se livremente.

Uma outra condição que facilita a tiragem é a abertura do fogão. Vê-se claramente que, quanto menor fôr a abertura, maior será a velocidade. Tal a razão por que se collocam diante das chaminés obturadores fixos ou moveis.

Os fogões são um processo d'aquecimento em que está calculado que apenas se aproveita a decima parte do calor produzido pela combustão. Teem, porém, vantagens d'ordem hygienica que vamos dar a conhecer.

182. VENTILAÇÃO. — A ventilação tem em vista a renovação do ar nas habitações. Além da ventilação natural que se dá logo que o ar não esteja á mesma temperatura em todos os aposentos, ha dois systemas de arejamento artificial, o d'impulsão e o d'aspiração. No systema d'impulsão aproveita-se, por meio d'apparelhos especiaes, a força do vento que entra pelas aberturas da habitação que se deseja beneficiar. No systema d'aspiração procura determinar-se a saída d'uma certa quantidade d'ar viciado, substituindo-a pelo ar exterior.

Facilmente se realisa este objectivo com os fogões que determinam uma renovação incessante do ar que se introduz pelas fendas das portas e das janellas, pelos buracos das fechaduras, etc. Quando haja duas chaminés, e se accenda lume n'uma d'ellas, estabelece-se pela outra uma corrente d'ar puro, vindo do exterior. E' sobre este facto que repousa a ventilação das minas que permitem o emprego d'este meio.

# LIVRO QUINTO

## ACUSTICA

### CAPITULO I

#### Noções geraes

Produção do som. Propagação do som através dos corpos. Modo de transmissão e velocidade do som no ar, na agua e nos solidos. Reflexão do som: echo e resonancia.

183. SOM — SUA PRODUÇÃO — ACUSTICA. — Se tomarmos uma corda de rebeca e a ferirmos, imprimimos-lhe com certo movimento d'oscillação a que chamamos *vibratorio*. Se a corda estiver tensa e a pinçarmos assim, o movimento vibratorio produzir-se-ha, mas ao mesmo tempo o nosso ouvido perceberá uma sensação a que se convencionou chamar *som*. Definiremos *som* — *a impressão particular recebida n'um orgão especial* — o ouvido, e *produzida por um movimento vibratorio dos corpos*.

Esta definição, todavia, não é perfeitamente exacta, porque é necessario que o movimento vibratorio seja bastante rapido para que se produza o som. Se fixarmos n'um torno uma lamina delgada de aço, e a fizermos vibrar, desviando-a rapidamente da sua posição de equilibrio, esta lamina executará uma serie de vibrações bastante lentas para que a vista as possa seguir, e mesmo contar. Todavia, o nosso ouvido não accusará sensação alguma. Se, porém, formos encurtando a lamina d'aço, fazendo-a vibrar, chegará uma occasião em que começaremos a ouvir um som, primeiro muito grave, mas que cada vez se tornará mais agudo á medida que successivamente formos encurtando a lamina. A vista, todavia, já não poderá distinguir o numero das vibrações, tanto ellas são

rapidas. Preciso pois será introduzir esta condição na definição. *Som é, pois, uma impressão particular, recebida pelo ouvido e produzida pelo rapido movimento vibratorio dos corpos.* Chama-se ACUSTICA a parte da physica que se occupa do som.

184. CONDIÇÕES PARA A PRODUÇÃO DO SOM. — Pela singela experiencia acima descripta, comprehenderam que para que haja som é necessario que haja um *corpo em vibração.*

Se quizerem convencer-se mais d'esta verdade, tomem uma campanula de vidro e percutam-n'a com um martello. Se aproximarem d'ella uma pequena esphera, suspensa d'um fio, resaltarão. Se aproximarem um pequeno estylete, reconhecerão tambem as vibrações, porque se ouve um ruido resultante do choque do vidro em vibração contra elle. Se em um e outro caso, tocarem a campanula, deixará de ouvir-se o som, porque se extingue o movimento vibratorio.

Em virtude d'estas experiencias ficam sabendo que:

1.<sup>a</sup> condição: *Para que haja som, é necessario um corpo em vibração.*

Não é isso bastante. Se introduzirem um timbre metallico que seja percutido continuamente por um martello movido por um systema de relojoaria no recipiente da machina pneumatica, observarão, depois de rarefazerem o ar, que o som não lhes chega aos ouvidos, apesar do timbre continuar a ser percutido pelo martello. Estes factos provam-nos que o ar transmite o som, e que o vacuo não é susceptivel de o conduzir.

Se tomarmos um balão de vidro que tenha no seu interior uma campainha, suspensa d'um cordão pouco elastico, e o agitarmos no ar, ouviremos o som que ella produz. Se adaptarmos o balão á machina pneumatica e fizermos dentro d'ella o vacuo, nada ouviremos; mas, se depois o enchermos de diversos gazes, observaremos que o som se ouve da mesma maneira que no ar ou até melhor. Convencemo-nos assim que o ar não é o unico vehiculo do som e que não basta um corpo em vibração mas que:

2.<sup>a</sup> condição: Para que haja som é necessario que o movimento vibratorio possa ser transmittido ao ouvido por intermedio d'um meio elastico.

185. MODO DE PROPAGAÇÃO DO SOM.—Tomemos um tubo cylindrico e indefinido XY, cheio d'ar e a uma temperatura e pressão constantes (fig. 69), e suppunhamos no seu interior um embolo E podendo oscillar rapidamente de E para E'. Quando o embolo passa de E para E' leva diante de si a camada

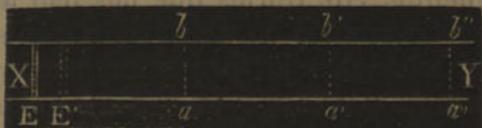


Fig. 69

d'ar que está immediatamente em contacto com elle, esta arrasta a seguinte e assim successivamente. Como, porém, esta comunicação do movimento não póde ser instantanea em todo o comprimento do tubo, segue-se que, quando o embolo tiver chegado ao termo da sua carreira E', o movimento não terá ainda sido communicado além da camada  $ab$ . Quer dizer, o ar foi na realidade comprimido, porque o que occupava o espaço  $Eab$  occupa agora o circumscripto por  $E'ab$ , e a propagação do movimento faz-se successivamente por este modo. A columna d'ar  $E'ab$  a que o movimento se comunica é o que se chama uma *meia onda condensada*: está irá communicar o movimento a uma segunda, esta a uma terceira e assim por diante.

Por outro lado, se o embolo voltar sobre si e tomar a posição E, dar-se-ha na primeira camada d'ar  $E'ab$  uma rarefacção de comprimento igual á da condensação precedente, isto é, uma *meia onda dilatada* que fará entrar em movimento successivamente as outras camadas. Cada oscillação, ou vibração completa do embolo, dará logar a duas meias ondas, uma *condensada* e outra *dilatada*.

Ora o som propaga-se no ar, ou em um outro meio elastico, qualquer que elle seja, por meio d'uma serie de ondas, composta cada uma d'uma meia onda condensada e d'outra meia onda dilatada. Chama-se *onda sonora* a extensão d'ar modificada por uma vibração, ou o espaço que

o som percorre durante o tempo d'uma vibração. Para obter este comprimento basta dividir a velocidade do som, isto é, o espaço que o som percorre no ar, na unidade de tempo, pelo numero de vibrações completas executadas pelo corpo que produz o som.

O abalo produzido n'uma massa liquida em repouso pela queda d'um corpo qualquer produz uma serie de movimentos vibratorios que nos dão ideia do modo como o som se transmite no ar livre, o que se poderia deduzir dos conhecimentos já fornecidos, suppondo que do corpo em vibração partiam cylindros em todas as direcções. Ha apenas a differença que o som se transmite por *ondas esphericas* concentricas e não circulares, como as que determinamos nos liquidos.

Se lançarmos muitas pedras na mesma superficie liquida, cada ponto tocado se torna o centro d'uma serie de círculos que se crusam sem alteração do movimento. O mesmo se dá com as *ondas sonoras* que se crusam sem se destruirem. E' por esse motivo que podemos distinguir distinctamente os sons produzidos simultaneamente por uma banda de musica.

186. TRANSMISSÃO DO SOM. — A experiencia que fizemos para estabelecer a segunda condição de produção do som provou-nos exuberantemente que todos os gazes transmittem o movimento vibratorio dos corpos. Está tambem demonstrado que, em egualdade de pressão, o som se transmite melhor no meio mais denso. Por esse motivo, n'uma atmosphaera de hydrogenio, que é o gaz mais leve que se conhece, o som transmite-se mal.

Se tocarmos uma campainha debaixo d'agua, ou no seio d'outro qualquer liquido, o som chega ao nosso ouvido, o que equivale a dizer que os liquidos tambem transmittem o som.

Os solidos elasticos são bons conductores do som. Se applicarmos o ouvido sobre o solo, podemos reconhecer o estrepito d'um esquadrão de cavallaria, ainda que esteja a uma grande distancia. Da mesma maneira, applicando-o aos rails d'uma via ferrea, é possível saber que uma loco-

motiva se dirige para esse ponto. Pela mesma razão, podem duas pessoas conversar em voz baixa a grandes distancias, tendo a extremos d'uma varinha applicados entre os dentes. Os solidos são, pois, em geral, *bons conductores* do som.

187. VELOCIDADE DO SOM.—Quando estudarem a parte da physica que se occupa da luz, saberão então que esta tem uma velocidade tão notavel que as maiores distancias são vencidas por ella n'um espaço de tempo inapreciavel.

Sabendo isto, se assistirmos á explosão d'uma peça de artilheria e medirmos com um chronometro o intervallo de tempo que medear entre a apparição da luz e o ruido da detonação, teremos assim um meio facil de saber a velocidade do som. Bastará dividir o espaço que separar o observador do ponto em que se deu o tiro pelo tempo que medear entre a sensação do som e da luz para resolver o problema. Estas experiencias foram feitas em França entre Villejuif e Monthery: a distancia que separa estas duas estações é de 18.612,452 metros e a duração media de propagação do som d'um a outro lado foi de 54,6. Dividindo a distancia pelo numero de segundos empregados em percorrel-a, encontrou-se para expressão da velocidade do som no ar, á temperatura de 16° e á pressão de 0,756, 340<sup>m</sup>,89. A velocidade diminue com a temperatura ambiente.

Nos liquidos, a velocidade é maior ainda do que no ar. Fizeram-se experiencias n'este sentido no lago de Genebra. Os experimentadores, Colladon e Sturm, haviam suspendido d'um barco um sino que percutiam com um martello, cujo movimento accendia o fogo n'uma porção de polvora. Na margem contava-se o tempo decorrido entre a apparição da luz e a recepção do som por meio d'uma grande corneta acustica collocada no interior do liquido. Achou-se que, á temperatura de 8°,1, a velocidade era 1.435 metros por segundo.

Nos solidos esta velocidade é ainda maior: segundo as experiencias de Biot, a velocidade no ferro fundido é dez

vezes e meia superior á do ar ; é doze vezes maior no cobre, dezeseis no ferro e dezoito na madeira de pinho.

A velocidade de som nos outros solidos foi calculada por Chladin, Savart, Masson e Wertheim que a deduziram das vibrações longitudinaes ou transversaes d'estes corpos ou do seu coefferente d'elasticidade. Chladin chegou á conclusão de que, nas differentes especies de madeira, a velocidade é dez a dezeseis vezes maior que no ar. Nos metaes varia de quatro a dezeseis vezes a velocidade no ar.

188. REFLEXÃO DO SOM. — Se as ondas sonoras no seu movimento encontram um obstaculo qualquer, mudam de direcção, reflectem-se exactamente como faz uma bola elastica quando vae d'encontro a um muro ; veremos que o mesmo acontece com a luz, com o calor, etc. Demonstra-se experimentalmente que n'estas condições o *angulo de reflexão é igual ao angulo de incidencia e situado n'um mesmo plano perpendicular á superficie reflectora*. Assim admittamos que o som propagando-se, encontra um plano *ab* ; o

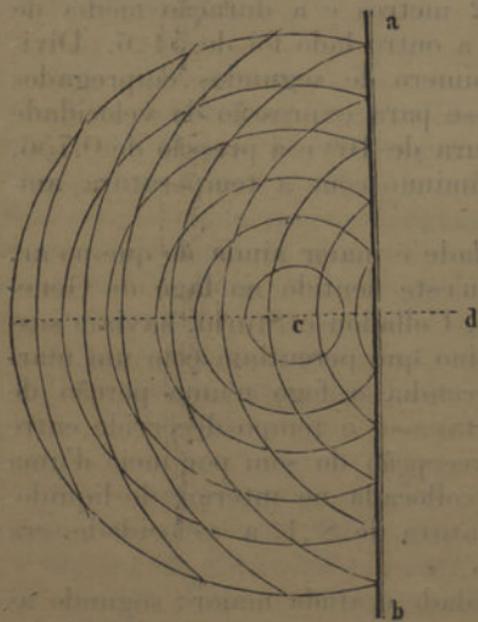


Fig. 70

som reffectir-se-ha, fazendo a sua direcção com a perpendicular a este plano um angulo de reflexão igual ao angulo de incidencia, de modo que um observador collocado para áquem do obstaculo, ouvirá, além do som partido do ponto *c*, um outro que lhe parecerá provir do *d* symmetricamente collocado.

Chama-se *plano de incidencia* ao que se oppõe á propagação do som. Chama-se *angulo de incidencia* o que faz a direcção do som (*raio sonoro*) com a normal levantada no ponto do plano d'inciden-

cia em que toca. Chama-se *angulo de reflexão* aquelle que forma com a mesma normal a direcção do som, depois de reflectido.

189. ECHOS: RESONANCIA. — Chama-se *echo* a repetição d'um som ouvido directamente. Depende este phenomeno da reflexão do som. Os echos distinguem-se em *monosyllabicos* e *pollysyllabicos*, conforme repetem uma ou mais syllabas, o que está dependente da distancia a que fica o plano d'incidencia.

A experiencia prova que, para que haja um echo, é preciso que o som directo e o som reflectido sejam separados por um intervallo de tempo pelo menos de  $\frac{1}{10}$  de segundo, d'onde se segue a distancia do corpo sonoro á superficie reflectora, deve ser pelo menos de 47 metros, para dar um echo monosyllabico, 34 para um echo bisyllabico, 51 para um trisyllabico e assim successivamente.

Os echos podem ser tambem *simples* ou *multiplos*. Os primeiros reproduzem uma só vez o som primitivo, ao passo que os segundos repetem-nos duas ou mais. Os echos multiplos são formados em geral por dois obstaculos oppostos, dois muros por exemplo, que reflectem o som um para o outro. São muito communs nas montanhas. Existe no parque de Woodstadt na Inglaterra um echo d'esta natureza que chega a repetir vinte vezes o mesmo som, e no Castello de Simonette na Italia um outro que repete o estrondo d'um tiro de pistola mais de quarenta vezes. O som, reflectindo-se em superficies curvas, forma focos onde se vêm concentrar as ondas sonoras. E' por este motivo que em algumas salas d'abobada duas pessoas affastadas, mas collocadas cada uma em seu foco de reflexão, podem conversar em voz baixa. Existe uma sala d'esta natureza no Conservatorio das artes e officios em Pariz.

Todas as vezes que a distancia do logar em que se emite o som é menos que 17 metros, o som reflectido sobrepõe-se mais ou menos ao som primitivo, e o observador verifica que o som lhe chega ao ouvido reforçado e prou-

gado. E' o que se chama *resonancia*. E' favoravel a resonancia, quando os sons reflectidos reforçam os directos, sem lhe alterarem a pureza; é desfavoravel quando ao contrario os modificam, tornando-os confusos.

190. INTERFERENCIA DO SOM. — Todas as vezes que se dá o encontro de duas meias ondas sonoras de igual valor, mas d'estado differente, isto é, uma *dilatada* e outra *condensada*, os dois sons que se propagavam por meio d'aquellas ondas neutralisam-se completamente. E' por esse motivo que as vibrações de dois instrumentos collocados junto um do outro, e dando as mesmas notas se podem prejudicar um ao outro e annullarem-se até.

## CAPITULO II

### Qualidades do som

Ruido e som musical. Qualidades do som: intensidade, altura e timbre. Relação da intensidade com a amplitude das vibrações. Causas que alteram a intensidade. Tubos acusticos; porta-voz, corneta acustica. Relação da altura com o numero de vibrações. Avaliação do numero de vibrações que produzem um dado som, pela sereia e pelo processo graphico. Limite dos sons perceptíveis.

191. SOM E RUÍDO. — Distingue-se o som propriamente dito ou *som musical* do simples *ruido*. Comquanto esta distincção não seja facil, póde dizer-se que o *som musical* é d'uma sensação continua cujo valor musical se póde apreciar, ao passo que o *ruido* é uma sensação instantanea ou uma mistura confusa de sons discordantes.

192. QUALIDADES DO SOM. — Ha a distinguir no som tres qualidades: 1.º a altura ou tom; 2.º a intensidade; 3.º o timbre.

1.º *Altura*. Chama-se assim a posição que o som occupa na escala musical. Depende do numero de vibrações

executadas pelo corpo sonoro. Conforme o seu numero, assim os sons se denominam *graves* ou *agudos*; os primeiros produzem-se quando o numero é pequeno, os segundos no caso contrario.

2.º *Intensidade do som*. Esta propriedade do som consiste na sua perceptibilidade a maior ou menor distancia. Depende da amplitude das vibrações do corpo sonoro, e é por isso que a intensidade do som é maxima na occasião em que se produz, e vae gradualmente diminuindo até se extinguir.

3.º O *timbre* é uma qualidade particular do som, em virtude da qual é possível distinguir dois sons da mesma altura e intensidade. E' em razão d'esta qualidade que nós distinguimos os sons produzidos por dois instrumentos differentes. Helmholtz demonstrou que as differenças de timbre dos instrumentos e da voz humana são devidas a sons harmonicos produzidos pelas vibrações das paredes d'esses instrumentos ou pelas da larynge e que, sommando-se ao som primitivo, o modificam.

193. CAUSAS QUE FAZEM VARIAR A INTENSIDADE DO SOM. — A intensidade do som varia: *a)* com a distancia do corpo sonoro; *b)* com a amplitude das vibrações; *c)* com a densidade e agitação do ar e *d)* com a visinhança d'um corpo sonoro.

*a) Distancia do corpo sonoro*. Demonstra-se pelo calculo que a intensidade do som n'um meio indefinido é *inversamente proporcional ao quadrado das distancias*. Não acontece, porém, assim n'um tubo cylindrico em que o som se pôde propagar a grandes distancias sem diminuir sensivelmente de intensidade.

Pôde-se até certo ponto demonstrar esta lei com campainhas que produzam sons da mesma intensidade quando feridas por martellos que caíam da mesma altura. Se se collocarem quatro d'estas campainhas á distancia de 20 metros e una só á de 10 metros, a intensidade do som produzido por esta será egual ás das outras quatro, o que quer dizer que, para uma distancia dupla, a intensidade é quatro vezes menor.

b) *Amplitude das vibrações.* Demonstra-se facilmente a relação que existe entre a intensidade do som e a amplitude das vibrações, fazendo vibrar cordas metallicas bastante compridas para que se possam seguir com a vista as suas oscillações; verifica-se que o som enfraquece, á medida que a amplitude das vibrações vae diminuindo.

c) *Densidade e agitação no ar.* Já vimos, quando tratavamos de saber as condições de produção do som, que, á medida que rarefaziamos o ar na machina pneumatica, o som ia diminuindo de intensidade, o que explica a fraqueza relativa dos sons nas altas regiões da atmosphera.

No hydrogenio que é 14 vezes menos denso do que o ar, a intensidade do som é muito fraca, ainda quando a pressão seja a mesma. No acido carbonico, que é mais denso (1,529) os sons distinguem-se muito melhor.

Tem tambem grande influencia na intensidade do som a direcção dos ventos. Todos sabem que se ouve muito melhor um som na direcção do vento que no sentido contrario.

d) *Visinhança d'um corpo sonoro.* O som é sempre reforçado pela visinhança d'um corpo sonoro. Uma corda estendida d'uma caixa de paredes delgadas e elasticas dá um som muito mais intenso do que se vibrasse isoladamente. E' por tal motivo que se empregam as caixas d'ar nos pianos, rebecas, violas, etc. Pela mesma razão se constróem os coretos para bandas sobre um tablado de madeira.

194. INFLUENCIÁ DOS TUBOS SOBRE A INTENSIDADE DO SOM. — Todas as vezes que desejamos reforçar um som, dispomos em torno do corpo sonoro objectos que, vibrando conjunctamente com elle, augmentam a sua intensidade. E' assim que, para augmentar a intensidade do som produzido pelas cordas de tripa, as dispomos sobre uma caixa de madeira, de paredes extremamente delgadas, como acontece nas violas, nas rebecas, etc.

Mas ha mais, nos tubos o som não se transmite na razão inversa do quadrado da distancia, sobretudo se elles forem rectos e cylindricos. As ondas sonoras podem ser propagadas a distancia sem modificação sensivel na sua

amplitude. E' o que foi demonstrado por Biot que reconheceu que n'um tubo de 951 metros da canalisação d'aguas de Paris a voz perdia tão pouco da sua intensidade que se podia conversar em voz baixa d'uma extremidade para outra. O enfraquecimento torna-se, porém, sensível logo que as paredes sejam anfractuosas.

E' sobre esta propriedade que repousa a construcção dos *speaking-tubes* que são tubos de cautchouc que fazem communicar entre si os differentes andares d'um edificio. Fallando-se n'uma extremidade, a voz distingue-se facilmente na outra. Sobre o reforço e facil transmissão do som pelos tubos fundam-se dois instrumentos, o *porta-voz* e a *corneta acustica*.

195. PORTA-VOZ. — O porta-voz é, como o indica o nome, um instrumento destinado a transportar a voz a distancia. Compõe-se d'um tubo de folha de Flandres ou de latão, ligeiramente conico, terminado n'uma extremidade por um bocal e na outra por uma larga abertura chamada *pavilhão*. Applicando os labios sobre o bocal e emitindo sons, a columna d'ar contida dentro do instrumento vibra em unisono, reforçando-os consideravelmente.

O porta-voz usado na marinha franceza tem dois metros de comprido. Com um bom porta voz é possível fazer ouvir sons a 5 ou 6 kilometros, principalmente se forem inarticulados.

196. CORNETA ACUSTICA. — Este instrumento é uma especie de busina, cuja extremidade mais delgada é recurvada, de modo a poder ser introduzida no ouvido. Explica-se o effeito d'este apparelho pelo augmento d'intensidade do som, propagando-se a camadas d'ar successivamente menores. A *corneta acustica* é extremamente usada pelos individuos duros d'ouvido.

197. RELAÇÃO DA ALTURA DOS SONS COM O NUMERO DE VIBRAÇÕES. — A altura do som depende do numero de vibrações executadas n'um tempo determinado. Quanto maior

fôr esse numero, tanto mais o som será *alto* ou *agudo*, quanto mais fôr pequeno, tanto mais o som será *baixo* ou *grave*. Ha diferentes modos de demonstrar este principio; nós só nos occuparemos da *sereia* e do *processo graphico*.

198. SEREIA.— Este instrumento, inventado por Cagniard de Latour, deve o seu nome á propriedade que possui de poder emittir sons no seio d'uma massa líquida. Compõe-se d'uma caixa cylindrica B, de 10 centimetros de diametro e de perto de 3 centimetros d'altura. Esta caixa tem superiormente um prato fixo C e termina inferiormente por uma abertura que comunica com um tubo R. O prato fixo tem buracos circulares equidistantes e inclinados. Sobre este prato vem applicar-se exactamente, sem exercer sobre elle sensível atrito, um disco movel F, tendo tambem buracos circulares obliquos, correspondentes aos do prato fixo, mais inclinados em sentido contrario, de modo que todos os buracos estão abertos ou fechados ao mesmo tempo, quando os orificios coincidem ou não. O disco movel F está fixo a um eixo de rotação que termina superiormente n'um parafuso sem fim que faz girar uma roda cuja circumferencia tem 100 dentes, e cujo eixo tem um pequeno gancho que a cada volta faz avançar um dente a uma outra roda independente. Os eixos d'estas rodas tem ponteiros que se movem em dois quadrantes divididos.

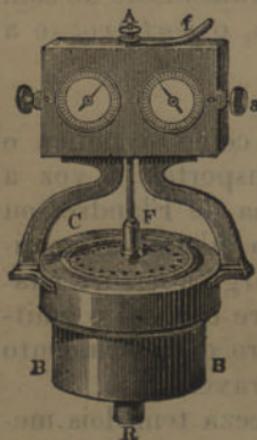


Fig. 71

Para se fazer funcionar o instrumento, colloca-se sobre um follé. O ar, atravessando a caixa e os buracos do prato fixo, vem incidir obliquamente sobre os orificios do disco movel, communicando-lhe um movimento de rotação. Os buracos successivamente ficam em correspondencia e deixam de o estar e d'aquí resulta uma série de vibrações da parte do ar encerrado que acabam por produzir um som quando o movimento do disco é bastante rapido. Se supozermos que ha um só buraco no prato fixo e vinte no disco movel, succederá que a passagem do ar será vinte vezes livre e vinte vezes interrompida durante uma revolução do disco, e por conseguinte terá 20 vibrações completas em cada revolução. Sendo o disco atravessado por tantos buracos quantos os do prato, cada buraco produzirá o mesmo effeito que um só, com a differença de que o som será vinte vezes reforçado.

Para saber o numero de vibrações que corresponde a um dado som, basta calcular o numero de voltas que faz o disco durante um segundo e multiplicar esse numero por 20. Ora sabendo nós que a roda dentada collocada superiormente avança um dente por cada revolução do disco, a cada volta completa d'essa roda correspondem

100 revoluções. Cada 100 revoluções fazem avançar um dente á roda independente, e assim a leitura das indicações dos quadrantes permittirá saber o numero total de voltas do disco, sabendo que um marca as vibrações e o outro as centenas de vibrações.

Todos os gazes e liquidos em que funciona a sereia fazem-lhe produzir os mesmos sons. Prova isto que a *altura do som é independente dos corpos que o produzem*, dependendo unicamente do numero de vibrações n'um tempo determinado.

199. PROCESSO GRAPHICO. — Consiste este processo no emprego d'um cylindro de madeira T, movel em torno d'um eixo horizontal e cuja superficie está coberta d'uma delgada camada de negro de fumo. Nas experiencias de physica este eixo A tem uma manivella e um passo de parafuso guiado por uma porca d, por meio dos quaes se póde imprimir ao cylindro um movimento helicoidal. Quando sejam precisas medidas mais exactas, a manivella é substituida por um machinismo de relojoaria que obriga o cylindro a dar uma volta por segundo.

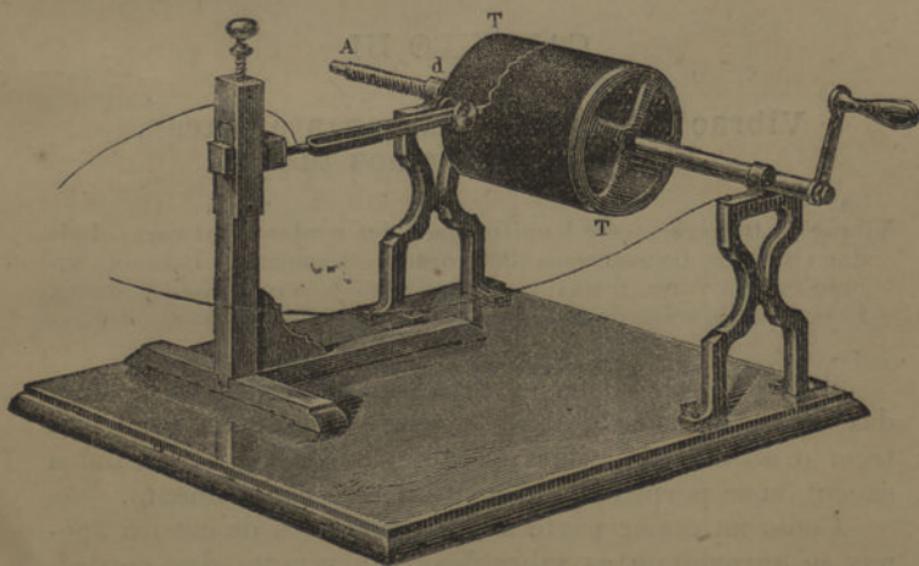


Fig. 72

Defronte d'este cylindro está uma lamina d'aço, presa solidamente por meio d'um torno, e á qual se dá o comprimento necessario para que produza exactamente o som cujo numero de vibrações se deseja apreciar. Fixa-se á extremidade d'essa lamina uma ponta muito fina que vem applicar-se levemente sobre o cylindro, e o movimento vibratorio que lhe é transmittido pela lamina fal-a traçar

no cylindro uma linha dentada. Como cada dente corresponde a uma vibração, basta contar os que existem n'uma revolução completa do cylindro para se saber o numero que corresponde a um segundo.

200. LIMITE DOS SONS PERCEPTIVEIS. — Segundo Savart, os sons mais graves que o ouvido humano póde perceber são os correspondentes a 7 ou 8 vibrações duplas, e os mais agudos os produzidos por 24:000 vibrações por segundo. Despretz estudou o mesmo assumpto por outro processo e encontrou para os sons graves o limite de 16 vibrações e para os agudos o de 36:850. Estes resultados são simplesmente approximativos, porque a finura do ouvido é muito variavel d'individuo para individuo.

### CAPITULO III

#### Vibrações das cordas, varas e placas. Vibrações do ar nos tubos

Vibrações transversaes e longitudinaes das cordas e das varas. Leis das vibrações transversaes das cordas. Sonometro. Leis das vibrações das varas e das placas. Tubos sonoros. Embocaduras. Leis das vibrações do ar em tubos abertos e fechados.

201. VIBRAÇÕES DAS CORDAS. — Distinguem-se nas cordas vibrações longitudinaes e transversaes. As primeiras teem o sentido do comprimento das cordas, as segundas executam-se perpendicularmente a esse comprimento.

Como na maior parte dos instrumentos de musica apenas se aproveitam as vibrações transversaes das cordas, só nos occuparemos d'ellas.

202. LEIS DAS VIBRAÇÕES TRANSVERSAES DAS CORDAS: SONOMETRO. — As leis das vibrações transversaes das cordas foram descobertas pelo calculo por Lagrange, mas é possivel procural-as experimentalmente por meio d'um instrumento chamado *sonometro*,

Compõe-se este d'uma caixa rectangular de madeira, de proximo d'um metro de comprimento e quinze centímetros de largura. Esta caixa (fig. 73), de paredes extrema-

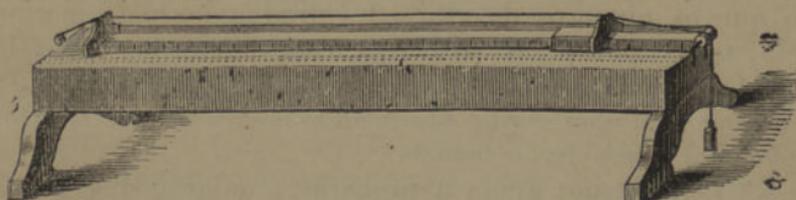


Fig. 73

mente delgadas e elasticas, tem por fim reforçar o som como na rebeca ou na guitarra. Nas suas duas extremidades estão dois cavalletes fixos, sobre os quaes está estendida horizontalmente uma corda, fixa n'uma extremidade e ligada a um peso na outra, depois de reflectida n'uma roldana. Um terceiro cavallette move-se sobre uma regua graduada e serve para variar á vontade o comprimento da corda, cujas vibrações se querem estudar.

*1.<sup>a</sup> Lei.* Se quizermos saber a relação que existe entre o numero de vibrações executadas pelas cordas e o seu comprimento, disporemos o cavallette de maneira a que o comprimento da corda varie successivamente como  $1 : \frac{1}{2} : \frac{1}{3}$ . Se por um processo qualquer podermos contar as vibrações, reconheceremos que o seu numero augmentou como  $1 : 2 : 3$ , etc. D'aqui se conclue que: *os numeros de vibrações executadas por uma corda n'um tempo dado estão na razão inversa do seu comprimento.* Sabendo nós que a um maior numero de vibrações corresponde um som mais agudo, podemos contentar-nos, para estabelecer esta lei, com verificar que o som é tanto mais agudo quanto menor é o comprimento da corda.

*2.<sup>a</sup> Lei.* Se quizermos saber a relação que existe entre o diametro das cordas e o numero de vibrações, tomaremos duas cordas de diametros duplos um do outro, e observaremos que a mais delgada dará um som mais agudo que a outra, isto é, que: *os numeros de vibrações das cordas estão na razão inversa dos seus diametros.*

3.<sup>a</sup> Lei. Procurando a relação existente entre o numero de vibrações e o estado de tensão da corda, suspenderemos á extremidade livre da corda do sonometro pesos que estejam entre si como 1, 4, 9, 16, etc., e observaremos que os numeros de vibrações produzidas pela mesma corda, tensa por pesos variaveis, estão entre si, como 1, 2, 3, 4. D'onde o estabelecimento da 3.<sup>a</sup> lei: *Os numeros de vibrações d'uma corda são proporcionaes ás raizes quadradas dos pesos que a tendem.*

4.<sup>a</sup> Lei. Temos ainda a procurar a relação que existe entre a densidade das cordas e o numero de vibrações. Tomaremos para isso duas cordas, uma de tripa, cuja densidade podemos representar por 1, e outra de cobre cuja densidade será 9. Se representarmos por 1 o numero de vibrações da corda de cobre, o da de tripa será 3, isto é, *os numeros de vibrações das cordas, feitos de materias differentes, são inversamente proporcionaes ás raizes quadradas das suas densidades.*

203. NÓS DE VIBRAÇÃO. — Se estendermos uma corda no sonometro e fizermos vibrar uma quinta parte, collo-

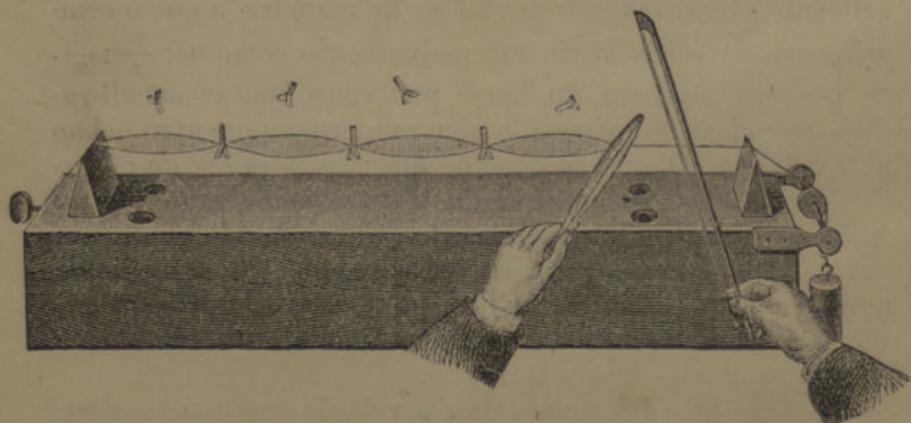


Fig. 74

cando o cavallete movel por baixo d'ella, de modo a ficar entre dois cavalletes um quinto do seu comprimento, os

restantes quatro quintos entram em vibração, mas cada um d'elles vibra isoladamente em torno d'um ponto ou d'uma linha que se chama *nó de vibração*, ou *linha nodal* e que é immovel, o que se póde reconhecer collocando n'aquelle ponto pequenos bocados de papel, ou aproximando as barbas d'uma penna; ao contrario do que succede nos espaços intermediarios, em que os fragmentos de papel são projectados a distancia (fig. 74). Esses espaços existentes entre dois nós de vibração chamam-se *concamerações*, e ao meio d'esses espaços, onde as vibrações attingem a amplitude maxima, dá-se o nome de *ventres de vibração*.

204. VIBRAÇÕES DAS VARAS E DAS PLACAS. — As varas de madeira, de vidro, e principalmente as de metal teem a propriedade de vibrar da mesma maneira que as cordas e são susceptiveis como ellas de duas especies de vibrações — longitudinaes e transversaes.

Se, em vez d'uma vara, se tratar d'uma placa que esteja presa no centro e seja posta em vibração por meio d'um arco, ou presa n'uma extremidade e abalada por uma crina com resina, a placa entra tambem em vibração. Se lançarmos areia sobre as placas, ella affecta formas regulares variaveis, dependentes de que a areia se deposita nos *nós de vibração* e *linhas nodaes*, abandonando os pontos em vibração.

205. LEIS DAS VIBRAÇÕES DAS VARAS E DAS PLACAS. — O calculo demonstra que as vibrações das varas estão sujeitas ás seguintes leis:

1.º O numero das vibrações transversaes das varas e das laminas dispostas do mesmo modo está na razão directa da sua espessura e na inversa do quadrado do seu comprimento.

2.º O numero das vibrações longitudinaes das varas e laminas dispostas do mesmo modo está na razão inversa do seu comprimento, seja qual fôr o seu diametro e a fórma da sua secção transversal.

As vibrações das placas estão sujeitas á lei seguinte: o numero das vibrações das placas está na razão directa da espessura d'essas placas e na inversa das suas superficies.

206. INSTRUMENTOS DE VENTO — TUBOS SONOROS. — O ar e os ga-

zes podem, da mesma maneira que os solidos e os liquidos, dar origem a sons, como já vimos que succedia na *sereia* (198). E' o que succede nos *tubos sonoros*, empregados na formação dos orgãos e d'outros instrumentos. Esses tubos são geralmente cylindricos ou prismaticos e construidos de madeira ou de metal. Segundo o modo por que é posta em vibração a columna d'ar, dividem-se em *embocaduras* e *tubos de palheta*.

1.º *Embocaduras*. O typo da embocadura é representado pelo tubo d'orgão ordinario. A sua parte inferior C recebe o vento d'um folle; lateralmente existe uma abertura *d* chamada *boccal* e cujo labio superior é talhado em bisel e levemente inclinado para dentro; á altura do labio inferior está lançada horisontalmente uma lamina metalleica *a*, entre cujo limbo e o labio inferior existe um orificio chamado *luz*. Para cima, o instrumento continua-se com um tubo *bb* que pôde ser aberto ou fechado. A corrente d'ar, que chega pela parte inferior do tubo, escapa-se pela luz e vae d'encontro ao labio superior. Este obstaculo que o ar encontra dá logar a intermittencias regulares de condensação e dilatação que se propagam ao ar do tubo e o fazem entrar em vibração.

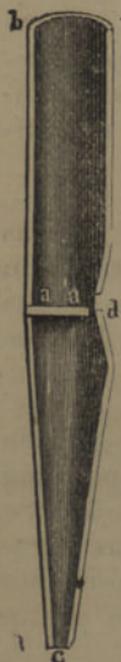


Fig. 75

2.º *Tubos de palheta*. N'estes tubos, que servem tambem nos orgãos, o systema que entra em vibração compõe-se d'um pequeno tubo prismatico, fechado na parte inferior e aberto na superior. Uma das faces do tubo é formada por uma lamina metalleica em que ha uma abertura rectangular sobre a qual se applica, de modo a fechala, uma lamina vibrante a que está preso um fio que lhe prende a extremidade inferior e que se pôde elevar ou deprimir, de maneira a modificar o comprimento da parte vibrante, e por conseguinte o som produzido.

Este aparelho está collocado entre dois tubos, um dos quaes traz o ar que faz vibrar a lingueta, ao passo que o outro, chamado *tubo d'escape*, o leva para fóra, dando ao som produzido pela vibração da lamina um timbre e intensidade variaveis, segundo a sua fórma e dimensões.

207. LEIS DAS VIBRAÇÕES DO AR NOS TUBOS.— Foi Daniel Bernouilli que determinou experimentalmente estas leis. Podemos dividi-las em tres grupos: leis communs aos tubos abertos e fechados, e peculiares a cada um d'estes grupos.

1.º *Leis communs ás duas especies de tubos*. 1.º A materia de que se compõem os tubos abertos ou fechados nenhuma influencia tem sobre a intensidade dos sons produzidos.

2.º Em tubos abertos de comprimentos deseguaes, os numeros das vibrações que correspondem ao som fundamental dado por elles, estão na razão inversa dos comprimentos d'esses tubos, do mesmo modo que nas cordas.

Sobre esta segunda lei é que se baseia a construcção dos or-

gãos, porquanto é facil dar aos tubos comprimentos que estejam entre si como as relações d'uns sons para outros.

2.º *Leis dos tubos abertos.* Se se pozer em vibração o ar contido n'um tubo aberto cujo comprimento seja pelo menos igual a dez vezes o seu diametro, e variarmos a velocidade da corrente d'ar, o tubo dá sons diferentes que estão entre si na seguinte relação :

*Se representarmos por 1 o som fundamental, isto é, o som mais grave que o tubo possa dar, os outros sons serão representados pela serie natural dos numeros.* A experiencia e o calculo demonstram que o comprimento da columna d'ar que dá o som fundamental é igual ao do tubo, que o comprimento da onda que fornece o som representado pelo algarismo 2 é igual a metade do tubo, etc.

A columna d'ar que vibra pôde ser comparada com uma corda que vibre transversalmente, e fórma nós e ventres de vibrações (203). Demonstra a experiencia que, para o som fundamental, correspondente a um tubo aberto de qualquer comprimento que seja, ha sempre um nó de vibração collocado no meio e dois ventres situados nas extremidades, que para o som representado pelo algarismo 2 ha dois nós e tres ventres, situados os nós nos dois primeiros quartos do tubo, e ficando um dos ventres no meio, etc., etc.

Se nos pontos correspondentes aos ventres de vibração d'um tubo fizermos orificios, o som não soffre modificação ; mas se os buracos ficarem collocados em frente dos nós, são substituidos por ventres e o som modifica-se. E' o que succede na flauta.

3.º *Leis dos tubos fechados.* Os tubos cuja extremidade opposta á abertura é fechada dão sons variaveis, conforme a velocidade da corrente d'ar, mas que estão entre si como a série dos numeros impares.

Nos tubos fechados o comprimento d'onda que corresponde ao som fundamental é duplo do comprimento do tubo. Se tivermos, pois, um tubo aberto e outro fechado, ambos do mesmo comprimento, e fizermos produzir a cada um o seu som fundamental, os numeros que representarão as suas vibrações estarão com 1 : 2.

Prova isto que, no tubo fechado, a onda sonora se reflecte sobre o fundo do tubo e volta para a abertura, de modo a dobrar-se sobre si mesma, tendo um nó de vibração correspondente ao fundo do tubo e dois ventres em relação com a abertura.

---

## CAPITULO IV

## Theoria physica da musica

Gamma. Intervallos musicaes. Intervallos da escala diatonica. Accordes. Dissonancias. Sons harmonicos. Escala chromatica e temperada.

208. ACCORDES. — Todas as vezes que da junção de dois sons se impressiona agradavelmente o nosso ouvido, dizemos que ha um *acorde consonante*; todas as vezes que se produz o contrario, dizemos então que ha *dissonancia*.

Chama-se *harmonia* a producção dos accordes e *melodia* a successão de accordes ou de sons. A *musica* é um conjuncto de harmonias e melodias.

209. GAMMA. — Chama-se *gamma* ou *solfa* uma serie de sons ou notas, adoptadas em musica e que realisam os accordes mais consonantes. Estas notas são *dó, ré, mi, fa, sol, lá, si*. Partindo do som mais grave para o mais agudo, póde-se obter uma serie de gammas, succedendo-se na mesma ordem, e cujo conjuncto fórma o que se chama *escala musical*. Para distinguir as differentes gammas entre si, convencionou-se tomar por ponto de partida aquella cujo *dó* corresponde ao som mais grave do violoncello (128 vibrações por segundo) e designar as notas por indices. Assim as notas da primeira gamma indicam-se:  $dó_1, ré_1, mi_1, etc.$ , as da segunda  $dó_2, ré_2, mi_2, etc.$

210. AVALIAÇÃO NUMERICA DOS SONS. — Supponhamos que se representa por 1 a corda d'um *sonometro*, cujo som é tomado para *dó* da gamma.

Reduzindo esta corda, obter-se-hão facilmente as outras seis notas, e achar-se-ha que as notas correspondem aos seguintes comprimentos de corda :

|                          |     |                 |                 |                 |                 |                 |                  |
|--------------------------|-----|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|
| Notas :                  | dó, | ré,             | mi,             | fa,             | sol,            | la,             | si.              |
| Comprimento das cordas : | 1,  | $\frac{8}{9}$ , | $\frac{4}{5}$ , | $\frac{3}{4}$ , | $\frac{2}{3}$ , | $\frac{3}{5}$ , | $\frac{8}{15}$ . |

Ora, sabendo nós que o numero das vibrações está na razão inversa do comprimento da corda (202), bastará inverter as fracções precedentes para se ter o numero relativo de vibrações. Representando pois por 1 o numero correspondente ao *dó* teremos:

Nome das notas:      *dó*, *ré*, *mi*, *fa*, *sol*, *la*, *si*.  
 Numero de vibrações: 1,  $\frac{9}{8}$ ,  $\frac{5}{4}$ ,  $\frac{4}{3}$ ,  $\frac{3}{2}$ ,  $\frac{5}{3}$ ,  $\frac{15}{8}$ .

Como se póde, por meio d'apparelhos especiaes (197), saber o numero de vibrações por segundo correspondentes ao *dó* grave ou fundamental do violoncello, basta multiplicar esse numero pela relação achada, para se obterem. A' primeira gamma correspondem os seguintes numeros:

Notas:      *dó*, *ré*, *mi*, *fa*, *sol*, *la*, *si*.  
 Vibrações: 128, 144, 160, 170, 192, 214, 240.

Se quizermos depois obter o numero de vibrações correspondentes a cada uma das notas das outras gammas, bastará multiplicar por 2, por 4, por 8, os numeros de vibrações apontadas. E' por se usarem os multiplos de dois que a escala assim obtida se chama *diatonica*.

211. INTERVALLOS MUSICAES. — Chamam-se *intervallos*, em musica, as relações d'um som para com outros. Os intervallos tem o nome especial de *segunda*, *terceira*, *quarta*, *quinta*, *sexta*, *setima*, *oitava*, segundo a distancia que separa os dois sons musicaes. Assim o intervallo que vae do *dó* ao *ré* é uma *segunda*, do *dó* ao *mi* é uma *terceira*, e assim successivamente.

Se compararmos o numero de vibrações de cada nota, com o correspondente ao da nota anterior, verificaremos que estes intervallos não são eguaes, como se vê do seguinte quadro:

|               |                |                 |               |                |               |                 |
|---------------|----------------|-----------------|---------------|----------------|---------------|-----------------|
| <i>dó-ré</i>  | <i>ré-mi</i>   | <i>mi-fa</i>    | <i>fa-sol</i> | <i>sol-la</i>  | <i>la-si</i>  | <i>si-dó</i>    |
| $\frac{9}{8}$ | $\frac{10}{9}$ | $\frac{16}{15}$ | $\frac{9}{8}$ | $\frac{10}{9}$ | $\frac{9}{8}$ | $\frac{16}{15}$ |

Vê-se pois que as relações entre os sons musicaes são reductiveis a tres typos:

$$\frac{9}{8}, \frac{10}{9}, \frac{16}{15}$$

Chama-se á primeira  $\left(\frac{9}{8}\right)$  *tom maior*; á segunda  $\left(\frac{10}{9}\right)$  *tom menor* e á terceira  $\left(\frac{16}{15}\right)$  *meio tom*. Como a differença entre o *tom maior* e o *tom menor* é tão pequena que apenas ouvidos muito educados a podem perceber, consideram-se as relações  $\frac{9}{8}$  e  $\frac{10}{9}$  como eguaes, e não se costuma fallar, no que diz respeito a intervallos, senão em *tons* e *meios tons*.

Assim temos que os intervallos entre as notas ficam:

dó-ré ré-mi mi-fa fa-sol sol-la la-si si-dó  
tom tom meio-tom tom tom\* tom meio-tom

212. SUSTENIDOS E BEMOES.— Além das notas de musica que, como vimos, são em numero de sete, empregam-se notas intercallares, *sustenidos* e *bemoes*, destinadas a poder-se formar uma gamma começando em qualquer nota, que então toma o nome de *tonica*. O *sustenido*  $\sharp$  é o som immediatamente superior a uma nota dada, como o *bemol*  $\flat$  é o immediatamente inferior.

Queremos *transportar* uma determinada melodia, começada em *do*, para *re*, isto é, sem alterar a melodia, fazel-a começar em *re*. Sabendo nós que a gamma se compõe de dois tons, um meio tom, tres tons e um meio tom, torna-se necessario que esta relação se conserve na transposição.

Tanto poderemos empregar os *sustenidos* como os *bemoes*, como vamos ver, para o conseguir.

*Sustenidos*: Tomemos a série de notas a seguir a *ré* e os competentes intervallos. Teremos

re-mi mi-fa fa-sol sol-la la-si si-do do-re  
tom meio tom tom tom meio tom tom

ora, se os compararmos com a relação existente na gamma, vemos que, para que a melodia não seja alterada, é preciso altear meio

tom as notas *fa* e *do* conservando-se assim a relação estabelecida. Teremos então

re-mi  $\sharp$  mi-fa  $\sharp$  fa  $\sharp$ -sol sol-la la-si si-do  $\sharp$  do  $\sharp$  re  
 tom tom meio tom tom tom tom meio tom

o que vem a dar o mesmo, como se vê do quadro.

*Bemoes.* Se quizermos empregar os bemoes, o processo é pouco mais ou menos o mesmo. Imaginemos que se quer reproduzir a gamma a partir de *fa*.

Disporemos a série :

fa-sol sol-la la-si si-do do-re re-mi mi-fa  
 tom tom tom meio tom tom tom meio tom

Comparando, vemos que o intervallo *la-si* é muito grande, e que o *si-do* é muito pequeno. Consegue-se restabelecer a gamma, abaixando meio tom a *si*, de modo que o intervallo *la-si* fica sendo de meio tom como devia ser, e o *si-do* fica sendo de tom como igualmente era necessario. Chama-se a isto *bemolisar* a nota *si*. Ficará então a gamma.

fa-sol sol-la la-si  $\flat$  si  $\flat$ -do do-re re-mi mi-fa  
 tom tom meio tom tom tom tom semi tom

213. GAMMA CHROMATICA E TEMPERADA. — Obtem-se o sustenido d'uma nota multiplicando o seu valor por  $\frac{25}{24}$ . Facil é perceber a razão. Consideremos o intervallo mi-fa =  $\frac{16}{15}$ , isto é igual a meio tom. Se quizermos sustenir *fa*, isto é, eleva-lo meio tom, o que temos a fazer com que o intervallo  $\frac{16}{15}$  se torne igual a  $\frac{10}{9}$ . Teremos pois

$$\frac{16}{15} \times x = \frac{10}{9}$$

ou

$$x = \frac{\frac{10}{9}}{\frac{16}{15}} = \frac{150}{144} = \frac{25}{24}$$

O inverso se dará com os bemoes, isto é, será necessario dividir por este numero a nota que se quer bemolisar, o que equivale a multiplicar-a por  $\frac{24}{25}$ .

Resulta d'isto que o *sustenido* d'uma nota não é exactamente

egual ao *bemol* da nota antecedente. Vejamos a que corresponde, por exemplo, o *do*  $\sharp$  e o *re*  $\flat$ . Representemos por  $n$  o numero de vibrações correspondentes ao *do*, o *do*  $\sharp$  será representado por  $\frac{25}{24} \times n$ ; e o *re*  $\flat$  será expresso por  $\frac{9}{8} n \times \frac{24}{25} = \frac{216}{200} n = \frac{27}{25} n$ .

Vê-se pois que o *re*  $\flat$  é um pouco mais alto que o *do*  $\sharp$ . Todavia, estes intervallos são tão pequenos, que se tornam, por assim dizer, inapreciáveis. Nos instrumentos de corda podem-se dar uns e outros exactamente, mas nos de sons fixos, como os pianos e órgãos, accordou-se, para não multiplicar indefinidamente o numero de cordas ou de tubos, egualar os sustenidos de uma nota ao bemol da nota seguinte. A gamma assim obtida é formada por 12 sons separados por intervallos de meio tom, eguaes entre si, e recebe o nome de *gamma chromatica*. E' a seguinte:

|                             |                         |                              |                         |                       |
|-----------------------------|-------------------------|------------------------------|-------------------------|-----------------------|
| <i>do</i> $\sharp$          | <i>re</i> $\sharp$      | <i>fa</i> $\sharp$           | <i>sol</i> $\sharp$     | <i>la</i> $\sharp$    |
| <i>do</i> , ou, <i>re</i> , | <i>ou</i> , <i>mi</i> , | <i>fa</i> , ou, <i>sol</i> , | <i>ou</i> , <i>la</i> , | <i>ou</i> , <i>si</i> |
| <i>re</i> $\flat$           | <i>mi</i> $\flat$       | <i>sol</i> $\flat$           | <i>la</i> $\flat$       | <i>si</i> $\flat$     |

A escala formada com intervallos rigorosamente eguaes tem o nome de *temperada*.

214. SONS HARMONICOS. — Já dissemos o que se entende por *accorde*, isto é, o conjuncto de sons que produzem uma sensação agradável. O som mais grave do accorde chama-se *tonica*, e o mais agudo *dominante*. Os accordes são *perfeitos* e *imperfeitos*. Os primeiros resultam sempre de sons cujo numero de vibrações estão entre si n'uma relação simples. Os imperfeitos são os que resultam de sons que não estão entre si n'essa relação. O accorde *do*, *mi*, *sol*, é o mais perfeito e o mais agradável ao ouvido; os numeros de vibrações correspondentes estão entre si como 4, 5, 6.

Chamam-se *sons harmonicos*, ou simplesmente *harmonicos*, aos sons que estejam entre si como os numeros inteiros 1, 2, 3, 4, 5. A sobreposição d'estes sons dá um accorde, tanto mais consoante, quanto mais baixo fôr o seu logar na escala.

Todas as vezes que entre os sons sobrepostos não haja uma relação tão simples, não produzem sensação agradável no ouvido, ao que se chama *dissonancia*.

215. DIAPASÃO. — O diapasão é um pequeno instru-

mento que dá uma nota invariavel e que serve para a afinação dos instrumentos. Compõe-se d'uma barra rectangular d'aço, recurvada em fórma de ferradura, de modo que os seus extremos fiquem muito proximos. Esta barra está ligada a uma haste metallica que serve para pegar no instrumento ou para o fixar n'uma caixa sonora. Faz-se vibrar o diapasão, batendo com um dos seus ramos n'uma mesa, ou affastando as suas extremidades por meio d'um cylindro metallico, de diametro maior que a distancia dos dois ramos do instrumento. O diapasão normal obrigatorio em França dá o  $la_3$  com 435 vibrações. O  $la$  da gamma fundamental será  $\frac{876}{4}$  e por tanto o  $dó$  fundamental ou  $dó_1 = \frac{3}{5} \times \frac{870}{4} = 130,5$ .

## CAPITULO V

### Analyse do som

Reforço do som. Resoadores d'Helmholtz. Analyse dos sons.  
Explicação do timbre

216. REFORÇO DOS SONS. — Dissemos anteriormente que ha sempre augmento d'intensidade do som quando na visinhança se acha um corpo sonoro, isto é, um corpo elastico susceptivel de vibrar quando lhe seja transmittido o movimento ondulatorio, ou directamente ou por intermedio do ar ambiente. Esta transmissão exige como condição impreterivel que o corpo sonoro *vibre em unisono com a nota que se quer reforçar*, isto é, produza o mesmo som que ella.

Prova-se isto, aproximando um diapasão d'um vaso de vidro ou de crystal que tenha bastante altura. O som ao principio não parece reforçado, mas, se formos lançando gradualmente agua dentro do vaso, chega um momento em que o som dado pelo diapasão é consideravelmente reforçado, deixando de o ser se continuarmos a deitar mais agua. Ora se se medir a columna d'ar na occasião em que ha reforço, verifica-se que é precisamente egual ao comprimento d'um tubo fechado que desse o mesmo som que o diapasão.

E' ainda dado d'observação que sempre que diante d'um instrumento de musica se produz uma nota que elle possa dar, esse ins-

trumento vibra espontaneamente. E' o que succede, por exemplo, quando se canta diante d'um piano, cujas cordas entram em vibração, produzindo accordes agradaveis ao ouvido.

217. ANALYSE DOS SONS. RESOADORES. — O ar contido nas cavidades que supportam um corpo sonoro participa das vibrações d'esse



Fig. 76

corpo. E' sobre este facto que assenta a construcção das caixas sonoras que teem os instrumentos de corda. Sobre elle, assenta tambem a construcção dos *resoadores*, com os quaes Helmholtz conseguiu proceder á analyse dos sons. Compõem-se estes instrumentos d'uma esphera oca de metal tendo duas aberturas diametralmente oppostas, uma estreita, situada no vertice d'um cone, e a outra muito mais larga. Fechando um dos ouvidos e introduzindo no outro o tubo conico, só se ouve d'uma maneira distincta, entre os sons que se produzam exteriormente, aquelle que o resoador pôde reforçar. Construindo resoadores de dimensões diferentes, cada um dos quaes possa reforçar uma

nota determinada, é facil, collocando-os successivamente no ouvido, reconhecer n'um som complexo o som fundamental e os diversos sons secundarios que o compõem.

Helmholtz reconheceu por este meio que a maior parte dos sons são compostos, isto é, resultantes da sobreposição de varios outros.

218. CAUSA DO TIMBRE. — Graças aos *resoadores*, pôde explicar Helmholtz a causa do *timbre*, isto é, a qualidade que distingue dois sons da mesma altura e intensidade. O timbre é devido ao conjuncto de sons harmonicos que acompanham o som fundamental.

Os diversos instrumentos de musica não produzem por egual sons harmonicos. Os mais ricos, debaixo d'esse ponto de vista, são a voz humana, as cordas e os tubos sonoros, sendo os mais pobres as membranas tensas, as varas e os diapasões. Quando vibra uma corda, o ouvido experiente reconhece o som fundamental e os seus primeiros harmonicos.

# LIVRO SEXTO

## CALOR

---

### CAPITULO I

#### Dilatação e thermometria

Dilatação dos solidos, linear e cubica. Dilatação dos liquidos, apparente e absoluta. Temperatura. Thermometros de mercurio e d'alcool: sua construcção e uso. Comparação das escalas thermometricas. Thermometros differenciaes. Pyrometros.

219. CALOR. — Ha um agente que em nós determina a sensação do *quente* e do *frio*: esse agente recebeu o nome de *calor*. Esta definição não é boa, mas nenhuma outra se póde dar, emquanto não tivermos conhecimento dos phenomenos que este agente determina.

220. PHENOMENOS CALORIFICOS. — Se tomarmos uma bola de ferro e a aquecermos, ella por um lado augmenta de calor, e por outro augmenta de volume. Propagação e dilatação em duas especies de phenomenos calorificos. A dilatação e o aquecimento podem ir até ao ponto de augmentarem por tal fórma a força repulsiva do calor que o corpo póde mudar d'estado, de sólido a liquido e de liquido a gazoso.

Pelo contrario, se subtrairmos calor a um corpo dá-se a diminuição de volume e diminuição de temperatura; estes dois phenomenos podem ir até ao ponto de o fazer mudar d'estado, de gazoso a liquido e de liquido a solido.

221. ORIGENS DO CALOR. — As origens do calor são de tres especies: *mechanicas*, *physicas* e *chimicas*.

As *origens mechanicas* são a percussão, a pressão e a fricção. Facil é reconhecer a quantidade de calor produ-

zido pela percussão, dando uma pancada com um martello n'uma barra de ferro: esta aquece até ao ponto de ser impossivel aproximarmos a mão, sem nos queimarmos, e chegar-lhe um phosphoro, sem que se inflamme. Demonstra-se ainda esta maneira de desenvolver calor com o fusil d'ar (20) já antecedentemente descripto. Se projectarmos com força o seu embolo, veremos formar-se uma luz viva, devida á combustão do oleo que lubrifica o embolo; se no fundo tivermos collocado um pedaço de isca, e mal tenhamos feito chegar o embolo ao fundo do tubo, o retirarmos, a isca vem inflammada.

Sempre que esfregamos um corpo contra o outro ha um certo desenvolvimento de calor. Sirva de exemplo o que acontece com os eixos dos carros que, se não estiverem convenientemente lubrificados, podem inflammarse.

Ha uma simples experiencia, devida a Tyndall, que mostra bem a quantidade de calor desenvolvida pelo trabalho mechanico. Compõe-se o instrumento d'um tubo cylindrico de cobre que se enche d'agua e rolha cuidadosamente, sendo posto em movimento de rotação por meio d'uma manivella e uma correia sem fio. Apertando o cylindro com duas peças de madeira para difficultar o movimento, a agua aquece, ferve, e a força expansiva do seu vapor projecta a rolha a distancias consideraveis.

As *origens physicas* são o sol, a terra, as acções moleculares, e d'estas principalmente os phenomenos electricos. O sol é de todas as origens do calor a mais importante. Resulta das observações de Pouillet que, se todo o calor do sol fosse empregado na fusão do gelo, podia n'um anno, reduzir ao estado liquido uma camada de 32 metros de espessura, que envolvesse o globo terrestre. A pequena profundidade abaixo do solo ha uma camada em que a temperatura se conserva constante, e que por tal motivo tem o nome de *camada invariavel*. A' medida que vamos caminhando em profundidade, a temperatura vae augmentando, e essa é razão porque se suppõe a existencia no centro da terra d'um foco calorifico importante, a que se dá o nome de *calor central*.

Todas as acções e movimentos moleculares se acompa-

nam de desenvolvimento de calor; a electricidade é seguramente d'entre elles a fonte mais importante. As descargas d'uma bateria electrica e as correntes electricas produzem, não só a incandescencia dos metaes, mas a sua volatilisação.

As *origens chimicas* do calor são as reacções que se dão entre os diversos corpos. O desenvolvimento do calor umas vezes é pouco pronunciado, outras é tão intenso que se acompanha do apparecimento de luz, como acontece nas combustões. O *calor animal* não é, em summa, mais do que o resultado da combustão do carbonio e hydrogenio dos nossos tecidos.

222. DILATAÇÃO. — Já dissemos que o calor applicado aos corpos os faz augmentar de volume. Este accrescimo de volume varia para os diferentes corpos: assim os gazes dilatam-se mais que os liquidos, e estes mais ainda que os solidos. Estudaremos o phenomeno da dilatação em cada um d'estes estados dos corpos.

223. DILATAÇÃO DOS SOLIDOS. — Como os solidos são dotados de fórma propria, devemos considerar na sua di-

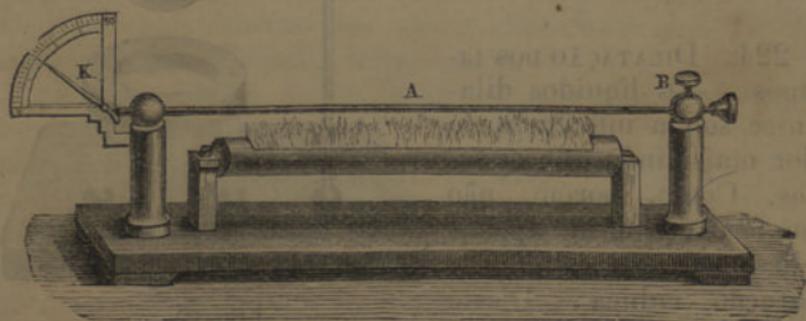


Fig. 77

latação o augmento d'extensão, de superficie e de volume. Apenas porém se costuma applicar a dilatação linear e a cubica.

Para demonstrar a dilatação linear dos solidos, servi-

mo-nos d'um instrumento chamado *pyrometro* (fig. 77), o qual se compõe d'uma haste metallica AB, fixa n'uma das suas extremidades por meio d'um parafuso a uma columna, e livre na outra que atravessa uma outra columna e se vae pôr em contacto com uma agulha cotovellada K, que se move sobre um quadrante graduado.

Estando a agulha no zero da escala, se collocarmos um reservatorio contendo alcool por baixo da haste metallica, observamos que ella se alonga no sentido BA, e faz subir a agulha no quadrante um certo numero de gráus, tantos mais, quanto mais elevado fôr o gráu de calor e mais dilatavel a barra de metal.

Demonstra-se a dilatação cubica, por meio d'um simples aparelho, chamado *anel de S' Gravesende*. Compõe-se d'um anel metallico em que pôde passar uma esphera de cobre, de diametro proximamente igual. Se se aquece a bola, esta não pode passar pelo anel, readquirindo essa propriedade logo que tenha esfriado.

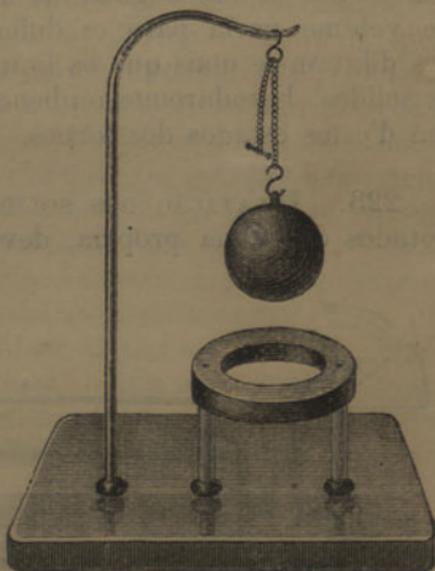


Fig. 78

#### 224. DILATAÇÃO DOS LIQUIDOS.

— Os liquidos dilatam-se sob a influencia do calor mais ainda que os solidos. Como, porém, não têm fôrma propria, apenas n'elles podemos estudar a dilatação cubica. D'este mesmo facto resulta que,

sendo preciso encerrar os liquidos, para o estudo das suas modificações, em vasos, temos a considerar duas especies de dilatação: a *dilatação apparente* e a *dilatação absoluta*.

Demonstra-se a *dilatação apparente* por meio d'um simples instrumento, composto d'um reservatorio de vidro a que está soldado um tubo estreito e comprido, feito da

mesma substancia. Enchendo a bola e o tubo d'um liquido qualquer, observamos que, se o immergirmos em agua quente ou o aproximarmos d'uma lampada, o liquido, depois de ter descido um momento, sóbe um comprimento variavel com o calor da agua ou da lampada.

A razão porque no primeiro momento o liquido desce é que, dilatando-se o reservatorio antes do liquido, a sua capacidade augmenta. Vê-se pois que a *dilatação absoluta* dos liquidos é maior que a *apparente*, e que o excesso d'uma sobre a outra é igual á dilatação cubica do vaso que a contem.

225. DILATAÇÃO DOS GAZES.— A dilatação dos gazes é muito superior á dos liquidos. Observa-se bem com um instrumento igual ao já descripto para os liquidos, mas em que collocamos um pequeno indice de mercurio destinado a separar o gaz interior do ar exterior (fig. 79). Basta applicar a mão sobre a bola para que o indice de mercurio caminhe até á extremidade do tubo.

226. THERMOMETROS—TEMPERATURA.— Os instrumentos chamados *thermometros* têm por fim medir o calor sensivel dos corpos. Este calor sensivel é o que se chama *temperatura*.

Rigorosamente, todos os corpos poderiam servir para a construcção dos *thermometros*, mas preferem-se os liquidos, porque a sua dilatação, maior que a dos solidos e menor que a dos gazes, mais se apropria para o estudo das temperaturas medias.

Quando queremos avaliar pequenas variantes de temperatura, empregamos os *thermometros de gaz*, e se, pelo contrario, queremos medir temperaturas muito elevadas, usamos *thermometros solidos*, a que se dá o nome de *pyrometros*.

D'entre os liquidos usados para a construcção dos *thermometros* preferem-se o mercurio e o alcool, o primeiro, porque é de todos os liquidos o que se dilata mais uniformemente, só ferve a uma temperatura muito elevada e só

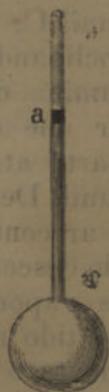


Fig. 79

congela a uma baixa temperatura; o segundo, porque resiste á congelação com os mais intensos frios naturaes, visto que o de  $-130$  a que se solidifica, só se póde produzir artificialmente.

227. CONSTRUÇÃO DOS THERMOMETROS DE MERCURIO. — Toma-se um tubo capilar de vidro bem calibrado, o que se conhece, fazendo-o percorrer por um indice de mercurio e observando se conserva sempre o mesmo comprimento; a este tubo está ligado na sua extremidade um reservatorio cylindrico ou espherico representado na figura por D. Para introduzir o mercurio no instrumento, solda-se á outra extremidade do tubo um pequeno funil C, que enchemos de mercurio, e, inclinándolo o tubo, aproximamos de uma lamina de alcool o reservatorio D. O ar que contem dilata-se, e passa em parte atravez do mercurio contido no funil. Deixando arrefecer o instrumento, o ar contrái-se e uma parte do mercurio desce pelo tubo. Aquecendo de novo, os vapores mercuriaes expulsam o ar contido no aparelho, e, pelo arrefecimento, o reservatorio e o tubo enchem-se totalmente de liquido. Conseguído isto, aquece-se novamente o instrumento, até que o mercurio chegue á ebullição, e fecha-se á lampada o tubo, retirando o funil que deixa de ser necessario.

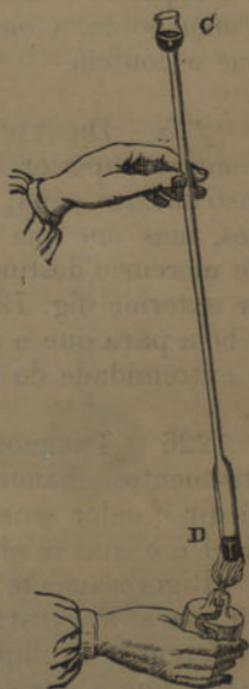


Fig. 80

Pouco a pouco o instrumento arrefece e o mercurio pára n'um ponto variavel com a temperatura do meio ambiente.

228. CONSTRUÇÃO DOS THERMOMETROS D'ALCOOL. — A construção dos thermometros d'alcool exige menos precauções que a dos de mercurio. Para introduzir o liquido basta aquecer o instrumento, para dilatar o ar que contem, e mergulhar depois a extremidade aberta n'um vaso

contendo alcool córado. A' medida que o ar interior se vae contraíndo pelo arrefecimento, a pressão atmospherica faz subir o liquido no tubo e no reservatorio que ficam cheios em parte. Aquece-se de novo o reservatorio até á ebullição do liquido, e então os vapores de alcool expulsam incompletamente o ar encerrado. Mergulhando novamente a extremidade aberta no alcool corado, o vapor condensa-se e o aparelho enche-se completamente. Fecha-se depois o tubo á lampada, como ficou dito precedentemente.

229. GRADUAÇÃO DOS THERMOMETROS. — A graduação dos thermometros de mercurio faz-se obtendo dois pontos fixos, sempre os mesmos, e faceis de reproduzir; o gelo fundente, e a agua a ferver, á pressão de  $0^m,76$ .

Para achar o primeiro d'estes dois pontos, introduz-se o thermometro n'um vaso tendo diversas aberturas e cheio de gelo em fragmentos. A columna de mercurio abaixa-se, ao principio rapidamente, mas conserva-se depois estacionaria. Marcamos no ponto referido o zero da escala.

Depois d'isto, introduz-se o instrumento n'um vaso fechado, de folha de Flandres, tendo superiormente um tubo, e dispomol-o de tal maneira que o reservatorio do thermometro apenas afflore a superficie liquida, e esteja sempre cercado de vapor d'agua em ebullição. O mercurio sóbe rapidamente, como tinha descido ao introduzir-se no gelo, e conserva-se depois estacionario. No ponto indicado marcamos nós  $100^o$ . O intervallo comprehendido entre estes dois pontos é depois dividido em 100 partes eguaes. A escala assim obtida dá ao thermometro o nome de thermometro *centigrado*. Como veremos em breve, ha mais escalas thermometricas; todas ellas, ainda assim, se referem aos dois pontos que indicamos.

A graduação dos thermometros d'alcool faz-se por comparação com um thermometro de mercurio que se toma para padrão.

As escalas são prolongadas para baixo de  $0^o$ ; os graus inferiores chamam-se *negativos* e marcam-se com o signal — como os superiores se chamam *positivos* e levam o signal +.

230. ESCALAS THERMOMETRICAS. — Além dos thermometros centigrados, ha outros graduados differentemente. Os mais empregados são os de *Reaumur* e de *Fahrenheit*.



Fig. 81

No thermometro de Reaumur, os pontos fixos são os mesmos que no thermometro centigrado, mas o intervallo que separa os extremos é dividido em 80 partes, em vez das 100 do thermometro centigrado.

No thermometro de Fahrenheit, o zero é marcado no ponto que o mercurio rasa, quando introduzido n'uma mistura de gelo e de sal ammoniaco, e o ponto superior, marcado á temperatura da agua a ferver. O espaço intermediario é dividido em 212 partes; o zero das escalas Reaumur e centigrada corresponde no de Fahrenheit a 32°. A fig. 81 permite comparar rapidamente as differentes escalas.

Vê-se pois que 100 graus centigrados correspondem a 80 Reaumur e a  $212 - 32 = 180$  Fahrenheit. Representando cada grau das respectivas escalas por C, R e F teremos que

$$100^{\circ}\text{C} = 80^{\circ}\text{R} = 180^{\circ}\text{F}$$

ou

$$1^{\circ}\text{C} = \frac{80^{\circ}\text{R}}{100} = \frac{4}{5} \text{R} \quad (1)$$

ou vice-versa

$$1^{\circ}\text{R} = \frac{100^{\circ}\text{C}}{80} = \frac{5}{4} \text{C} \quad (2)$$

Comparando o primeiro termo da primitiva equação, com o terceiro, temos

$$100^{\circ}\text{C} = 180^{\circ}\text{F}$$

isto é

$$1^{\circ}\text{C} = \frac{180^{\circ}\text{F}}{100} = \frac{9}{5} \text{F} \quad (3)$$

ou reciprocamente

$$1^{\circ}\text{F} = \frac{100^{\circ}}{180^{\circ}} = \frac{5}{9} \text{ C} \quad (4)$$

finalmente, comparando o segundo com o terceiro, teremos

$$80^{\circ}\text{R} = 180^{\circ}\text{F}$$

d'onde se tira

$$1^{\circ}\text{R} = \frac{180^{\circ}\text{F}}{80^{\circ}} = \frac{9}{4} \text{ F} \quad (5)$$

ou

$$1\text{F} = \frac{4}{9} \text{ R} \quad (6)$$

Dos valores encontrados em (1) e (2) tiramos a seguinte regra:

1.<sup>o</sup> Se quizermos reduzir um certo numero de graus centigrados a graus Reaumur, multiplicaremos os numeros que os exprimem por  $\frac{4}{5}$ ; se, pelo contrario, quizermos reduzir graus Reaumur a centigrados, multiplicaremos os numeros que exprimem aquelles por  $\frac{5}{4}$ .

Dos valores obtidos em (3) e (4), deduz-se outra regra que se póde enunciar:

2.<sup>a</sup> Para transformar gráus centigrados em Fahrenheit, multiplicaremos aquelles por  $\frac{9}{5}$  e juntar-lhe-hemos  $32^{\circ}$ ; para reduzir graus Fahrenheit a centigrados multiplicaremos aquelles, diminuidos de  $32^{\circ}$ , por  $\frac{5}{9}$ .

Finalmente, das equações (5) e (6), deduz-se a 3.<sup>a</sup> regra, assim formulada:

3.<sup>a</sup> Para reduzir graus Reaumur a Fahrenheit, multiplicam-se aquelles por  $\frac{9}{4}$  e addiciona-se ao producto  $32^{\circ}$ ; para reduzir gráus Fahrenheit a Reaumur subtrahem-se aos numeros que exprimem aquelles  $32^{\circ}$ , e multiplica-se a differença por  $\frac{4}{9}$ .

231. DESLOCAMENTO DOS PONTOS FIXOS.— Os thermometros estão sujeitos a uma causa d'erro que é impossivel evitar, por muito bem construidos que sejam. Ao cabo d'um certo tempo, o zero desloca-se, elevando-se algumas vezes até 2 gráus. Até hoje não recebeu o facto explicação cabal e satisfactoria. O mais provavel é que o vidro experimente, com o tempo, uma certa retracção que diminua a capacidade do reservatorio. E' indispensavel ter sempre presente esta noção, quando se trata de avaliar rigorosamente as temperaturas.

232. SENSIBILIDADE DOS THERMOMETROS.— Diz-se que um thermometro é sensivel, quando accusa promptamente as variações de temperatura, e quando nota as mais pequenas que se deem.

Para se conseguir a primeira condição, o thermometro deve ter uma pequena massa de mercurio e grande superficie. E' preferivel que o reservatorio seja cylindrico e tenha um pequeno diametro.

Para que o thermometro denuncie as pequenas variantes, é necessario que tenha bastante massa para occupar uma extensão consideravel no tubo. Como é facil de vêr, as duas condições de sensibilidade contrariam-se até certo ponto. Conciliam-se, fazendo extremamente delgado o tubo e pequeno o reservatorio.

233. THERMOMETROS DE MAXIMA E MINIMA.— E' por vezes necessario colher a mais alta e mais baixa temperatura a que o thermometro chega durante um dia, o que por exemplo tem applicação quando se deseja conhecer a temperatura media d'um logar. Aos instrumentos empregados com esse fim, dá-se o nome de thermometros de maxima ou de minima, segundo se obtem com elles a mais alta ou mais baixa temperatura.

Os thermometros de maxima são de fórmãs e dimensões variaveis. Um dos mais geralmente empregados é um thermometro ordinario de mercurio, cuja haste foi recurvada de modo a ficar horisontalmente, e tendo dentro, em contacto com a columna thermometrica, um pequeno cylindro

d' aço. Quando o mercúrio se dilata, impelle adiante de si o pequeno indice; mas quando se contráe, não o arrasta comsigo, porque o não molha. Fica por conseguinte no lugar que occupava, indicando a mais elevada temperatura a que esteve sujeito o instrumento.

Outras vezes (fig. 82) a haste tem um estreitamento capillar, de modo que o mercúrio, depois de ter soffrido a

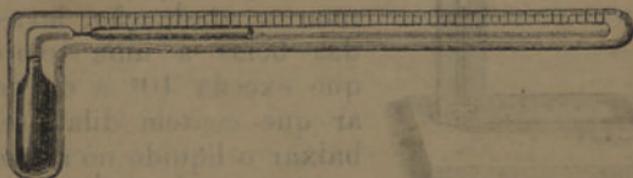


Fig. 82

maior dilatação, não volta á primitiva posição, senão quando se lhe imprime um movimento brusco.

O thermometro de minima é em geral um thermometro d'alcool, disposto similhantemente ao primeiro e tendo interiormente um pequeno cylindro d'esmalte a que adhire o alcool. Quando a temperatura se abaixa, o liquido, ao contrair-se, arrasta comsigo o indice, mas, quando se eleva, o alcool passa entre elle e as paredes do tubo, marcando portanto o indice a mais baixa temperatura que soffreu.

Convem notar que no thermometro de *maxima* o indice fica para além da columna thermometrica, em quanto no de minima fica mergulhado no alcool. Por conseguinte a tempera maxima é indicada pela extremidade do indice que olha para o reservatorio, e a temperatura minima pela extremidade opposta.

234. THERMOMETROS DE GAZES. — Aproveitam-se os gazes para a construcção dos thermometros, quando desejamos que sejam dotados d'uma extrema sensibilidade. Os mais usados de todos são o *thermometro differencial de Leslie* e o *thermoscopio de Runford*.

1.º Este instrumento é destinado a apreciar as differenças minimas de temperatura, existentes entre dois lugares extremamente proximos. Compõe-se d'um tubo, re-

curvado em angulo recto, fixo a uma prancheta e terminado por duas espheras cheias d'ar. O tubo contem uma

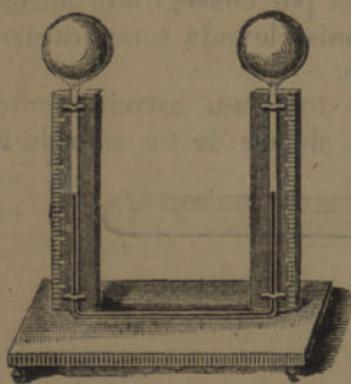


Fig. 83

certa quantidade d'acido sulfurico côrado, cujos dois niveis devem estar á mesma altura, quando as duas espheras estão á mesma temperatura. Marca-se zero em ambos estes niveis. Para cultivar a graduacão, leva-se uma das bolas a uma temperatura que exceda  $10^{\circ}$  a da outra. O ar que contem dilata-se, e faz baixar o liquido no ramo correspondente, elevando-o no outro ramo. Quando o equilibrio está estabelecido, marca-se  $10^{\circ}$  de

cada lado, no ponto em que o liquido parou, e dividem-se os espaços comprehendidos entre o  $0^{\circ}$  e  $10^{\circ}$  em dez partes, prolongando-se para cima e para baixo a mesma graduacão.

2.<sup>o</sup> Este instrumento só differe do anteriormente descrito em terem mais volume as duas espheras, em ser maior o ramo horisontal, a que está affecta a graduacão, e em ter um indice mais curto, visto que apenas tem 2 centimetros, sendo feito de mercurio e ficando collocado no meio do ramo horisontal, quando as duas espheras estão á mesma temperatura. A um lado, ha um pequeno prolongamento a que se faz recolher o indice quando se calcula que haja differença de tensão do ar contido nas duas espheras. A graduacão e usos são os mesmos que no thermometro de Leslie.

235. THERMOMETROS DE SOLIDOS. — Os thermometros de solidos são chamados *pyrometros*, pelo facto de se applicarem apenas á avaliacaão de temperaturas altissimas. O mais usado é o de Wedgwood, que passamos a descrever.

*Pyrometro de Wedgwood.* — Este instrumento baseia-se na propriedade que tem a argilla de se retrair com o calor, phenomeno que é devido certamente a um começo de

vitriificação. Compõe-se d'uma lamina de cobre, na qual estão fixas tres barras do mesmo metal levemente inclinadas, formando assim duas calhas, de tal sorte que a segunda é continuação da primeira. As barras extremas estão divididas em 240 partes que constituem os graus do pyrometro. Um cylindro d'argilla bem secco tem as dimensões precisas para entrar nas calhas até 0°. Mette-se este cylindro no forno, cuja temperatura se quer conhecer, e depois de o deixarmos arrefecer, introduzimos-o de novo, fazendo-o andar o mais possivel; o cylindro penetrará tanto mais profundamente quanto mais elevada fôr a temperatura do forno. Admitte-se que o 0° do pyrometro corresponde a 580 centigrados e cada grau a 72°, de modo que se o cylindro penetrar até 30 graus, a temperatura do forno será de

$$30 \times 72 + 580 = 2740^\circ.$$

O aparelho descripto a pag. 177 é tambem um pyrometro, chamado de Brogniart, do nome do seu inventor. O alongamento que experimenta a barra é dependente do calor a que está submettida e portanto as indicações do quadrante marcam a temperatura. Os dados fornecidos são todavia muito incertos.

## CAPITULO II

### Coefficientes de dilatação

Coefficientes de dilatação. Determinação dos coefficients de dilatação dos solidos, liquidos e gazes. Coefficients do ferro, do latão, do zinco e do mercurio. Dilatação irregular da agua, maximo de densidade. Formulas relativas á dilatação regular. Pendulo compensador. Thermometro de Breguet. Thermometro de peso.

236. COEFFICIENTES DE DILATAÇÃO. — Vimos precedentemente que existem nos corpos solidos duas especies de dilatação: a *dilatação linear* e a *dilatação cubica*.

Chama-se *coefficiente de dilatação linear* o augmento de comprimento que experimenta a unidade d'extensão, passando de 0 a 1° centigrado.

Chama-se *coefficiente de dilatação cubica* o augmento de volume que a unidade de volume experimenta, passando de 0 a 1°.

Estes coefficients variam de corpo para corpo; mas, para cada um d'elles, existe entre os dois coefficients uma relação simples: o *coefficiente de dilatação cubica é triplo do coefficiente de dilatação linear*.

Demonstra-se facilmente que o coefficiente de dilatação cubica é igual ao triplo de dilatação linear. Imaginemos um cubo que tenha por lado, a 0°, a unidade. Representando por  $k$  o alongamento que experimenta a unidade ao passar de 0° a 1°, o seu comprimento a 1° será  $1 + k$  e o volume do cubo que era 1 a 0° passa a ser  $(1 + k)^3$ , isto é,  $1 + 3k + 3k^2 + k^3$ . Ora como o alongamento  $k$  é sempre uma fracção pequenissima, despresam-se os termos  $3k^2$  e  $k^3$ , que nem influir podiam na ultima casa decimal, sendo o volume a 1°, approximadamente  $1 + 3k$ .

Nos liquidos e nos gazes ha só a considerar a *dilatação cubica*, como dissemos, por não terem forma propria, e na sua dilatação ha a estudar a *dilatação apparente* e a *dilatação absoluta*, segundo se entra ou não em linha de conta com a dilatação do vaso em que são contidos; d'ahi duas especies de coefficients, o *coefficiente de dilatação apparente*, e o *coefficiente de dilatação absoluta*.

237. MEDIDA DOS COEFFICIENTES DE DILATAÇÃO LINEAR — METHODO DE LAVOISIER E LAPLACE. — O aparelho de que se serviram estes illustres physicos para a determinação dos coefficients de dilatação linear compunha-se d'uma tina de cobre solidamente fixa a um forno sobre quatro pilares de pedra. Na tina era introduzida a substancia cujo coefficiente de dilatação se desejava conhecer, depois de reduzida a uma barra. Essa barra AB assentava em dois rolos de vidro e apoiava uma das extremidades B sobre uma lamina de vidro fixa, enquanto que a outra A estava em contacto com uma haste vertical OA, movel em torno do ponto O e ligada a um oculo L. A' distancia proximamente de 200 metros, estava collocada verticalmente uma mira EF. Envolvendo a barra em gelo fundente, determinava-se na mira o ponto C que ficava no prolongamento do eixo do oculo. Depois d'isto, lançava-se agua a ferver na tina, a barra alongava-se, e a haste vertical OA tomava outra posição OD, e determinava-se

então na mira o novo ponto  $C'$  no prolongamento do eixo do oculo. Attendendo ao principio de similhaça dos triangulos AOD e  $COC'$ , ter-se-ha

$$\frac{DA}{CC'} = \frac{OA}{OC}$$

d'onde se tirava o alongamento da barra

$$DA = CC' \times \frac{OA}{OC}$$

Determinando, d'uma vez para sempre, os comprimentos OA e OC, era facil obter o alongamento da barra, que, dividido pelo seu comprimento a  $0^\circ$  e pelo numero que indicava a elevação de temperatura, dava o coeeficiente de dilataçaõ linear do corpo submettido á experienciã.

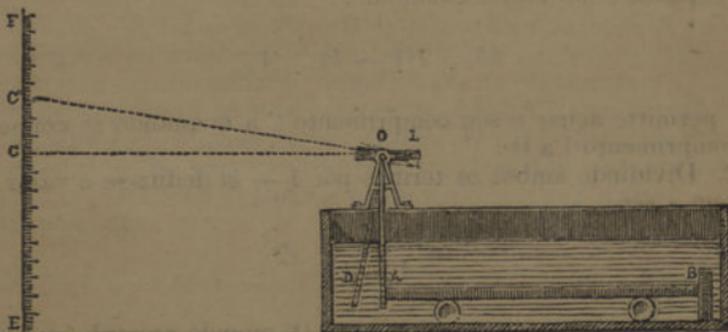


Fig. 84

Este methodo de determinar os coeeficientes de dilataçaõ linear, como de resto todos os outros, era eivado d'um erro. Demonstra a experienciã que os *coeeficientes de dilataçaõ linear dos metaes* são sensivelmente constantes entre  $0^\circ$  e  $100^\circ$ , isto é, que para um determinado numero de grãus augmenta constantemente a mesma fracçaõ para cada grãu, e as experienciãs de Lavoisier e Laplace foram feitas na previsãõ d'esse factõ. As investigações de Dulong e Petit demonstram todavia que o coeeficiente se torna maior entre  $100^\circ$  e  $200^\circ$  e que ainda augmenta entre  $200^\circ$  e  $300^\circ$ , e assim successivamente, até ao ponto da fusãõ. Faz excepçaõ o aço, cujo coeeficiente diminue quando a temperatura excede um certo limite.

Os coeeficientes de dilataçaõ cubica deduzem-se dos de dilataçaõ linear, por uma simples multiplicaçãõ por 3. Dulong e Petit poderam, todavia, baseados no principio do thermometro de peso, de que adiante fallaremos, determinar directamente os coeeficientes de dilataçaõ cubica.

**Coefficientes de dilatação linear entre 0 e 100°  
de diferentes corpos**

|                        |             |                   |             |
|------------------------|-------------|-------------------|-------------|
| Vidro branco . . . . . | 0,000008613 | Cobre . . . . .   | 0,000017182 |
| Platina . . . . .      | 0,000008842 | Bronze . . . . .  | 0,000018167 |
| Aço não temperado      | 0,000010788 | Latão . . . . .   | 0,000018782 |
| Ferro fundido . . . .  | 0,000011250 | Prata . . . . .   | 0,000019097 |
| Ferro macio forjado    | 0,000012204 | Estanho . . . . . | 0,000021730 |
| Aço temperado . . . .  | 0,000012395 | Chumbo . . . . .  | 0,000028575 |
| Ouro . . . . .         | 0,000914660 | Zinco . . . . .   | 0,000029417 |

238. FORMULAS RELATIVAS Á DILATAÇÃO DOS SÓLIDOS. — 1.º Representemos por  $l$  o comprimento d'uma barra a 0°, por  $l'$  o seu comprimento á temperatura  $t$  e por  $k$  o seu coefficiente de dilatação linear. O comprimento da barra que era  $l$  a 0°, passa a ser  $l + kt$  a  $t$ °, d'onde, pondo  $l$  em factor commum :

$$l' = l(1 + kt) \quad (1)$$

o que permite achar o seu comprimento  $l'$  a  $t$ ° quando se conhece o seu comprimento  $l$  a 0°.

2.º Dividindo ambos os termos por  $1 + kt$  deduz-se o valor de  $l$  que vem a ser :

$$l = \frac{l'}{1 + kt} \quad (2)$$

o que permite achar o comprimento a 0° quando se conhece a  $t$ °.

3.º Finalmente, se na egualdade (1) transpozermos para o 1.º termo  $l$  e dividirmos ambos os termos por  $tl$ , temos

$$k = \frac{l' - l}{lt} \quad (3)$$

equação que serve para calcular o valor do coefficiente quando são conhecidos  $l$ ,  $l'$  e  $t$ , como no methodo de Lavoisier e Laplace.

4.º Podemos obter da mesma maneira as formulas relativas á dilatação cubica. Se representarmos por  $V$  o volume d'um corpo a 0°, por  $V'$  o seu volume a  $t$ ° e por  $K$  o seu coefficiente de dilatação cubica, como este é triplo de  $k$ , chega-se, pelo mesmo raciocinio feito anteriormente, a que

$$V' = V(1 + Kt) \quad (4)$$

$$V = \frac{V'}{1 + Kt} \quad (5)$$

que podem referir-se aos coefficients de dilatação linear, substituindo  $k$  por  $3k$

$$V' = V(1 + 3kt)$$

$$V = \frac{V'}{1 + 3kt}$$

239. COEFFICIENTES DE DILATAÇÃO DOS LIQUIDOS. — Obtem-se o *coefficiente de dilatação apparente* dos liquidos, que varia com a natureza do vaso, medindo os volumes do liquido a  $0^\circ$  e a uma temperatura  $t$ . Raciocinando como fizemos para a dilatação dos solidos, teremos

$$k = \frac{V' - V}{Vt}$$

Póde demonstrar-se que o *coefficiente de dilatação absoluta*  $d$  d'um liquido é igual ao *coefficiente de dilatação apparente*  $d'$ , sommando ao *coefficiente do involucro*  $k$ . Tomemos por unidade o volume real d'uma massa determinada de liquido a  $0^\circ$ . Se elevarmos  $1^\circ$  á temperatura do liquido, o *volume apparente*, dentro do involucro que o contem, será  $1 + d'$ , mas cada unidade de capacidade do involucro virá a ser  $1 + K$ , passando de  $0^\circ$  a  $1^\circ$ , visto que a capacidade *apparente*  $(1 + d')$  é na realidade igual a  $(1 + d')(1 + K)$ .

Temos pois, que

$$1 + d = (1 + d')(1 + K) = 1 + d' + K + d'K$$

Supprimindo n'um e outro lado a unidade, e no segundo termo o producto dos dois coefficients, fica

$$d = d' + K$$

isto é, a expressão do que se desejava demonstrar.

Os coefficients de dilatação apparente dos liquidos são muito variaveis e irregulares, isto é, não acompanham as diferenças de temperatura uniformemente, augmentando em geral á medida que ella se vae elevando.

240. COEFFICIENTE APPARENTE DE DILATAÇÃO DOS LIQUIDOS. — O coefficiente de dilatação dos liquidos varia muito com a natureza do vaso que o contem. Dulong e Petit determinaram para o vidro qual é o coefficiente de dilatação apparente do mercurio, por um methodo que póde applicar-se a todo e qualquer liquido — o methodo do *thermometro de peso*. Este instrumento compõe-se simplesmente d'um reservatorio cylindrico de vidro, a que está soldado um tubo capillar, recurvado em angulo recto, e aberto na sua extremidade.

Para se fazer a experiencia, pesa-se o instrumento, primeiro vazio, e depois cheio de mercurio a  $0^{\circ}$ ; a differença das duas pesagens fornece o peso  $P$  do mercurio a  $0^{\circ}$ . Se o elevarmos a uma temperatura conhecida  $t$ , o mercurio dilata-se e sáe uma certa quantidade que se recebe n'uma pequena capsula e se pesa. Se se representa por  $p$  o peso do mercurio que saíu, o que ficou no aparelho é  $P - p$ .

O volume occupado a  $0^{\circ}$  por esta massa é  $\frac{P - p'}{d}$  representando  $d$  o peso especifico do mercurio a  $0^{\circ}$ . Esta massa occupava a  $t^{\circ}$ , o volume *apparente* do thermometro. O volume *apparente* foi calculado a  $0^{\circ}$  e é igual a  $\frac{P}{d}$ . Logo, a dilatação total do mercurio foi

$$\frac{P}{d} - \frac{P - p}{d} = \frac{p}{d}$$

e o coefficiente de dilatação *apparente*, isto é, a dilatação *apparente* que corresponde á unidade de volume e a uma elevação de  $1^{\circ}$ , será:

$$C = \frac{\frac{p}{d}}{\frac{(P - p)t}{d}} = \frac{p}{(P - p)t}$$

que é chamada formula do *thermometro de peso*. Dulong e Petit acharam d'este modo que o coefficiente de dilatação *apparente* do mercurio é  $\frac{1}{6480}$ .

**Taboa dos coefficientes de dilatação *apparente* d'alguns liquidos de  $0^{\circ}$  a  $190^{\circ}$  (Dalton)**

|  |        |                                   |       |
|--|--------|-----------------------------------|-------|
| Mercurio . . . . .                     | 0,1543 | Essencia de terebinthina. . . . . | 0,07  |
| Agua distillada . . . . .              | 0,0466 | Ether sulfurico . . . . .         | 0,07  |
| Agua saturada de sal marinho . . . . . | 0,05   | Oleos fixos . . . . .             | 0,08  |
| Acido sulfurico . . . . .              | 0,06   | Alcool . . . . .                  | 0,116 |
| Acido chlorhydrico . . . . .           | 0,06   | Acido azótico . . . . .           | 0,11  |

241. COEFFICIENTES DE DILATAÇÃO ABSOLUTA DOS LIQUIDOS. — A formula  $d = d' + K$  permite obter o coefficiente de dilatação absoluta d'um liquido qualquer, visto como, obtido o coefficiente de dilatação *apparente* d'um liquido, basta juntar-lhe o coefficiente de dilatação cubica do involucro. Todavia, Dulong e Petit conseguiram

determinar directamente o coefficiente da dilatação absoluta do mercurio por meio d'um vaso communicante, composto de dois ramos verticaes reunidos por um tubo capillar horisontal.

Cheio o vaso de mercurio, conservava-se um dos ramos a  $0^{\circ}$  e elevava-se o outro a uma temperatura  $t$  bastante elevada. O mercurio que estava ao mesmo nivel em ambos os ramos, enquanto era a mesma a temperatura, subia no ramo mais quente, á medida que se dilatava e diminuia de densidade. O instrumento achava-se pois nas mesmas condições d'um vaso communicante, contendo dois liquidos de densidade differente. Ora, em virtude do principio d'hydrostatica enunciado precedentemente (112), se era  $h$  e  $d$  a altura e densidade do mercurio, e no ramo a  $0^{\circ}$ ,  $h'$  e  $d'$  a altura e densidade a  $t^{\circ}$ , teriamos

$$\frac{h}{h'} = \frac{d'}{d}$$

por serem as alturas na razão inversa das densidades.

Se fossem agora  $v$  e  $v'$  os volumes do mercurio contido n'um dos ramos, a  $0^{\circ}$  e elevado á temperatura  $t$ , estes volumes estariam na razão inversa das densidades, por ser o mesmo peso do mercurio (64); d'ahi se tirava

$$\frac{v}{v'} = \frac{d'}{d} \text{ e por comparação } \frac{v}{v'} = \frac{h}{h'}$$

d'onde

$$\frac{v' - v}{v} = \frac{h' - h}{h}$$

e dividindo por  $t$  ambos os membros por  $t$ :

$$\frac{v' - v}{vt} = \frac{h' - h}{ht}$$

Mas o primeiro termo representava o coefficiente de dilatação absoluta do mercurio a que chamaremos  $k$ , e portanto

$$k = \frac{h' - h}{ht}$$

o que permittia determinar o coefficiente exacto pela medição das duas columnas de mercurio, e da temperatura  $t$ .

Por este processo, encontraram Dulong e Petit que o coefficiente de dilatação absoluta do mercurio é  $\frac{1}{5550}$ , e observaram que

este coefficiente cresce com a temperatura. Entre 100° e 200° o coefficiente médio é  $\frac{1}{5425}$ . Entre 200 e 300°, é de  $\frac{1}{5300}$ . Dá-se nos outros liquidos um augmento analogo, o que quer dizer que a sua dilatação não é regular. Para o mercurio, demonstraram aquelles physicos que entre 36° e 100° a sua dilatação é uniforme.

242. DILATAÇÃO IRREGULAR DA AGUA — MAXIMO DE DENSIDADE. — Dilatando-se os corpos com o calor, a sua densidade vae augmentando á medida que o formos resfriando. Não acontece assim com todos os liquidos, e particularmente com a agua que tem um maximo de densidade a 4°. Demonstra-se isto por meio d'un vaso de vidro, tendo superior e inferiormente dois thermometros, dispostos horisontalmente, estando sobre elles um vaso annular. Deitando gelo n'este vaso e agua no interior, reconhece-se que o thermometro inferior chega a 4°, ao passo que o superior desce até 0°. Quer isto dizer que a *densidade da agua chega ao seu maximo a 4°*.

Póde ainda determinar-se o maximo de densidade da agua, pesando, como fez Halltröm, uma bola de vidro lastrada com areia, em agua a differentes temperaturas, e observando qual é a maior diminuição de peso. Desprez serviu-se d'un thermometro d'agua, isto é, contendo agua em vez de mercurio, e reconheceu que era exactamente a 4° que a agua experimentava o seu maximo de contracção. O mesmo physico construiu uma taboa das densidades da agua ás differentes temperaturas, que demonstra que ella decresce muito irregularmente de 4° a 100°, e que por conseguinte ha uma variação inversa do seu coefficiente de dilatação.

243. COEFFICIENTES DE DILATAÇÃO DOS GAZES. — Os gazes são de todos os corpos aquelles que se dilatam mais, e mais uniformemente. A determinação do seu coefficiente foi realisada pela primeira vez por Gay-Lussac. O apparatus de que se serviu compunha-se d'un tubo thermometrico de vidro, de grande reservatorio, cuja haste estava dividida em partes eguaes, correspondendo cada uma a uma fracção conhecida da capacidade do reservatorio. O gaz, depois de privado d'humidade, era introduzido d'elle, e separado da atmosphaera por uma pequena columna de mercurio que servia d'indice. Feito isto, era o instrumento introduzido n'uma caixa me-

tallica, elevando-se a sua temperatura de  $0^{\circ}$  a uma temperatura  $t$  proxima da agua a ferver, e viam-se quaes eram as duas posições do indice. Sendo  $V$  o volume do gaz a  $0^{\circ}$  e  $V'$  a seu volume apparente a  $t^{\circ}$ ; se designassemos por  $k$  o coefficiente de dilatação cubica do vidro, o volume real a  $t^{\circ}$  seria  $V'(1 + kt)$ . O augmento de volume do gaz era pois  $V'(1 + kt) - V$ , e portanto o coefficiente do gaz  $C$  seria

$$C = \frac{V'(1 + kt) - V}{Vt}$$

Por este processo, Gay-Lussac encontrou o numero 0,0375 para coefficiente de dilatação do ar, e admittiu que *elle representava o coefficiente de dilatação de todos os gazes*. Esta lei, notavel pela sua simplicidade, não é absoluta, mas é bastante approximada para que se possa admittir em muitos casos.

Rudberg, Regnault e Magnus demonstraram que aquelle numero era muito grande, e que o verdadeiro valor do coefficiente se devia estimar em 0,00367.

244. FORMULAS RELATIVAS Á DILATAÇÃO DOS GAZES.— I. *Se o volume d'um gaz a  $0^{\circ}$  fôr  $V$ , qual será o seu volume a  $t^{\circ}$ , sendo o coefficiente  $c$  e a pressão constante?* Seja  $V'$  o volume que se quer determinar: repetindo o mesimo raciocinio que se fez para a dilatação linear, encontra se

$$V' = V + ct \text{ ou } V' = V(1 + ct) \dots$$

II. *Sendo o volume d'um gaz a  $t^{\circ}$   $V'$ ; qual será o seu volume  $V$  a  $0^{\circ}$ , sendo  $c$  o coefficiente e a pressão constante?* Da formula (1) tira-se

$$V = \frac{V'}{1 + ct} \dots (2)$$

III. *Sendo  $V'$  o volume d'um gaz a  $t^{\circ}$ , calcular o seu volume  $V''$  a  $t''$  graus, sendo a pressão a mesma?*

É preciso, primeiro, reduzir o volume a  $0^{\circ}$  pela formula (2), o que dá em resultado

$$\frac{V'}{1 + ct'}$$

e transporta-se este volume de  $0^{\circ}$  a  $t''$  por meio da formula (1), e afinal chega-se a

$$V'' = \frac{V'(1 + ct'')}{1 + ct'} \dots (3)$$

ou effectuando a divisão indicada,

$$V'' = V' [1 + c(t'' - t')] \dots (4)$$

IV. Sendo  $V$  o volume d'um gaz a  $t^o$  e á pressão  $H$ ; qual será o volume  $V'$  da mesma massa de gaz a  $t'^o$  e á pressão  $H'$ ?

E' necessario fazer duas correccões, uma relativa á temperatura e outra á pressão, sendo indifferente começar por um ou por outra. Imaginemos primeiro que, conservando-se a temperatura  $t^o$ , só a pressão varia e se torna  $H'$ ; seja  $N$  o volume d'essa massa de gaz. Applicando-lhe a lei de Mariotte (158), temos que

$$NH' = VH \text{ d'onde } N = V \frac{H}{H'} \dots (5)$$

Supponhamos agora que, conservando-se a pressão constante, e igual a  $H'$ , só á temperatura varia e passa a ser  $t'^o$ ; seja  $V'$  o volume que então tomará a massa de gaz. Applicando-lhe a lei de Gay-Lussac, concluimos

$$\frac{V'}{N} = \frac{1 + ct'}{1 + ct} \dots (2)$$

Eliminando entre (4) e (5)  $N$  que é uma incognita auxiliar, chegamos á conclusão de que

$$\frac{V'H'}{1 + ct'} = \frac{VH}{1 + ct}$$

245. DENSIDADE DOS GAZES. — Chama-se *densidade* ou *peso específico* d'um gaz a relação do peso d'um certo volume do gaz para o peso d'um egual volume d'ar á temperatura de  $0^o$ , e á pressão media de  $0^m,76$ . O processo de que nos servimos para o obter consiste em pesar primeiro um balão de vidro de 8 a 10 litros de capacidade, no qual se faz o vacuo. Pesa-se depois cheio d'ar e do gaz, cuja densidade se quer conhecer. Tanto o ar como o gaz devem ser bem seccos e á temperatura de  $0^o$ , o que se consegue collocando o balão, depois de cheio, n'um vaso de zinco cercado de gelo. Seja  $P$  o peso do ar contido no balão e  $p$  o do gaz cuja densidade se deseja obter. Sendo eguaes os volumes, as densidades são proporcionaes aos pesos, o que dá em resultado

$$D = \frac{p}{P}$$

A pressão atmospherica deve ser referida a  $0^m,76$ . Se o não fôr, é necessario fazer essa correção. Regnault, para evitar as variações de pressão e de temperatura que influenciam os resultados, imaginou fazer equilibrio ao balão que serve para pesar os gazes com outro balão do mesmo volume e hermeticamente fechado. Sendo a diminuição de peso a mesma, as cousas passam-se como se se executassem as pesagens no vacuo.

246. APLICACÃO DA DILATAÇÃO DOS SOLIDOS. — O conhecimento dos coefficients de dilatação dos solidos tem numerosas applicações nas artes. Na construcção dos caminhos de ferro é necessario não collocar os rails topo a topo. Se se tocassem, curvar-se-hiam, ao mesmo tempo que despedaçariam os pranchões de madeira em que assentam. Na collocação das grellhas dos fornos, na construcção das pontes, na guarnição das rodas das carruagens, tem-se sempre presentes estas noções.

Citaremos ainda duas notaveis applicações da dilatação dos corpos. As pedras do zimbório da igreja de S. Pedro em Roma que tendiam a affastar-se, ameaçando ruina, foram reunidas por circulos de ferro em braza que se contraíram depois, deixando a abobada extremamente solida.

As paredes d'uma galeria do conservatorio das Artes e officios de Paris tinham-se affastado para o lado de fóra, sob o peso do tecto. Era necessario approximal-as, e para isso collocaram-se barras de ferro que atravessaram as paredes d'um a outro lado da galeria, e foram apertadas a quente com porcas. Pelo resfriamento as barras contraíram-se e approximaram as paredes, diminuindo a sua inclinação. Repetindo a operação algumas vezes, conseguiu-se apumar inteiramente as paredes.

As applicações mais engenhosas da dilatação são a compensação dos pendulos e o thermometro metallico.

247. PENDULOS COMPENSADORES. — A applicação mais frequente dos pendulos é, como sabem a construcção dos relógios. Para isso, é preciso o isochronismo mais perfeito das suas oscillações. Ora o calor, fazendo-o augmentar ou diminuir de comprimento, fará com que o relógio se atraze no verão e adiante no inverno. Os pendulos compensadores tem por fim conservar um comprimento invariavel do centro de suspensão ao centro d'oscillação.

São variados os pendulos compensadores; o mais usado é o de



Fig. 85

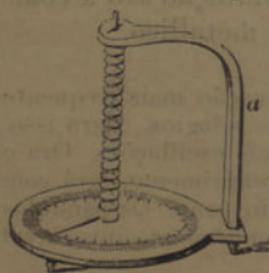


Fig. 86

Leroy, e será portanto o unico que descreveremos. Compõe-se de duas ou mais barras transversaes d'um metal qualquer, ás extremidades dos quaes estão soldadas duas hastes verticaes de ferro. Na barra transversal inferior estão soldadas duas outras hastes verticaes de cobre mais curtas que as primeiras e ligadas superiormente a uma terceira barra transversal. No meio d'esta, está soldada a haste de ferro central que atravessa livremente a barra inferior, e supporta a lente do pendulo.

Claramente se percebe o mechanismo d'este pendulo. Imaginemos que a temperatura se eleva. As tres hastes de ferro, alongando-se de cima para baixo, tenderão a augmentar o comprimento do pendulo. Todavia, as hastes de cobre, podendo apenas augmentar de baixo para cima, levantarão a barra superior e por conseguinte a lente do pendulo. Se a dilatação das hastes de cobre fôr egual á das de ferro, o centro d'oscillação do pendulo ficará a uma altura constante. Imaginemos o caso contrario, isto é, que a temperatura baixa. As hastes de ferro, contraíndo-se, tenderão a tornar o pendulo mais curto, approximando a barra superior da inferior. Mas, ao mesmo tempo, diminuindo de comprimento as laminas de cobre, arrastarão para baixo a barra superior e farão descer a lente, isto é, augmentarão o comprimento do pendulo.

Consegue-se que a dilatação das barras de ferro *compense* a das de cobre, tornando os seus comprimentos inversamente proporcionaes aos seus coefficients de dilatação linear.

248. THERMOMETRO METALLICO DE BREQUET.—Este instrumento compõe-se de tres laminas sobrepostas de platina, ouro e prata, constituindo uma só a que se dá uma disposição em espiral. Superiormente a espiral está presa a uma peça de metal e inferiormente a um ponteiro que se move n'um quadrante. A espiral tende a enrolar-se, quando a temperatura augmenta, succedendo o contrario quando diminue. N'estes movimentos, a agulha é arrastada e indica no quadrante o acrescimo de temperatura. O instrumento gradua-se por comparação com um de mercúrio, e é extremamente sensivel, graças á sua pequena massa. Para evitar as deformações da helice, introduz-se no seu interior uma haste metálica.

249. APPLICAÇÕES DOS COEFFICIENTES DE DILATAÇÃO DOS LIQUIDOS. — As mais importantes applicações dos coefficients de dilatação dos liquidos são a *correção barometrica* e o *thermometro de peso*.

250. CORRECÇÃO BAROMETRICA. — Dilatando o calor os corpos, exercerá a mesma acção no mercurio do barometro e por tal motivo a cifra indicada por elle não será exacta. A temperatura a que se convencionou referir todas as observações barometricas é a de 0°. E' facil pelo calculo fazer esta redução e ha taboas construidas para esse fim.

A correção barometrica obtem-se por meio da formula  $h = \frac{h'}{1 + kt}$  em que  $h$  representa a altura basometrica a 0°,  $h'$  a sua altura a  $t^\circ$  e  $k$  o coefficiente de dilatação de mercurio.

251. THERMOMETRO DE PESO. — E' ainda uma applicação dos coefficients de dilatação dos liquidos. Já atraz (240) descrevemos o instrumento e o vimos funcionar com fim diverso. A formula  $C = \frac{p}{(P - p)t}$  permite calcular a temperatura logo que seja conhecido o coefficiente de dilatação do mercurio. Ora já sabemos que elle é igual a  $\frac{1}{6480}$ , e por isso

$$\frac{1}{6480} = \frac{p}{(P - p)t}$$

d'onde se tira

$$t = \frac{p \times 6480}{(P - p)}$$

252. APPLICAÇÃO DOS COEFFICIENTES DE DILATAÇÃO DOS GAZES. — As applicações mais importantes da dilatação dos gazes são a tira-gem das chaminés e os calorificos d'ar quente.

Para alimentar uma combustão, isto é, para chamar para um foco qualquer o ar que o cerca, emprega-se um tubo por onde são conduzidos os productos d'essa combustão. O ar do tubo, aquecendo, dilata-se, diminue de densidade e eleva-se, arrastando consigo esses productos. Assim é aspirado o ar da casa, sendo a chaminé um excellent ventilador. Precisa todavia para isso satisfazer a certas condições especiaes (181).

Os *caloriferos d'ar quente* são destinados a aquecer os diversos andares do mesmo edificio, e são uma applicação da força ascensional do ar dilatado. Constam d'um foco de calor, ordinariamente estabelecido n'um pavimento terreo ou subterraneo, e de tubos que distribuem o ar aquecido pelos differentes aposentos, terminando em aberturas, a que se dá o nome de *boccas de calor*.

## CAPITULO III

## Propagação do calor

Diversos meios de propagação do calor. Calor radiante: leis da irradiação e da reflexão. Espelhos ardentes. Equilibrio movel de temperatura. Lei do arrefecimento. Emissão, absorpção e diffusão do calor. Podres emissivo, absorvente e reflector. Transmissão do calor através dos corpos. Experiencias de Melloni. Poder diathermico. Thermochrose. Propagação do calor por conductibilidade. Aquecimento dos liquidos por convecção.

253. PROPAGAÇÃO DO CALOR. — O calor propaga-se de duas maneiras differentes: *por irradiação* e *por conductibilidade*. Diz-se que o calor se *irradia* quando se transmite d'um corpo a outro, atravez do espaço; propaga-se por *conductibilidade* quando, communicado a um ponto qualquer d'um corpo, se espalha por toda a sua massa.

254. CALOR RADIANTE. — *Calor radiante* é o que se propaga a distancia atravez do espaço. Póde ser *luminoso* ou *obsuro*, segundo é ou não acompanhado de luz. Chama-se *raio calorifico* a direcção que o calor segue, ao propagar-se a distancia.

Se quizermos saber as condições em que se irradia o calor, procederemos assim.

Colloquemos em torno d'um foco calorifico thermometros em varias direcções. Todos elles indicarão augmento de temperatura, o que se traduz na

1.<sup>a</sup> LEI. *Um corpo quente emette calor em todas as direcções.*

Desejando procurar qual a direcção dos raios calorificos, collocaremos entre um foco calorifico e o reservatorio d'um thermometro um anteparo qualquer. O thermometro não accusará modificação alguma de temperatura, mas, se retirarmos o anteparo, immediatamente o thermometro subirá. Prova isto que:

2.<sup>a</sup> LEI. *O calor radiante, n'um meio homogeneo, se propaga em linha recta.*

Tomemos agora um vaso de vidro, em que previamente se haja feito o vacuo, e tendo no fundo um pequeno thermometro. Se introduzirmos o instrumento n'um vaso com agua quente, o thermometro subirá, e como não se póde suppor que o calor lhe seja communicado pelo vidro, visto ser este máu conductor, devemos concluir d'esta experiencia que :

3.<sup>a</sup> LEI. *O calor radiante se transmite atravez do vacuo.*

Se tomarmos um cubo de lata e o enchermos d'agua a temperaturas successivas de 40, 50, 60 gráus, aproximando d'elle uma das espheras do thermometro differencial de Leslie, veremos que, conservando-se egual a distancia, as temperaturas estão entre si na mesma relação, isto é, estão entre si como 4, 5, 6...

D'aqui se deduz que :

4.<sup>a</sup> LEI. *A intensidade do calor radiante é proporcional á temperatura do foco.*

Finalmente, se collocarmos uma das bolas do thermometro differencial de Leslie diante d'uma origem de calor constante, a distancias successivamente eguaes a 1, 2, 3, 4, verificamos que as temperaturas indicadas estão entre si como  $1 : \frac{1}{4} : \frac{1}{9} : \frac{1}{16}$ , e portanto :

5.<sup>a</sup> LEI. *A intensidade do calor radiante é inversamente proporcional ao quadrado das distancias.*

255. REFLEXÃO DO CALOR.—Os raios calorificos, quando encontram na sua passagem uma superficie polida qualquer, mudam de direcção. Demonstra-se que este facto se dá nas mesmas condições que no som e está sujeito a duas leis, que podem ser enunciadas assim :

1.<sup>o</sup> *O angulo de reflexão é egual ao angulo de incidencia.*

2.<sup>o</sup> *Os angulos de reflexão e de incidencia estão n'um mesmo plano perpendicular á superficie reflectora.*

Estas leis demonstram-se, recorrendo ás propriedades que teem os *espelhos parabolicos*. Chama-se *espelho* toda a superficie polida. Segundo a forma d'estas superficies, assim recebem nomes diversos. Os espelhos *parabolicos* são super-

ficies polidas geradas por um arco de parabola que tivesse girado em torno do seu eixo. A propriedade fundamental da parabola enuncia-se assim: *a normal a qualquer ponto divide ao meio o angulo que o raio vector forma com a linha paralela ao eixo.*

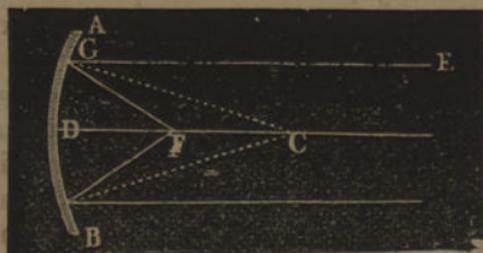


Fig. 87

Assim, se forem verdadeiras as leis da reflexão, qualquer raio que venha n'uma direcção paralela ao eixo, reflectir-se-ha para F, isto é, para o foco da parabola; assim como se reciprocamente o foco calorifico estiver collocado

no foco do espelho, os raios de calor serão disseminados em direcções paralelas ao eixo principal.

Dispondo dois espelhos parabolicos em frente um do outro, e collocando, no foco d'um, uma origem de calor intenso, e, no outro, um pedaço d'isca, d'algodão-polvora ou qualquer outra substancia explosiva, veremos que ella se inflamma, deixando o phenomeno de produzir-se em qualquer outra posição, ainda que seja mais proxima do foco calorifico.

Os espelhos assim construidos chamam-se *ardentes*; diz-se que com elles Archimedes incendiou os navios romanos diante de Syracusa.

256. EQUILIBRIO MOVEL DE TEMPERATURA: LEI DE NEWTON. — Quando muitos corpos a diversas temperaturas estão em presença, tendem todos a tomar um calor uniforme. Estabelece-se entre elles uma irradiação de calor, de modo que os corpos mais quentes, emittindo maior quantidade do que a que recebem dos corpos mais frios, arrefecem; ao passo que estes, emittindo menor quantidade do que a que recebem, aquecem. Estabelecido o equilibrio, a irradiação mutua ainda continua, mas, recebendo então cada um dos corpos tanto calor como emite, ficam todos n'uma temperatura constante.

Esta troca permanente de calor recebeu o nome de *equilibrio movel de temperatura*.

Newton demonstrou que quando um corpo está collocado n'um meio, cuja temperatura é inferior á sua, o *abaixamento de temperatura que experimenta em intervallos eguaes é proporcional á differença entre a sua temperatura e a do espaço*. A experiencia não confirma todavia esta lei senão para temperaturas inferiores a 40°.

257. VELOCIDADE DO CALOR RADIANTE. — A velocidade de propagação do calor radiante, reconhecida pelas observações dos eclipses, é pouco mais ou menos a da luz, isto é, 75:000 leguas por segundo.

258. REFLEXÃO APPARENTE DO FRIO. — Se collocarmos em frente um do outro dois espelhos conjugados e puzermos no foco principal d'um d'elles um pedaço de gelo e no do outro um thermometro muito sensivel, vemos este instrumento indicar um abaixamento tanto mais pronunciado quanto mais elevada é a temperatura ambiente. Podia suppor-se que este phenomeno era devido a raios frigorificos emittidos pelo gelo; mas é facil de ver que, sendo o thermometro o corpo mais quente, emite para o espelho raios de calor mais intensos do que os que recebe; e d'ahi resulta o abaixamento que accusa. D'esta maneira o facto entra no dominio da lei geral d'equilibrio movel de temperatura.

259. PODER EMISSIVO DOS CORPOS PARA O CALOR. — Se aquecermos dois corpos á mesma temperatura, veremos que um conserva mais tempo o calor que o outro; este facto depende do *poder emissivo* dos corpos para o calor, isto é, da propriedade que elles teem de perder, em egualdade de temperatura e superficie, quantidades de calor variaveis. O poder emissivo varia com a natureza e textura dos corpos, mas, ainda mais, com a densidade e gráu de polimento da sua superficie.

Foi Leslie o primeiro que procurou determinar o poder emissivo dos corpos. As experiencias a que procedeu dis-

punham-se do modo seguinte: A fonte de calor era um vaso cubico, chamado *cubo de Leslie* e cujas faces eram formadas de metaes diferentes ou cobertas de diversas substancias. Enchia-se este cubo d'agua a ferver, e collocava-se depois em frente d'um espelho concavo em cujo foco se encontrava uma das espheras do thermometro differencial. Os raios calorificos emittidos pelo cubo iam concentrar-se na esphera do thermometro differencial, cuja temperatura elevavam. Ora, ficando o cubo sempre á mesma distancia do espelho, se se virasse successivamente cada uma das faces para o reflector, via-se o thermometro accusar temperaturas diferentes, pela apreciação das quaes se podiam medir os poderes emissivos dos corpos. Assim, representando por 100 o poder emissivo do negro de fumo, Leslie construiu a tabella seguinte:

|                      |     |                      |    |
|----------------------|-----|----------------------|----|
| Negro de fumo.....   | 100 | Chumbo .....         | 45 |
| Alvaiade.....        | 100 | Cobre em folhas..... | 19 |
| Papel .....          | 98  | Chumbo .....         | 19 |
| Vidro branco ordina- |     | Ferro polido.....    | 15 |
| rio.....             | 90  | Ouro, platina, prata |    |
| Prata fosca .....    | 54  | polidas .....        | 12 |

As experiencias de Leslie foram novamente apprehendidas por Melloni, e Provostaye e Desains, por meio d'um thermometro muito mais sensivel, o *thermo-multiplicador*, em que as modificações de temperatura dão lugar á formação de correntes n'uma pilha *thermo-electrica*, as quaes são postas em evidencia pelas variações da agulha d'um *galvanometro*, isto é, um aparelho destinado a medir a intensidade das correntes. Segundo Provostaye e Desains o poder emissivo dos metaes polidos seria muito menor do que o indicado por Leslie. Por exemplo, o ouro em folhas teria um poder emissivo representado por 4 e a prata por 2,5.

260. PODER ABSORVENTE DOS CORPOS PARA O CALOR. — Nem todos os corpos se deixam animar da mesma quantidade de calor quando submittidos á acção d'um mesmo foco calorifico. O *poder absorvente* dos corpos para o calor,

que tal é o nome que se dá a esta propriedade, é sensivelmente igual ao seu poder emissivo. Demonstra-se este facto, dispondo a experiencia como precedentemente, a não ser que o cubo cheio d'agua a ferver é formado d'uma mesma substancia, e uma das esferas do thermoscopio differencial coberta de substancias differentes.

O poder absorvente varia, segundo o calor é obscuro ou brilhante. Assim o alvaiade que é dotado d'um grande poder absorvente para o calor obscuro tem-n'o muito menor quando em presença d'uma origem incandescente. Só o negro de fumo se comporta do mesmo modo, seja qual fôr a fonte calorifica.

261. PODER REFLECTOR DOS CORPOS PARA O CALOR. — Chama-se *poder reflector* dos corpos a propriedade que tem de reflectir maior ou menor quantidade do calor radiante que recebem.

Determina-se o poder reflector dos corpos, collocando diante d'um espelho concavo uma origem constante de calor, como é por exemplo o cubo de Leslie, de modo que o eixo principal do espelho caia perpendicularmente sobre o meio d'uma das faces. N'esse eixo, entre o espelho e o seu foco, está collocada uma pequena placa da substancia cujo poder reflector se deseja medir. Os raios calorificos emitidos pelo cubo são primeiro reflectidos pelo espelho, e depois d'este para a placa, d'onde se reflectem de novo de modo a formarem um foco entre a placa e o espelho. E' n'esse ponto que se colloca o thermometro differencial de Leslie que accusa temperaturas variaveis com a natureza da placa. Leslie determinou por este modo os poderes reflectidores dos differentes corpos, que são, representando por 100 o do latão, os seguintes:

|                        |     |                          |    |
|------------------------|-----|--------------------------|----|
| Cobre amarello polido  | 100 | Chumbo . . . . .         | 13 |
| Prata . . . . .        | 90  | Tinta da China . . . . . | 13 |
| Estanho . . . . .      | 80  | Vidro . . . . .          | 10 |
| Ferro polido . . . . . | 70  | Negro de fumo . . . . .  | 0  |

Vê-se d'este quadro que em geral o poder reflector

dos corpos para o calor é tanto maior quanto mais pequeno é o seu poder absorvente. Ainda assim os dois poderes não são perfeitamente complementares, porque a somma do calor absorvido e reflectido não é perfeitamente igual á totalidade do calor incidente.

Segundo Provostaye e Desains, que verificaram as experiencias de Leslie, com o thermo-multiplicador, os poderes reflectores dos principaes metaes são os seguintes :

|   |      |  |      |
|---|------|--|------|
| Prata polida <i>quero na dita</i> . . . . . | 0,96 | Platina <i>sem. na dita</i> . . . . .  | 0,83 |
| Ouro <i>na dita</i> . . . . .               | 0,95 | Zinco <i>na dita</i> . . . . .         | 0,81 |
| Cobre <i>na dita</i> . . . . .              | 0,93 | Ferro <i>na dita</i> . . . . .         | 0,77 |
| Aço <i>na dita</i> . . . . .                | 0,83 | Ferro fundido <i>na dita</i> . . . . . | 0,73 |

262. APPLICAÇÕES.—Os factos apontados teem recebido uma grande quantidade de applicações nas artes, na hygiene e na economia domestica. Taes são a escolha dos vestidos mais convenientes para as diversas estações, a construcção das chaminés e dos caloriferos, a escolha dos vasos para aquecer os liquidos, ou em que se querem conservar muito tempo quentes ou frios, os processos de que se lança mão para conservar o gelo nos climas quentes, etc.

263. CORPOS ATHERMICOS E DIATHERMICOS.—Corpos ha que se deixam atravessar pelo calor sem se aquecerem; assim acontece com o ar e certos gazes, o sal gemma, etc. A estes corpos dá-se o nome de *diathermicos*. Outros ha que, pelo contrario, interceptam os raios calorificos para se aquecerem: estes chamam-se *athermicos*.

As substancias transparentes, isto é, as que deixam passar os raios luminosos, são em geral diathermicas para o calor luminoso.

Algumas substancias transparentes são totalmente athermicas para o calor obscuro. Assim acontece com o vidro e com o crystal de rocha.

Finalmente, algumas poucas substancias, e particularmente o sal gemma e o fluoreto de calcio, são diathermicas para ambas as especies de calor.

E' em virtude do grande poder diathermico do ar que as camadas superiores da atmosphera estão sempre n'uma temperatura extremamente baixa, apesar de serem atravessadas pelos raios solares. Acontece o contrario com a agua dos mares e dos lagos, porque, sendo pouco diathermica, só as camadas superiores se aquecem ou arrefecem, sob a influencia das variações de temperatura exterior,

emquanto que, a partir d'uma certa profundidade, a sua temperatura se conserva constante, ou proxivamente constante.

O poder diathermico dos corpos foi demonstrado por Melloni por meio do thermo-multiplicador. A origem do calor era uma lampada Locatelli cujos raios atravessavam uma abertura circular d'um anteparo movel, e finalmente o corpo cujo poder diathermico se queria conhecer, o qual era collocado sobre um suporte. Experimentando com differentes substancias, Melloni obteve os resultados seguintes :

**Poderes diathermicos**

## SUBSTANCIAS SOLIDAS

De 100 raios incidentes, emitidos pela chamma da lampada Locatelli deixam passar :

|                             |    |
|-----------------------------|----|
| Sal gemma.....              | 92 |
| Fluoreto de calcio.....     | 78 |
| Vidro.....                  | 39 |
| Spatho d'Islanda.....       | 39 |
| Crystal de rocha diaphano.. | 37 |
| "    "    defumado .        | 32 |
| Sulfato de cal diaphano.... | 14 |
| Alumen diaphano.....        | 9  |
| Gelo puro.....              | 6  |

n'uma espessura constante de 2mm.,6.

**Poderes diathermicos**

## SUBSTANCIAS LIQUIDAS

De 100 raios incidentes, emitidos pela chamma da lampada Locatelli deixam passar :

|                            |    |
|----------------------------|----|
| Sulfureto de carbonio..... | 63 |
| Azeite.....                | 30 |
| Ether.....                 | 21 |
| Acido sulfurico.....       | 17 |
| Alcool.....                | 15 |
| Agua distillada.....       | 11 |

Estes liquidos eram collocados n'um pequeno vidro de faces parallelas distantes uma da outra 9mm.,2.

O poder diathermico varia, na maior parte dos corpos, com a temperatura da origem. Assim o vidro que é muito diathermico para raios emittidos por uma fonte de calor incandescente, deixa de o ser completamente para o calor obscuro, como por exemplo um corpo aquecido a 100°. Só o sal gemma e o fluoreto de calcio se conservam sempre diathermicos no mesmo grau, seja qual fôr a temperatura do foco de calor.

264. APPLICAÇÕES DOS PODERES DIATHERMICOS. — Além da explicação d'alguns phenomenos naturaes a que nos referimos precedentemente, utilisa-se o conhecimento dos poderes diathermicos para separar os raios de calor dos raios de luz que emanam d'um mesmo foco. Assim o sal gemma coberto de negro de fumo não deixa passar a luz, e deixa-se atravessar pelo calor, enquanto que uma lamina ou uma solução d'alumen produz o effeito inverso. Esta propriedade é aproveitada na illuminação solar ou electrica quando se quer evitar um calor demasiadamente intenso.

O uso das campanulas de vidro com que nos jardins se abrigam algumas plantas e o emprego das estufas frias ou quentes são fundados na diathermancidade do vidro, visto como esta substancia é *diathermica* para o calor luminoso dos raios solares e absolutamente *athermica* para o calor que irradia do solo.

265. REFRAÇÃO DOS RAIOS CALORIFICOS: THERMOCHROSE.— Melloni, por meio do seu apparelho thermo-multiplicador, demonstrou que os raios calorificos, passando atravez das substancias diathermicas, se refractam como os raios luminosos atravez dos corpos transparentes. Assim, por meio d'uma lente de sal gemma, póde concentrar-se n'um foco o calor obscuro, como com uma lente se concentra a luz e o calor luminoso.

Melloni admittre tambem que, da mesma maneira que a luz branca se decompõe em sete côres, tambem ha differentes especies de raios calorificos que atravessam mais ou menos facilmente as substancias diathermicas. Estas substancias, teem, pois, uma *côr calorifica*, isto é, absorvem certos raios de calor e deixam passar os outros, da mesma sorte que um vidro vermelho só deixa passar raios vermelhos, etc. A esta *côr calorifica* dos corpos diathermicos deu Melloni o nome de *thermo-chrose*. Ao tratarmos do *espectro luminoso* nos occuparemos mais detidamente d'este ponto.

266. CONDUCTIBILIDADE DOS CORPOS PARA O CALOR.— Chama-se *conductibilidade* a propriedade que teem os corpos

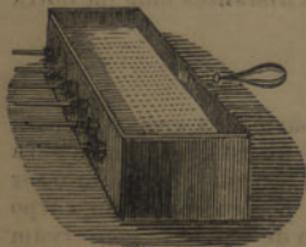


Fig. 88

de transmittirem com mais ou menos facilidade o calor atravez da sua massa. Os solidos transmittem facilmente o calor, e por isso são chamados *bons conductores*; alguns, porém, subtráem-se a esta regra, como o vidro, a porcellana e as resinas, e por isso são chamados *máus conductores*.

Determina-se o gráu de conductibilidade dos differentes corpos solidos por meio do apparelho representado na fig. 88 e chamado de *Ingenhousz*, do nome do physico que o inventou. Compõe-se d'uma caixa rectangular de cobre B, munida d'um cabo e tendo implantadas exteriormente, n'uma das faces, hastes de differentes substancias, cuja extremidade adherente penetra no interior. Cobrem-se estas hastes d'uma tenue camada de cera branca e lança-se agua a ferver dentro da caixa.

Vê-se então fundir a cera nas hastes, até uma distancia maior ou menor da parede, o que indica tambem a maior ou menor conductibilidade das diversas substancias.

Representando por 100 o grau de conductibilidade da prata que é o melhor conductor, a conductibilidade dos outros metaes será representada pela tabella seguinte :

|                    |       |
|--------------------|-------|
| Prata . . . . .    | 100,0 |
| Cobre . . . . .    | 77,6  |
| Ouro . . . . .     | 53,2  |
| Latão . . . . .    | 23,6  |
| Zinco . . . . .    | 19,0  |
| Estanho . . . . .  | 14,4  |
| Ferro . . . . .    | 11,9  |
| Chumbo . . . . .   | 8,5   |
| Platina . . . . .  | 8,4   |
| Bismutho . . . . . | 1,8   |

267. CONDUCTIBILIDADE DOS LIQUIDOS. — Os liquidos são muito máus conductores do calor. Para o demonstrar, basta tomar um tubo comprido, fechado n'uma das suas extremidades e cheio de agua. Collocando-lhe no fundo um thermometro e inclinando-o, se aproximamos a sua parte superior d'uma lampada d'alcool, observamos que a agua ferve superiormente, sem que o thermometro collocado no fundo tenha accusado augmento sensivel de temperatura.

E' por este motivo que os liquidos se aquecem sempre pela parte inferior. Procedendo assim, as camadas mais inferiores, aquecidas, dilatam-se, diminuem de densidade e sobem, ao mesmo tempo que novas camadas vêm tomar o seu lugar. Se lançarmos na agua serradura de madeira, podemos observar uma corrente central ascendente e correntes lateraes descendentes. Este modo de propagação do calor tem o nome d'aquecimento por *convecção*.

268. CONDUCTIBILIDADE DOS GAZES. — E' difficil avaliar a conductibilidade dos gazes, por causa da extrema mobilidade das suas moleculas; todavia, parece que a sua con-

ductibilidade é quasi nulla, fazendo apenas excepção o hydrogenio que é, até certo ponto, bom conductor do calor.

Os gazes aquecem-se da mesma fórma que os liquidos, isto é, por meio de correntes ascendentes e descendentes que põem successivamente as suas camadas em contacto com o foco calorifico.

269. **APPLICAÇÕES DA CONDUCTIBILIDADE.** — Os factos que fizemos conhecer têm recebido nas artes e na vida commum numerosas applicações. Se, por ventura, quizermos impedir um corpo de aquecer ou arrefecer, envolvel-o-hemos de substancias más conductoras do calor. E' assim que para conservar o gelo no verão o cercamos de palha ou o embrulhamos n'um panno de lã.

E' o que fazemos tambem, vestindo-nos de substancias más conductoras, taes como os tecidos de lã, algodão, etc., que devem a propriedade preciosa de não conduzirem o calor ao ar que reteem nas suas malhas.

Aproveitam-se os corpos bons conductores para a fabricação dos utensilios de cosinha, mas é necessario munil-os de cabos de madeira para o calor se não transmittir ás mãos.

## CAPITULO IV

### Calorimetria

Calorimetria: capacidade calorifica, quantidade e unidade do calor. Determinação dos calores especificos. Lei de Dulong e Petit. Calores latentes.

270. **CALOR ESPECIFICO.** — Chama-se *calor especifico* ou *capacidade calorifica* á quantidade de calor que a unidade de peso d'esse corpo absorve para passar de 0° a 1°, comparada com a quantidade de calor que a unidade de peso da agua absorve para se elevar de 0° á mesma temperatura. O calor especifico da agua é, pois, o que se toma por unidade, e tem o nome de *caloria*.

Com facilidade se reconhece que nem todos os corpos teem o mesmo calor especifico. Se, por exemplo, misturarmos 1 kilogramma de mercurio a 100° com outro d'agua a 0°, observamos que a temperatura do metal se abaixa 97° e que a quantidade de calor que perdeu apenas eleva a temperatura d'agua 3°. A agua em egualdade de volume absorve, pois, 32 vezes mais calor do que o mercurio para uma egual elevação de temperatura.

Uma outra experiencia, devida a Tyndall, põe bem em evidencia que todos os corpos, em egualdade de peso e de temperatura, contêm quantidades de calor muito diferentes. Forma-se n'um molde um prato de cêra amarella de 15 a 20 centimetros de diametro e de proximo de 12 millimetros d'espessura, e depois d'arrefecido colloca-se n'um suporte annular. Aquecem-se então n'um banho d'azeite a 180° pequenas esferas de diferentes metaes e todas do mesmo peso e, quando estão á temperatura do banho, retiram-se e collocam-se no prato de cêra. Todas a fundem, mas com desigual velocidade. O ferro implanta-se vivamente na cêra e passa immediatamente atravez, em seguida o cobre, depois o estanho que funde a cêra, mas não consegue passar: o chumbo e o bismutho nem chegam a metade da espessura do disco.

Os apparatus destinados a medir os calores especificos dos corpos chamam-se *calorimetros*.

271. QUANTIDADE DE CALOR. — A quantidade de calor que um corpo pôde absorver ou emittir para passar d'uma temperatura a outra é necessariamente proporcional ao seu peso, ao numero de graus de temperatura que adquire ou perde e ao seu calor especifico. Por conseguinte, a *quantidade de calor que possui um corpo é egual ao producto do peso d'esse corpo pela sua temperatura e pelo seu calor especifico*. Representando por  $q$  a quantidade de calor d'um corpo, por  $m$  o seu peso, por  $t$  a temperatura e por  $c$  o calor especifico, teremos

$$q = mtc$$

272. DETERMINAÇÃO DO CALOR ESPECIFICO DOS CORPOS SOLIDOS. — Para medir o calor especifico dos corpos tem-se empregado tres methodos: o methodo das *misturas*, o da fusão do *gelo* e o do arrefecimento. Apenas descreveremos os dois primeiros.

1.º *Methodo das misturas*. O methodo das misturas deve-se a Black e applica-se tanto aos solidos, como aos liquidos, como aos gazes. O aparelho necessario é um *calorimetro d'agua*, isto é, um vaso de latão ou de prata, de paredes delgadas e polidas, sustentado por fios de seda para evitar o desperdicio de calor por conductibilidade. O vaso está cheio d'agua, e um agitador de vidro serve para agitar o liquido de modo a uniformisar-se a temperatura em todos os seus pontos.

Seja  $m$  o peso e  $t$  a temperatura, proxima de  $100^\circ$ , d'um corpo solido cujo calor especifico  $x$  se quer determinar. Mergulha-se rapidamente esse corpo na agua fria do calorimetro, cuja massa  $M$  está a uma temperatura inicial  $t'$ . Sejam tambem  $m'$  o peso conhecido do calorimetro e  $c$  a sua capacidade calorifica tambem conhecida. Agita-se a mistura até a agua chegar á temperatura maxima  $\theta$ .

Como o corpo se arrefeceu um numero de graus igual a  $t - \theta$ , a quantidade de calor que perdeu tem por medida  $mx(t - \theta)$ .

Ora essa quantidade de calor é exactamente igual á adquirida pela agua, isto é,  $M(\theta - t')$  sommada com a adquirida pelo vaso  $m'c(\theta - t')$ .

Assim se estabelecerá a seguinte equação:

$$mx(t - \theta) = M(\theta - t') + m'c(\theta - t')$$

ou

$$mx(t - \theta) = (M + m'c)(\theta - t')$$

d'onde

$$x = \frac{(M + m'c)(\theta - t')}{m(t - \theta)}$$

Substitue-se muitas vezes  $m'c$  pela letra  $\mu$  que designa o peso d'agua que absorveria a mesma quantidade de calor que o vaso, ao que se chama o *calorimetro reduzido a agua*, o que transforma a equação na seguinte:

$$x = \frac{(M + \mu)(\theta - t')}{m(t - \theta)}$$

Para dar a este processo todo o rigor, é necessario tomar conta da perda de calor por irradiação, e por conductibilidade pelo agitador, pelo thermometero, etc.

2.º *Methodo de fusão do gelo*. Se misturarmos um kilogramma de gelo em fragmentos a  $0^\circ$  com um kilogramma d'agua a  $79^\circ$ , todo

o gelo funde e obteem-se dois kilogrammas d'agua a 0°. Quer isto dizer que um kilogramma d'agua a 0° absorve para mudar d'estado, 79 calorias, ou a quantidade de calor necessario para elevar 1 kilogramma d'agua liquida de 0° a 79°. Bastará, pois, conhecer a quantidade de gelo que um corpo funde, baixando d'uma temperatura conhecida a 0°, para se determinar com facilidade o seu calor especifico. O aparelho que serve para isso tem o nome de *calorimetro de Laplace e Lavoisier*.

O instrumento compõe-se de tres vasos concentricos de folha de Flandres. O do centro serve para receber o corpo cujo calor especifico se quer conhecer; os outros dois estão cheios de gelo em fragmentos, estando igualmente coberta de gelo a tampa do vaso. O gelo do vaso médio é destinado a ser fundido pelo corpo quente, ao passo que o do vaso exterior e o que está collocado na tampa serve para impedir que o calor ambiente actue sobre o gelo do vaso médio, que deve ser fundido apenas pelo corpo quente e recolhido com todo o cuidado por meio d'uma torneira.

Conhecido o instrumento, seja  $m$  o peso em kilogrammas do corpo introduzido no calorimetro,  $t$  a sua temperatura e  $P$  o peso do gelo que esse corpo fundiu ao passar de  $t^\circ$  a 0°. A quantidade de calor perdida por esse corpo será  $mtc$ ; a quantidade de calor necessaria para fundir um peso  $P$  de gelo é igual a  $P \times 79$  calorias, visto que um kilogramma de gelo absorve para fundir 79 unidades de calor. Ora, sendo eguaes estas duas quantidades, visto que a quantidade de calor que o corpo perdeu foi inteiramente absorvida pelo peso de gelo fundido, teremos

$$mtc = 79P$$

d'onde se tira

$$c = \frac{79P}{mt}$$

Este methodo tem diferentes cousas d'erro, sendo a principal que uma parte da agua proveniente da fusão se conserva adherente ao gelo que não se fundiu, e portanto não póde ser avaliado exactamente o peso  $P$ . De mais a mais, o ar exterior que penetra no calorimetro augmenta a quantidade de gelo fundido. Para evitar estes inconvenientes, Black serviu-se do *poço de gelo* que não é mais do que um pedaço de gelo em que se praticou por meio do ferro em braza um buraco destinado a receber o corpo, e coberto por outro pedaço de gelo. De resto, a avaliação faz-se, do mesmo modo, pela avaliação da quantidade de gelo fundido.

273. CALORES ESPECIFICOS DOS LIQUIDOS. — Os calores especificos dos liquidos determinam-se tambem pelo methodo das misturas ou pelo do calorimetro de gelo de Laplace e Lavoisier. Para empregar este methodo, é, todavia, preciso encerral-os em tubos de vidro muito

delgados que são collocados, como os corpos solidos, no vaso interior do calorimetro. No resultado obtido é necessario levar em linha de conta a quantidade de gelo fundida pelo involucro, cujo peso e calor especificos são conhecidos. O calculo é feito egualmente pela quantidade de gelo fundido.

**Calores especificos dos principaes corpos solidos ou liquidos entre 0° e 100°**

|                 |        |                |        |
|-----------------|--------|----------------|--------|
| Agua .....      | 1,0000 | Zinco .....    | 0,0955 |
| Mercurio .....  | 0,0333 | Ferro .....    | 0,1138 |
| Prata .....     | 0,0570 | Enxofre .....  | 0,2025 |
| Ouro .....      | 0,0324 | Carvão .....   | 0,2115 |
| Cobre .....     | 0,0940 | Vidro .....    | 0,1976 |
| Antimonio ..... | 0,0507 | Chumbo .....   | 0,0314 |
| Platina .....   | 0,3140 | Bismutho ..... | 0,0308 |

O calor especifico de cada corpo não é constante ás differentes temperaturas. Dos trabalhos de Dulong e Petit resulta effectivamente que os calores especificos augmentam com a temperatura, e que este augmento é tanto mais sensivel quanto mais os corpos se approximam do seu ponto de fusão. Os calores especificos dos liquidos augmentam muito mais rapidamente que os dos solidos, á excepção da agua cuja capacidade calorifica augmenta muito menos que a dos outros liquidos. Emfim, uma mesma substancia possui no estado liquido maior calor especifico do que no estado solido; por exemplo a capacidade calorifica do gelo é metade da da agua. No estado gazoso, o calor especifico é ainda menor do que no estado liquido.

274. CALORES ESPECIFICOS DOS GAZES. — Os calores especificos dos gazes foram determinados por Delaroché e Berard em 1812, pelo methodo das misturas, convenientemente modificado.

O gaz cuja capacidade calorifica se desejava determinar, passava com uma temperatura determinada n'uma serpentina cercada d'agua fria, e notava-se o numero de graus que se elevava a temperatura. Sendo egual a quantidade de calor cedida pelo gaz á quantidade de calor absorvida pela agua, pelas paredes do vaso e pela serpentina, obtinha-se assim uma equação d'onde era facil tirar o calor especifico procurado. O termo de comparação podia ser o calor especifico da agua — a *caloria* —, ou o do ar atmosferico.

**Calores especificos dos gazes simples em relação á agua**

|                  |         |
|------------------|---------|
| Oxygenio .....   | 0,21751 |
| Hydrogenio ..... | 0,40900 |
| Azote .....      | 0,24380 |
| Chloro .....     | 0,12099 |

275. LEI DE DULONG E PETIT. — Dulong e Petit em 1820 descobriram a seguinte lei: *Os atomos dos diferentes corpos simples, solidos ou liquidos, teem todos o mesmo calor especifico.* Reconheceram effectivamente aquelles dois physicos, que multiplicando os numeros que exprimem os calores especificos dos diferentes corpos simples, solidos ou liquidos pelo seu peso atomico, se obtem *um producto sensivelmente constante.* Este producto é em média 6,4 e representa o que se chama *calor atomico.* D'aqui se segue que se se tomassem quantidades d'esses corpos simples proporcionaes aos seus pesos atomicos, seria precisa a mesma quantidade de calor para elevar um grau a sua temperatura.

276. CALORES LATENTES. — Quando os corpos passam do estado solido ao estado liquido, e d'este ao gazo, absorvem grandes quantidades de calor que por assim dizer desaparecem, motivo porque se lhes chama *calor latente* de fusão e de vaporisação.

Dá-se o nome de *calor latente de fusão* ao numero de calorias necessario para 1 kilogramma d'esse corpo *passar ao estado liquido sem elevação de temperatura.*

Chama-se *calor latente de vaporisação* — o numero de calorias que absorve 1 kilogramma d'um liquido para se vaporisar sem augmento de temperatura.

A medição dos calores latentes de fusão e volatilisação faz-se pelo methodo das misturas, procedendo do mesmo modo que para encontrar os calores especificos. Imaginemos que queremos obter o *calor latente de fusão* da agua. Temos um peso  $M$  de gelo a  $0^\circ$ , e  $m$  um peso d'agua a  $t^\circ$ , bastante para fundir todo o gelo. Deita-se este dentro da agua, e mede-se a temperatura  $\theta$  a que fica a mistura. A agua, arrefecendo de  $t^\circ$  a  $\theta$ , cedeu uma quantidade de calor igual a  $m(t - \theta)$ . Quanto ao gelo, se representarmos por  $x$  o seu calor de fusão, consumiu para passar ao estado liquido uma quantidade de calor  $Mx$ , mas, além d'isto, a agua ainda se eleva de  $0^\circ$  a  $\theta$ , tomando então uma quantidade de calor  $M\theta$ . D'aqui se estabelece a seguinte equação:

$$Mx + M\theta = m(t - \theta)$$

d'onde com facilidade se tira o valor de  $x$ .

#### Calores de fusão de diferentes corpos simples e compostos

|                              |       |                          |       |
|------------------------------|-------|--------------------------|-------|
| Gelo . . . . .               | 79,25 | Bismutho . . . . .       | 12,64 |
| Azotato de potassa . . . . . | 62,97 | Enxofre . . . . .        | 9,37  |
| Zinco . . . . .              | 28,13 | Chumbo . . . . .         | 5,57  |
| Prata . . . . .              | 21,07 | Phosphoro . . . . .      | 5,03  |
| Estanho . . . . .            | 14,25 | Liga de Darcet . . . . . | 4,50  |
| Cadmio . . . . .             | 13,66 | Mercurio . . . . .       | 2,83  |

## CAPITULO V

## Mudanças d'estado

Mudanças d'estado. Leis da fusão e da solidificação. Dissolução. Crystallisação. Misturas frigerificas

277. FUSÃO. — Quando applicamos calor a um corpo solido vimos já que se dilata e aquece. Se esta dilatação chega a um ponto extremo, o equilibrio da molecula rompe-se, e a força de cohesão é igualada pela de repulsão do calor, passando o corpo de solido a liquido. Esta mudança d'estado é o que se chama *fusão*. Alguns corpos, como a lã e certos saes não fundem debaixo da acção d'uma temperatura elevada, mas decompõem-se. De todos os corpos solidos, só o carbone não póde ser fundido até hoje.

278. LEIS DA FUSÃO. — A fusão está sujeita ás duas seguintes leis que facil é verificar pela experiencia e observação :

1.<sup>a</sup> lei. *Conservando-se invariavel a pressão, a temperatura de fusão é constante para cada corpo.* Esta temperatura chama-se *ponto de fusão*.

2.<sup>a</sup> lei. *A temperatura conserva-se constante durante todo o tempo que dura a fusão.*

279. FUSÃO VITREA. — As leis da fusão foram estabelecidas, suppondo que os corpos passam rapidamente do estado solido ao liquido, mas alguns corpos subtraem-se a esta lei geral, passando por um periodo d'amollecimento que torna difficil dizer qual seja a sua *temperatura de fusão*. Assim acontece com o vidro, resinas, etc.

A este phenomeno chama-se *fusão vitrea*, porque o vidro o apresenta muito notavelmente ; a elle se deve o processo especial de o accomodar ás mais differentes formas.

## Tabella das temperaturas de fusão de diferentes substancias

|                       |     |                       |       |
|-----------------------|-----|-----------------------|-------|
| Mercurio . . . . .    | 39  | Zinco . . . . .       | 360   |
| Gelo . . . . .        | 0   | Prata . . . . .       | 1:000 |
| Phosphoro . . . . .   | 43  | Ferro fundido branco  | 1:100 |
| Potassio . . . . .    | 58  | Ferro fundido cin-    |       |
| Stearina . . . . .    | 60  | zento . . . . .       | 1:200 |
| Cera virgem . . . . . | 63  | Ouro . . . . .        | 1:250 |
| Sodio . . . . .       | 90  | Ferro macio . . . . . | 1:500 |
| Enxofre . . . . .     | 115 | Platina . . . . .     | 2:000 |
| Estanho . . . . .     | 230 | Iridio . . . . .      | 2:500 |
| Chumbo . . . . .      | 320 |                       |       |

280. DISSOLUÇÃO — MISTURAS FRIGORIFICAS. — Muitas vezes, para fazermos mudar de estado um corpo, não é necessario recorrer á fusão. Basta fazer actuar sobre elle um liquido, porque este o vae apropriando á sua massa; a este phenomeno dá-se o nome de *dissolução*.

Não ha temperatura fixa para a dissolução, mas o que se dá quasi sempre é uma absorpção de calor que se traduz manifestamente por um abaixamento da temperatura do liquido.

O phenomeno da dissolução parece depender d'uma acção chimica que em alguns casos se torna bem clara. Como em todas as combinações ha aquecimento, este póde predominar sobre o abaixamento devido á mudança d'estado, e ainda mais, haver uma ou outra cousa, consoante as quantidades d'uma e outra substancia.

Misturando os liquidos e solidos de modo a que haja abaixamento de temperatura, obtemos o que se chamam *misturas frigoriferas*.

A mistura mais usada para fazer sorvetes, isto é, para congelar xaropes, é formada de gelo e sal das cosinhas; uma parte d'este para duas d'aquelle produz um abaixamento de temperatura de 20°.

Nas *sorveteiras de familia* emprega-se uma mistura de 8 partes de sulfato de soda para 5 d'acido chlorhydrico.

281. SOLIDIFICAÇÃO OU CONGELAÇÃO. — Dá-se este nome ao phenomeno inverso da  *fusão*, isto é, á passagem d'um corpo do estado liquido para o solido. Recorre-se para isso á producção do frio mais ou menos intenso.

Ha liquidos que ainda se não conseguiram solidificar, mas esse facto deve-se certamente aos imperfeitos meios de que ainda dispomos.

282. LEIS DA SOLIDIFICAÇÃO. — O phenomeno da solidificação é regido por leis analogas ás da fusão e que podem enunciar-se assim :

1.º *Cada substancia começa a solidificar-se a uma temperatura constante, que é a do seu ponto de fusão.*

2.º *A temperatura de solidificação conserva-se constante emquanto dura a mudança d'estado.*

283. VARIAÇÃO DE VOLUME PELA SOLIDIFICAÇÃO. — Os corpos diminuem de volume com a solidificação, e apenas alguns deixam de estar sujeitos a esta regra geral. Taes são o ferro, a prata, a agua e poucos mais.

E' por este motivo que o gelo fluctua á superficie dos lagos, que os rochedos estalam com a congelação da agua, etc.

284. SOBRE-FUSÃO. — Se, depois de termos reduzido ao estado liquido qualquer corpo, o deixarmos arrefecer lentamente e livre de qualquer agitação, podemos vel-o passar além da temperatura de congelação, sem que se solidifique. Este phenomeno recebeu o nome de *sobre-fusão*.

285. REGELO. — Chama-se assim um curioso phenomeno, descoberto por Faraday, e que consiste na passagem ao estado solido da agua que molha dois pedaços de gelo fundente. Este phenomeno explica o movimento das geleiras e a facilidade com que se amoldam nos valles que percorrem ; n'elle se baseia tambem a modelação do gelo, imaginada por Tyndall.

A modelação é feita tomando gelo em fragmentos que são collocados entre duas peças de madeira dura, deixando

entre si uma cavidade de fórma lenticular. Submettendo-os a uma forte pressão, retira-se do molde uma lente de gelo dura, homogenea e d'uma perfeita transparencia.

Collocando entre dois supportes um bloco de gelo e applicando sobre elle um fio de ferro ou de qualquer outro metal, que esteja tenso por um peso applicado aos dois topos reunidos, vê-se este fio penetrar pouco a pouco na massa do gelo, ao mesmo tempo que os dois fragmentos se vão soldando á medida que são cortados. Ao cabo d'um certo tempo, o fio tem atravessado todo o pedaço de gelo sem deixar vestigio da sua passagem. Comprehende-se bem que a agua produzida pelo gelo atravessado pelo fio, se regela immediatamente e determina este phenomeno.

286. CRYSTALLISAÇÃO.— Quando um liquido passa lentamente ao estado solido, sem perturbação nem agitação alguma, as suas moleculas dispõem-se em pequenas massas de formas regulares e geometricas. A estas pequenas massas limitadas por face planas, o que é o mesmo que dizer por arestas rectilneas, dá-se o nome de *crystaes*.

Chama-se *crystallisação* á produção de *crystaes*.

Esta póde executar-se por dois modos: por *via secca* ou por *via humida*.

Diz-se que a *crystallisação* é por *via secca* quando reduzimos os corpos ao estado liquido, pela applicação do calor, e os deixamos depois lentamente solidificar. Diz-se que é por *via humida* quando os dissolvemos n'um vehiculo apropriado, e deixamos que o liquido se volatilise lentamente.

Quando o liquido se solidifica rapidamente, as suas moleculas não se podem agrupar com regularidade e por conseguinte ficam em equilibrio instavel. Diz-se então que o solido está *temperado*. Adquire por este facto mais dureza e fragilidade.

## CAPITULO VI

## Vaporisação

Vaporisação. Vapores no vazio. Tensão maxima do vapor d'água a diferentes temperaturas. Leis da mistura dos gazes e dos vapores. Evaporação; circumstancias que a acceleram. Ebullição. Causas que alteram o ponto d'ebullição. Distillação. Alambiques. Marmita de Papin.

287. VAPORISAÇÃO. — Quasi todos os liquidos pódem, sob a influencia do calor, ou espontaneamente, transformar-se em fluidos elasticos a que se dá o nome de *vapores*. A producção de vapores chama-se *vaporisação*.

Os vapores são verdadeiros gazes cuja tensão ou força elastica augmenta com a temperatura: apenas differem dos gazes ordinarios na maior facilidade com que voltam ao estado liquido, quer debaixo da acção da pressão, quer da do abaixamento de temperatura.

A vaporisação póde fazer-se lenta ou rapidamente: d'aqui duas ordens de phenomenos que nos cumpre estudar, a evaporação e a ebullição.

Ha corpos solidos, como são o iodo e a camphora que passam directamente do estado solido ao gazoso, sem passarem pelo estado liquido. Diz-se então que esses corpos se *sublimam*.

288. FORMAÇÃO DOS VAPORES NO VACUO. — A pressão atmospherica é um obstaculo á passagem do estado liquido ao de vapor. Quando, pois, esteja reduzida a 0<sup>o</sup>, a formação de vapores deverá ser muito rapida. E' effectivamente o que acontece. *No vacuo a formação de vapores é instantanea*.

Se introduzirmos n'um tubo barometrico uma gotta d'um liquido volatil, este atravessa o mercurio, em virtude da sua menor densidade, e, chegando á camara barometrica, vaporisa-se, fazendo deprimir a columna mercurial. Isto prova o que acima dizemos, a proposito da formação de vapores no vacuo.

289. ESPAÇO SATURADO: TENSÃO MAXIMA. — Continuando a introduzir pequenas quantidades do mesmo liquido, estas vão-se tambem volatisando, abaixando cada vez mais o nivel do mercurio; mas chega um momento em que vemos apparecer o liquido superiormente sem que mude d'estado. Diz-se então que o espaço está *saturado*, ou que os vapores estão á *saturação*.

Se repetirmos a celebre experiencia de Mariotte por meio do tubo descripto a pag. 126, reconhecemos que, augmentando ou diminuindo o espaço occupado pelo vapor, este segue a lei de Mariotte, estando o seu volume na razão inversa das pressões que supporta. Se, porém, continuarmos a fazer mergulhar o tubo, chega um momento em que apparece sobre o mercurio uma certa quantidade de liquido. Isto traduz-se em dizer que o vapor tem uma *tensão maxima* que não é possível ultrapassar.

Os vapores comportam-se, pois, em quanto não tiverem chegado á saturação, exactamente como os gazes. Attingida a saturação, levantando ou abaixando o tubo de Mariotte, a altura do mercurio fica sempre a mesma, desde o momento que se conserve igual a temperatura. Levantando o tubo, uma nova porção de liquido vaporisa-se, ficando o espaço novamente saturado; abaixando-o, uma certa quantidade de vapor liquefaz-se e a pressão exercida é a mesma.

Prova-se experimentalmente que: 1.º a *tensão maxima d'um vapor cresce com a temperatura*, o que é facil de verificar experimentando a diferentes temperaturas e 2.º *os vapores dos diversos liquidos não teem a mesma tensão maxima*, o que tambem é susceptivel de demonstração experimental, servindo-nos de varios tubos barometricos em que façamos penetrar diferentes especies de liquidos.

290. MEDIDA DA TENSÃO MAXIMA DO VAPOR D'AGUA A DIFFERENTES TEMPERATURAS. — A tensão maxima do vapor d'agua varia consideravelmente entre 0º e 100º e póde medir-se por meio d'um apparelho chamado *apparelho de Dalton*. Compõe-se de dois barometros que ambos mergulham n'uma tina de ferro fundido C e envolvidos por uma manga de vidro M. Esta manga assenta sobre o mercurio e contem agua que póde ser aquecida por meio d'um forno F collo-

cado por baixo da tina. Um thermometro T permite conhecer a cada instante a temperatura do liquido. Introduz-se n'um dos barometros uma pequena quantidade d'agua E, privada d'ar, e aquece-se a agua da manga, tendo o cuidado de a agitar para conservar toda a massa a uma temperatura uniforme. Ora, á medida que se vae aquecendo o liquido, parte da agua contida no barometro B vaporisa-se e vê-se o nivel do mercurio baixar cada vez mais. A differença d'altura entre esse nivel e o nivel constante  $h$  do mercurio no barometro A dá, para cada temperatura, a medida da tensão maxima do vapor d'agua. Quando a temperatura da agua da manga chega a  $100^{\circ}$ , isto é, á da ebullição da agua ao ar livre, o mercurio do barometro B em que existe vapor abaixa-se até ao nivel do mercurio na tina, o que prova que a *força elastica do vapor d'agua á temperatura d'ebullição d'este liquido é equal á pressão atmospherica*. Este principio é verdadeiro para todos os outros liquidos; assim a força elastica do vapor d'ether é equal á pressão atmospherica, á temperatura de  $35^{\circ}$ , que é a da ebullição d'este liquido; a do vapor d'alcool a  $79^{\circ}$ , a do mercurio a  $360^{\circ}$ , etc.

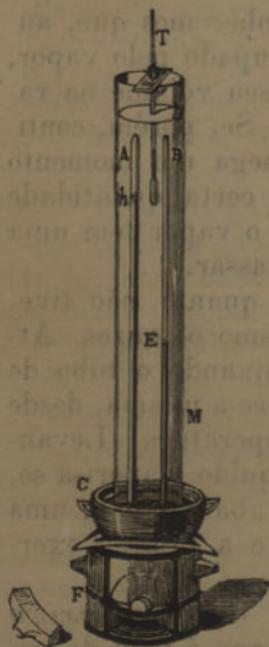


Fig. 89

Na experiencia que descrevemos, a depressão de mercurio não pôde ser tomada por medida da tensão maxima do vapor, sem que soffra a correccção necessaria para referir a temperatura dos dois tubos a  $0^{\circ}$ . E' preciso ter ainda em linha de conta o peso da pequena columna de liquido E que supporta o mercurio no tubo B e emfim as acções capillares devidas ás curvaturas differentes do mercurio e da agua, ou do outro liquido que se experimentar.

A força elastica do vapor d'agua acima de  $100^{\circ}$  foi medida exactamente por Dulong e Arago, determinando a temperatura a que a agua ferve a differentes pressões. Por outro lado, Gay-Lussac mediu a força elastica do vapor d'agua abaixo de  $0^{\circ}$  por meio de dois barometros, um dos quaes servia para medir a cada instante a pressão atmospherica, ao passo que o outro era recurvado de modo a que uma parte da sua camara barometrica ficasse cercada por uma mistura refrigerante. Estas experiencias foram repetidas por Regnault, e os resultados que constam do quadro seguinte demonstram que a tensão acima de  $50^{\circ}$  cresce muito mais rapidamente do que a temperatura.

## Tensões do vapor d'água desde — 10° a 100°, segundo Regnault

| Temperaturas | Tensões em millímetros de mercúrio a 0° | Temperaturas | Tensões em millímetros de mercúrio a 0° | Temperaturas | Tensões em millímetros de mercúrio a 0° | Temperaturas | Tensões em millímetros de mercúrio a 0 |
|--------------|---|--------------|---|--------------|---|--------------|--|
| — 10         | 2,093                                   | 20°          | 17,391                                  | 50°          | 91,982                                  | 80°          | 354,643                                |
| — 5          | 3,131                                   | 25           | 23,550                                  | 55           | 117,478                                 | 85           | 433,041                                |
| 0            | 4,600                                   | 30           | 31,548                                  | 60           | 148,791                                 | 90           | 525,450                                |
| + 5          | 6,534                                   | 35           | 41,827                                  | 65           | 186,945                                 | 95           | 633,788                                |
| 10           | 9,165                                   | 40           | 54,906                                  | 70           | 233,093                                 | 100          | 760,000                                |
| 15           | 12,699                                  | 45           | 71,391                                  | 75           | 288,517                                 |              |  |

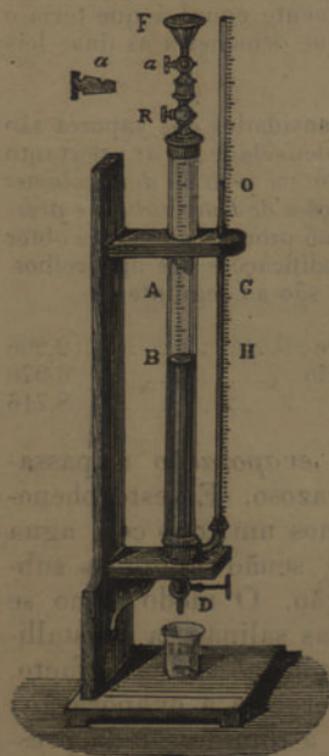


Fig. 90

291. LEI DAS MISTURAS DE GAZES E VAPORES — Se encerrarmos um liquido n'um espaço fechado, emite tambem vapores que podem attingir a sua *tensão maxima*. Obtem-se assim uma mistura de gaz e vapor, a qual está sujeita a duas leis que foram descobertas por Dalton e que são as seguintes: 1.° *A tensão d'um vapor que satura um espaço cheio de gaz é a mesma que seria se esse espaço fosse vazio.* 2.° *A força elastica d'uma mistura de gaz e vapor é igual á somma das forças elasticas de cada um.*

Estas duas leis demonstram-se por meio d'um apparelho imaginado por Gay Lussac e representado na fig. 90. Compõe-se elle d'um largo tubo de vidro A, dividido em partes d'egual capacidade e communicando com um tubo mais estreito C, aberto na sua extremidade superior e dividido em partes d'egual comprimento. O tubo A termina por duas torneiras de ferro R e D. Estando o apparelho cheio de mercúrio, introduz-se dentro d'elle uma pequena quantidade d'ar ou gaz secco, para o que basta pôr em communicação com a torneira R um balão cheio d'ar ou de qualquer outro gaz e abrir

as duas torneiras R e D. Uma parte do mercurio que enchia o tubo escóo-se pela torneira inferior D e é immediatamente substituído pelo ar do balão. Fecham-se então as torneiras e deita-se mercurio no pequeno tubo C até que os dois níveis B e H fiquem á mesma altura. D'este modo o ar ou o gaz encerrado na extremidade superior do tubo A e o nível do mercurio B tem uma elasticidade igual á pressão atmospherica. Feito isto, aparafusa-se no lugar do balão um pequeno funil F munido d'uma torneira *a* que, em vez de ser vasada de lado a lado, tem apenas uma pequena cavidade. Enche-se o funil com o liquido que se quer vaporisar, e depois de aberta a torneira R, faz-se girar a torneira *a* de modo que a sua cavidade se encha de liquido e o lance depois no espaço A. Continua-se assim até que o espaço esteja completamente saturado de vapor, isto é, até que o mercurio deixe de baixar no grande tubo A e de subir no pequeno tubo C. Obtido este resultado, faz-se subir o nível de mercurio no tubo grande de A para B, em que se achava precedentemente, lançando mercurio no pequeno tubo C até á altura precisa O. O gaz conservou a mesma força elastica que tinha, visto que é igual o seu volume; logo a differença entre os dois níveis representa a tensão do vapor. Esta tensão é precisamente igual á que teria o mesmo vapor no vacuo barométrico; o que demonstra as duas leis precedentemente enunciadas.

292. DENSIDADE DOS VAPORES. — As densidades dos vapores são medidas como as dos gazes, em relação á densidade do ar; portanto chama-se densidade d'um vapor a *relação em peso de dois volumes eguaes de vapor e de ar, nas mesmas condições de temperatura e pressão*. Para a determinar, emprega-se o mesmo processo que para obter a densidade dos gazes, com pequenas modificações nos apparatus.

As densidades dos vapores principaes são as seguintes:

|             |       |               |       |
|-------------|-------|---------------|-------|
| Agua.....   | 0,622 | Enxofre.....  | 2,206 |
| Alcool..... | 1,613 | Mercurio..... | 6,976 |
| Ether.....  | 2,586 | Iodo.....     | 8,716 |

293. EVAPORAÇÃO. — Chama-se *evaporação* á passagem lenta d'um liquido ao estado gazoso. E' este phenomeno que se produz quando deixamos um copo com agua e passado tempo não encontramos senão algumas substancias que ella tinha em dissolução. O modo como se secca a roupa, a extracção do sal das salinas, a crystallisação por via humida, etc., são applicações d'este facto.

São variadas as causas que favorecem a evaporação: taes são a elevação da temperatura, a diminuição da pressão exterior, a seccura do ar, e a extensão da superficie d'evaporação.

294. EBULLIÇÃO. — Chama-se *ebullição* a passagem tumultuosa e rápida d'um liquido ao estado de vapor.

Este phenomeno está sujeito a tres leis que podem enunciar-se assim:

1.<sup>a</sup> *A temperatura a que começa a ebullição é fixa para cada liquido, quando esteja collocado nas mesmas condições;*

2.<sup>a</sup> *A temperatura conserva-se invariavel durante todo o tempo que dura a ebullição.*

3.<sup>a</sup> *O liquido começa a ferver á temperatura em que a tensão do seu vapor é igual á pressão que se exerce sobre a sua superficie.*

295. CAUSAS QUE FAZEM VARIAR A TEMPERATURA DE EBULLIÇÃO. — As causas que influem na temperatura de ebullição são multiplas, mas podem reduzir-se a quatro grupos: 1.<sup>o</sup> a natureza do liquido; 2.<sup>o</sup> a natureza do vaso em que esteja contido; 3.<sup>o</sup> as substancias que tenha em dissolução; 4.<sup>o</sup> a pressão exterior.

1.<sup>o</sup> *Natureza dos liquidos.* — Como claramente é expresso na 1.<sup>a</sup> lei, cada corpo tem a sua temperatura de ebullição: a agua ferve a 100<sup>o</sup>, o ether a 35<sup>o</sup>,66, o mercurio a 360<sup>o</sup>, etc.

2.<sup>o</sup> *Natureza do vaso.* — Influe tambem muito na temperatura da ebullição. N'um vaso de vidro os liquidos ferverem a temperaturas mais elevadas do que em vasos de metal. Este facto é devido á adhesão dos liquidos para as paredes dos vasos.

3.<sup>o</sup> *Substancias em dissolução.* As substancias em dissolução n'um liquido retardam a sua temperatura d'ebullição. Assim a agua, saturada de sal marinho, ferve a 109<sup>o</sup>, de carbonato de potassa a 135<sup>o</sup>, etc.

4.<sup>o</sup> *Pressão exterior.* — Segundo uma das leis atraz enunciadas, a ebullição só começa quando a força elastica do seu vapor é igual á pressão exterior. Claramente se comprehende que o augmento ou diminuição de pressão deve trazer consigo igualmente a diminuição ou augmento da temperatura d'ebullição.

Sendo a pressão menor que a ordinaria, os liquidos ferverem a temperaturas mais baixas do que aquellas a que

costumam entrar em ebulição. Já sabemos que, ao nível dos mares e á pressão de 0,76, a agua ferve a 100', mas no cume das montanhas, em que a pressão é menor, ferve a uma temperatura mais baixa. No Monte-Branco, por exemplo, a temperatura de ebulição da agua é de 84°.

Para vemos a influencia da diminuição de pressão, façamos ferver a agua n'um matraz para expellir todo o ar; rolhemol-o e colloquemos o seu gargalo em agua fria.



Fig. 91

Cessa, passado algum tempo, a ebulição, e a agua fica sujeita á pressão do seu vapor, visto que o ar não voltou a entrar. Borrifando o matraz, uma parte do vapor da agua condensa-se, diminue a pressão e o liquido ferve a qualquer temperatura.

O mesmo effeito se produz com o *ferve-douro de Franklin* que se compõe d'um tubo de vidro, duas vezes curvado em angulo recto, e terminado em duas espheras de vidro. Dentro do instrumento apenas se contém uma certa quantidade d'agua que só está sujeita á pressão do seu proprio vapor. Apertando uma das espheras com a mão, o augmento de tensão propelle o liquido para a outra, e este, encontrando apenas ahi a pequena pressão do seu vapor, entra em ebulição immediatamente.

Note-se que, para a constituição e disposição do apparelho, se lança a agua por uma das espheras que está aberta; faz-se entrar o liquido na outra, e quando o ar tem sido expulso, achando-se o vaso cheio de vapores, fecha-se á lampada a esphera que deu entrada ao liquido.

Pela mesma lei atraz enunciada sobre a tensão que deve ter o vapor d'um liquido para que entre em ebulição, segue-se que todas as vezes que a pressão fôr em excesso, o liquido só ferverá a uma temperatura muito mais elevada. Se lançarmos, pois, a agua ou um liquido qualquer n'um vaso fechado, não poderá ferver porque a pressão que o vapor d'esse liquido irá determinando, augmentará com a temperatura. E' isto o que se demonstra claramente com a *marmitta de Papin*.

296. MARMITA DE PAPIN.— Compõe-se esta d'um vaso cylindrico de bronze, de paredes extremamente espessas e resistentes, tendo uma tampa feita do mesmo metal que se lhe pôde prender solidamente por meio d'um parafuso. Proximo do bordo da tampa ha um pequeno orificio que é exactamente obturado por um disco metallico. Sobre este disco assenta uma alavanca movel na sua extremidade com uma força que se pôde graduar, affastando um peso que escorrega sobre ella. Esta parte do apparelho é destinada a prevenir o perigo d'uma explosão, motivo porque se chama *valvula de segurança*. Para empregar a *marmita de Papin* enche-se d'agua até dois terços, e colloca-se sobre uma fornalha. Observa-se que o liquido excede muito a temperatura de  $016^{\circ}$  sem chegar á ebullição. A temperatura do vapor vae augmentando, e se chegar a vencer o peso da alavanca, escapa-se da machina um jacto de vapor, e a agua do vaso, que ainda não tinha fervido, apesar de estar a uma temperatura superior á da ebullição, ferve, arrefecendo até  $100^{\circ}$ .

A marmita de Papin emprega-se para augmentar o poder dissolvente d'alguns liquidos e para obter em pouco tempo a cocção das substancias alimentares. O seu uso, todavia, não se tem generalizado.

297. LIQUEFAÇÃO DOS VAPORES. — Tratemos agora do phenomeno inverso d'aquelles que temos estudado, e occupemos a nossa attenção com a passagem do estado de vapor para o estado liquido. Todas as vezes que um determinado espaço está saturado de vapor, o menor augmento de pressão ou a mais insignificante diminuição de temperatura são bastantes para fazer voltar uma parte do vapor ao estado liquido.

A compressão e a diminuição de temperatura são os agentes mais poderosos da liquefacção, não só dos vapores, mas tambem dos gazes, e com estes meios todos têm sido liquefeitos.

Durante a liquefacção, o vapor abandona, por assim dizer, o calor de vaporisação, o que se applica no aquecimento de banhos, etc. Os apparelhos que se baseiam n'este modo de aquecimento, compõem-se d'uma caldeira em que o vapor se produz e d'um systema de tubos em que circula e se condensa, cedendo ao meio ambiente o calor de vaporisação.

298. DISTILLAÇÃO — ALAMBIQUES. — A *distillação* é uma operação que consiste em reduzir um liquido a vapor para

depois de novo se condensar. O fim d'ella é separar dos liquidos substancias fixas ou d'umã volatilidade differente.

A distillação opera-se em vasos especiaes, conhecidos debaixo do nome de *alambiques*. Estes compõem-se de tres partes; a *caldeira*, o *capitel* e a *serpentina*. A *caldeira* representada na figura por *b* (fig. 92) é destinada a re-

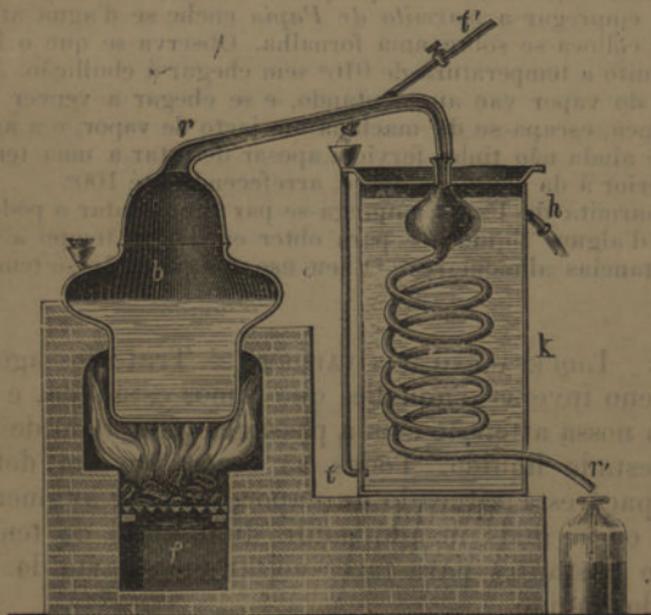


Fig. 92

ceber o liquido que se quer volatilizar e assenta directamente sobre um forno *f*. A' caldeira segue-se o *capitel* que communica por meio d'um tubo recurvado com a *serpentina* *k*, que é constituída por um tubo dobrado em espira, encerrado n'um vaso cheio d'agua fria, e aberto na sua parte inferior, para dar saída ao liquido que se condensa. A agua que cerca a serpentina deve ser a miudo renovada, porque aquece muito; é o que se consegue por meio do tubo *t* que tem adaptado á parte superior um funil.

Facilmente se comprehende o mechanismo do instrumento. O liquido contido na caldeira passa ao estado de

vapor e segue pelo capitel á serpentina. Ahi, em virtude do arrefecimento, condensa-se, que é o resultado que se pretende.

299. ESTADO ESFEROIDAL. — Se lançarmos n'uma lamina metallica, aquecida ao rubro, algumas gottas d'um liquido, ellas não entram em ebullição, formando globulos que umas vezes estão perfeitamente em repouso, outras são dotados d'um movimento rapido de rotação sobre si mesmos. A este estado deu-se o nome de *estado espheroidal*.

E' indispensavel que a barra metallica esteja sempre a uma elevada temperatura, porque se a deixamos ir esfriando lentamente, reconhecemos que chega um momento em que o liquido entra repentinamente em ebullição, e desaparece.

Ha duas leis que a experiencia demonstra presidirem ao estado espheroidal dos corpos: 1.º a temperatura dos liquidos no estado espheroidal é inferior á do seu ponto d'ebullição; 2.º Os liquidos no estado espheroidal não tocam os vasos.

A primeira lei verifica-se facilmente, lançando sobre uma capsula incandescente algumas gottas d'acido sulfuroso liquido, que se não conserva n'este estado ao ar livre porque ferve a uma temperatura de  $-10^{\circ}$ . O liquido passa ao estado espheroidal, e se lançarmos por cima algumas gottas d'agua, esta gela, presenciando-se então o facto verdadeiramente espantoso de se tirar uma certa quantidade de gelo d'uma capsula incandescente. Se substituirmos o acido sulfuroso pelo acido carbonico liquido, e lançarmos depois na capsula mercurio, obter-se-ha este corpo no estado solido, apesar de ser necessaria uma temperatura de  $-39^{\circ}$  para o congelar.

As leis do estado espheroidal explicam o facto de se poder mergulhar em chumbo derretido a mão molhada em agua, e humedecida com acido sulfuroso n'um banho de prata fundida. E' todavia necessario que a immersão não dure mais tempo do que o necessario para a evaporação do liquido.

## CAPITULO VII

### Arrefecimento produzido pela evaporação

Calor de vaporisação. Arrefecimento produzido pela evaporação.  
Experiencia de Leslie. Congeladores. Liquefacção dos gases

300. CALOR DE VAPORISAÇÃO. — Todas as vezes que um liquido passa ao estado gazoso, necessita para isso

d'uma grande quantidade de calor. D'aqui resulta que na evaporação, em que esta passagem se executa sem que o liquido receba o calor necessario, elle rouba-o aos corpos que o cercam, produzindo n'elles um abaixamento de temperatura. N'este facto se baseia a construcção dos vasos porosos usados em Hespanha e Portugal para a conservação da agua fresca. Repousa tambem n'elle a maior parte dos processos seguidos para a fabricacção industrial do gelo.

301. EXPERIENCIA DE LESLIE.— Leslie fez uma singela experiencia que mostra bem a importancia que tem a pressão atmospherica na formação dos vapores, e bem assim o arrefecimento produzido pela evaporação. Collocou no recipiente d'uma machina pneumatica ordinaria um vaso contendo acido sulfurico concentrado, e sobre elle uma pequena capsula contendo agua. Fazendo o vacuo, a agua entra em vaporisação rapida, os vapores formados são absorvidos pelo acido sulfurico que é muito avido d'agua e o frio produzido é tão intenso que a agua que se não evaporou é reduzida a gelo.

302. CONGELADORES DE CARRÉ.— Carré, tomando para ponto de partida esta experiencia, construiu apparatus que fornecem em poucos momentos grandes quantidades de gelo. Compõem-se estas machinas d'uma machina pneumática P e d'um grande reservatorio R (fig. 93), destinado a receber o acido sulfurico, e communicando com aquella por meio do tubo *b* e com a garrafa d'agua C pelo tubo *h* na continuidade do qual ha uma torneira *r*. E' isto o mais importante do apparatus que, posto em movimento, esfria em pouco tempo a agua, havendo formação de gelo ao cabo de 4 minutos.

303. FABRICO INDUSTRIAL DE GELO.— O gelo tem hoje innumeradas applicações nas industrias e no viver domestico; emprega-se tambem diariamente na medicina e cirurgia. O gelo póde ser *natural* ou *artificial*. O primeiro é o que se fórma no inverno nos paizes frios e que se conserva

nas geleiras. Nós consumimos muito gelo natural, importado da Noruega e outros paizes.

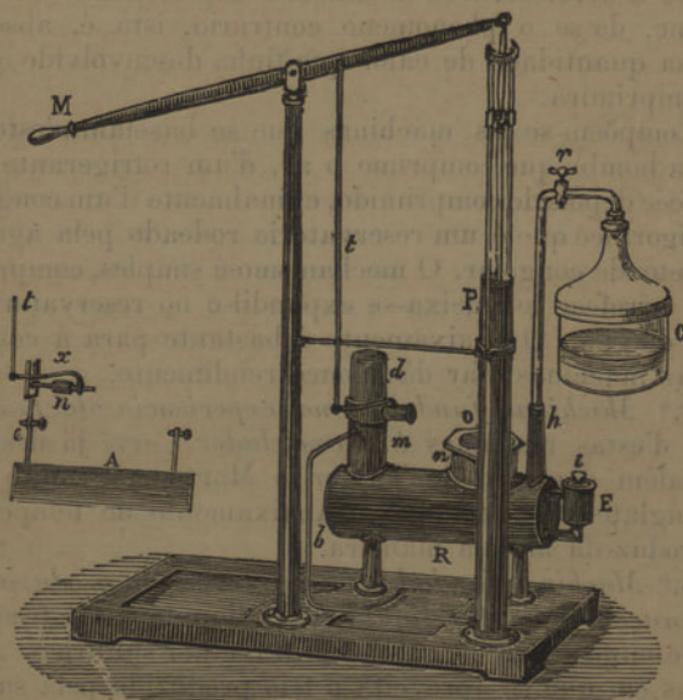


Fig. 93

O artificial é fabricado por diversas fôrmas, em appa-  
relhos especiaes. No uso domestico, como a quantidade que  
se pretende é pequena, empregam-se as *misturas frigorifi-  
cas* de que já fallamos (280). Quando, porém, se preten-  
dem quantidades maiores, recorre-se a machinas especiaes  
chamadas *machinas de gelo*.

304. MACHINAS DE GELO. — Estas machinas produzem  
o gelo utilisando-se do resfriamento produzido por differen-  
tes phenomenos: assim nas *machinas d'ar* aproveita-se o  
frio produzido pela dilatação dos gazes; n'outras repro-  
duz-se a celebre experiencia de Leslie; finalmente, n'ou-  
tras aproveita-se o abaixamento de temperatura produzido  
pela vaporisação de liquidos especiaes.

1.º *Machinas d'ar.* Fundam-se estas machinas no seguinte principio: se comprimirmos um gaz elle aquece, mas se o arrefecermos, deixando-o depois tomar um maior volume, dá-se o phenomeno contrario, isto é, absorve a mesma quantidade de calor que tinha desenvolvido quando se comprimira.

Compõem-se as machinas que se baseiam n'este facto n'uma bomba que comprime o ar, d'um refrigerante que o arrefece depois de comprimido, e finalmente d'um congelador ou frigorífico que é um reservatorio rodeado pela agua que se pretende congelar. O mechanismo é simples, comprime-se o ar, arrefece-se e deixa-se expandil-o no reservatorio cercado d'agua. O abaixamento é bastante para a congelar.

As machinas d'ar dão pouco rendimento.

2.º *Machinas fundadas na experiencia de Leslie.* O typo d'estas machinas é o *congelador Carré* já descripto. Ha, além d'este, o de Taylor e Martineau, muito usado na Inglaterra, e em que o abaixamento de temperatura se produz da mesma maneira.

3.º *Machinas fundadas no arrefecimento produzido pela evaporação de certos liquidos.* O liquido mais frequentemente empregado com este fim é o ether sulfúrico. As machinas em que se aproveita o frio produzido pela sua evaporação compõem-se: 1) d'um vaso fechado, contendo o ether que deve evaporar-se, e a que se dá o nome de *congelador*; 2) de uma bomba aspirante-premente; 3) e d'um *condensador* resfriado por uma corrente d'agua fria.

A bomba, movida por uma machina de vapor, aspira o ar e os vapores de ether do congelador e leva-os para o condensador. Evaporando-se o ether, rouba calor á agua salgada que está em volta do congelador e onde mergulham os vasos que contém o liquido que se quer congelar. O ether condensado volta de novo ao congelador.

Além d'este liquido empregam-se outros que fervem a temperaturas muito baixas; taes são o ether methilico, o acido sulfuroso, e o ammoniaco liquido, cuja evaporação se aproveita nas machinas Carré.

305. MACHINAS CARRÉ. — Estas machinas podem ser

*intermittentes* ou *contínuas*, conforme são destinadas a produzir pequenas ou grandes quantidades de gelo.

As mais pequenas, e de funcionamento intermitente, compõem-se essencialmente d'uma caldeira, que communica por meio d'um cylindro, continuado por um tubo, com o congelador que tem uma fórma tronco-conica de base voltada para cima e onde se introduz o cylindro destinado a receber o liquido que se quer gelar. Na grande tubuladura, superior á caldeira, ha duas valvulas, uma inferior que abre de baixo para cima, e outra que está na extremidade d'uma especie de syphão, e que abre de fóra para dentro. Na caldeira mergulha um tubo que não estabelece comunicação para o exterior e que recebe oleo em que mergulha o thermometro que regula toda a operação. Este thermometro só tem usualmente graduação superior a 130°. Lança-se uma solução aquosa extremamente concentrada de ammoniaco na caldeira e fecha-se o aparelho. Depois d'isto, colloca-se horisontalmente o congelador e a caldeira, de modo a que o primeiro fique superiormente, e deixa-se estar assim durante dez minutos para que passe para a caldeira alguma porção de liquido que por ventura exista no congelador. Colloca-se depois a caldeira n'uma fornalha, ao mesmo tempo que introduzimos o congelador n'uma tina com agua fria. Aquece-se até que o thermometro que está cercado d'oleo no tubo marque 130°; durante esta operação o ammoniaco vae-se desprendendo da sua solução, levanta a valvula e espalha-se no congelador, onde se condensa em virtude do arrefecimento e pela propria pressão.

Feito isto, retira-se a caldeira do fogo e mergulha-se na tina de modo a que fique envolvida em agua até aos tres quartos. Deixa-se esgotar a agua que está no congelador; rolha-se o orificio que tem, e introduz-se n'esse espaço o cylindro com a agua em xarope que se quer congelar. Por fóra d'este vaso lança-se alcool para conduzir o calor do xarope para o congelador, cobrindo-se este com um panno bem secco que, sendo máu conductor do calor, evita que o resfriamento seja annullado pela temperatura ambiente.

Por esta fórma o ammoniaco, abrindo a valvula, precipita-se para a caldeira, em cuja agua de novo se dissolve, mas este phenomeno produz-se á custa d'uma grande quantidade de calor que é roubado á agua ou xarope contido no congelador. No fim d'uma hora está a operação terminada.

Para destacar o gelo é necessario introduzir o cylindro em agua para que se funda a camada em contacto com elle.

Nas machinas de funcionamento continuo, o vapor, ao mesmo tempo que se evola da caldeira, é liquefeito e vae para o congelador, d'onde é levado para um vaso de absorpção contendo agua, onde de novo se reforma a solução aquosa que por meio d'uma bomba é levada para a caldeira.

Estas machinas têm um rendimento de gelo consideravel.

306. LIQUEFAÇÃO DOS GAZES. — Os gazes não passam de vapores muito afastados do seu ponto de saturação, e por isso é muito mais difficil a sua liquefacção. Para a conseguir, é necessario empregar uma pressão bastante consideravel ou um frio intenso; na maior parte das vezes é necessario usar dos dois meios simultaneamente.

*Liquefacção do chloro, do acido sulphydrico, do ammoniaco e do acido carbonico.* Davy e Faraday conseguiram liquefazer um certo numero de gazes, no seu tempo considerados como permanentes, por meio d'um tubo recurvado em fórma de syphão e conhecido pelo nome de *tubo de Faraday*. Introduziam-se n'um dos ramos do syphão as substancias que pela sua reacção chimica davam logar aos gazes que se desejavam liquefazer e envolvia-se o outro n'uma mistura frigorifica. O gaz, á medida que se desenvolvia, comprimia-se a si proprio e liquefazia-se no ramo arrefecido. Assim poderam aquelles dois physicos fazer passar ao estado liquido o chloro, o acido sulphydrico, o ammoniaco e o acido carbonico.

Desde então, houve muitos physicos que se occuparam da resolução d'este importante problema, mas, como já dissemos, tinham resistido a todos os meios empregados seis gazes, quando, nos fins de 1877, Cailletet e Raul Pictet conseguiram liquefazer os *gazes permanentes* por meio d'apparelhos muito diversos.

*Liquefacção e solidificação do acido carbonico.* Thilorier conseguiu liquefazer e solidificar o acido carbonico sujeitando o apenas a uma pressão consideravel, produzida tambem pelo proprio gaz que se desejava liquefazer. Em vez d'um tubo de vidro como aquelle

de que se servia Faraday, a operação realisava-se em dois reservatórios cylindricos d'uma enorme solidez, n'um dos quaes se introduziam substancias que pela sua reacção davam logar á producção do acido carbonico que ia condensar-se no outro.

Obtinha-se assim o acido carbonico liquido em quantidade bastante consideravel; e, se se desejava obter no estado solido, deixava-se sair o liquido por uma abertura, una parte passava novamente ao estado gazoso, e o arrefecimento era tal que uma parte solidificava-se em flocos brancos filamentosos. Um thermometro de alcool marcava n'estas condições —78°.

O acido carbonico solido vaporisa-se muito lentamente. Póde reconhecer-se que a sua temperatura é de —78°, e apesar d'isso é possível collocar-se na mão que não produz a sensação de frio que se poderia imaginar, o que depende de não haver perfeito contacto entre elle e a pelle. Logo, porém, que se misture com o ether, o frio é de tal modo intenso que um fragmento d'acido carbonico solido desorganisa rapidamente os tecidos animaes quando collocado sobre elles. Esta mistura solidifica dentro d'alguns instantes quatro vezes o seu peso de mercurio. Mergulhando n'ella um tubo cheio d'acido carbonico liquido, Faraday solidificou-o n'uma massa compacta que apresentava a transparencia d'um fragmento de gelo.

A liquefacção do acido carbonico foi tambem realisada, á pressão d'uma atmosphaera, por Drion e Lenoir, aproveitando o frio produzido pelo gaz ammoniaco liquefeito.

*Experiencias de Cailletet.* Nas experiencias que temos descrito é o proprio gaz que realisa sobre si proprio a compressão que determina a mudança d'estado. Nas de Cailletet a pressão é produzida por uma especie de prensa hydraulica e transmittida por meio do mercurio a uma campanula de crystal em que está encerrado o gaz; com o apparelho empregado por elle, pode obter-se uma pressão de 200 a 500 atmosphaeras, e assim conseguiu liquefazer a acetylena e o bioxydo d'azoté, mas o oxydo de carbone, o oxygenio, o azote e o hydrogenio resistiram á pressão de 300 atmosphaeras combinada com um arrefecimento de —29°. E' então necessario aproveitar o arrefecimento produzido pela dilataçào brusca do gaz comprimido. E' o que se consegue abrindo uma torneira que abaixa instantaneamente a pressão de 200 atmosphaeras a uma só; vê-se então produzir-se na campanula de crystal um nevoeiro mais ou menos espesso, que é o indicio da liquefacção do gaz. Cailletet conseguiu assim fazer passar ao estado liquido o carboneto d'hydrogenio, o oxydo de carbonio e o oxygenio, sendo a pressão antes da dilataçào 300 atmosphaeras; mas nas mesmas condições o azote e o hydrogenio apresentaram apenas uma ligeira nuvem que indicava apenas um começo de liquefacção.

*Liquefacção do oxygenio e do hydrogenio, por Pictet.* O apparelho de Pictet é extremamente complexo, mas tem a possibilidade de desenvolver grandes pressões ao mesmo que um frio consideravel. Como no apparelho de Thilorier a pressão é determinada pelo proprio gaz produzindo-se em vaso fechado. O arrefecimento é cau-

sado por uma vaporização continua d'acido sulfuroso liquido, prosegue pela vaporização do acido carbonico ou do protoxydo d'azoto previamente liquefeito pelo acido sulfuroso e finalmente termina pela dilatação do gaz comprimido.

Da pressão de 525 atmosferas a que o oxygenio fica sujeito pela sua propria tensão, a uma temperatura de  $-130^{\circ}$  a  $-140^{\circ}$ , a pressão baixa á d'uma atmospherá e então vê-se um jacto d'um branco brilhante, cercado por uma aureola azulada, que é o oxygenio. Um carvão ligeiramente incandescente collocado na direcção do jacto, inflamma-se com extraordinaria violencia.

O hydrogenio submettido a 650 atmosferas e a uma temperatura de  $140^{\circ}$ , apparece quando se abre a torneira de communicação com o exterior, de côr similhante á do aço, produzindo um ruído estridente comparavel ao d'uma barra de ferro em brazá mergulhada na agua, e simultaneamente uma crepitação muito caracteristica que lembra a do chumbo de caça lançado ao chão. O jacto é intermitente, em vez de continuo, apesar da pressão ser ainda de 370 atmosferas, d'onde conclue que dentro do aparelho, parte do hydrogenio está solidificado.

*Experiencias de Wroblewski e Olszewski.* Nas experiencias d'estes illustres physicos o frio era produzido pela ebulição do ethylene liquido no vacuo, o qual dava logar a uma temperatura de  $-136^{\circ}$ . Submettendo os diversos gazes permanentes a esta baixa temperatura, n'um aparelho novo que permite comprimir a centenas d'atmospheras quantidades relativamente grandes de gaz, liquefizeram completamente e com grande facilidade primeiro o oxygenio *sem dilatação* e depois o azote e o oxydo de carbone *com dilatação*.

O oxygenio liquido é *incolor e transparente*; é muito movel e fórma um menisco muito distincto. O azote foi mais difficil de liquefazer. Arrefecido n'um tubo de vidro a  $136^{\circ}$  e comprimido até 150 atmosferas, não se liquefez. Se então se deixasse, porém, distender lentamente, diminuindo a pressão, liquefazia-se completamente; é tambem *incolor e transparente* no estado liquido, mas evapora-se tão rapidamente que apenas permanece como tal durante alguns segundos.

307. PONTO CRITICO.— Durante muito tempo suppoz-se que qualquer que fosse a temperatura d'um gaz, havia sempre uma pressão que o liquefazia. Hoje admite-se que ha um limite de temperatura acima do qual é impossivel a liquefacção, seja qual fór a pressão empregada. Á essa temperatura limite propôz Andrews que se desse o nome de *ponto critico*.

## CAPITULO VIII

## Noções sobre as machinas a vapor

Machinas de vapor ; sua classificação e descripção. Injector Giffard.  
 Força das machinas ; cavallo-vapor. Theoria mechanica do calor.  
 Antigas concepções sobre a natureza d'este agente.

308. MACHINAS A VAPOR. — As *machinas a vapor* são instrumentos cujo motor é a força elastica d'um vapor, quasi sempre o da agua. Costumam dividir-se segundo a sua applicação em: 1) machinas fixas, 2) de navegação ou maritimas, 3) locomotivas e 4) locomoveis.

Em toda a machina a vapor temos a considerar tres partes: 1) o *gerador do vapor*, composto da fornalha e da caldeira, 2) um *cylindro* ou *corpo de bomba* para onde se dirige o jacto de vapor que põe em movimento um embolo, 3) d'um *apparelho* mais ou menos complicado destinado á transmissão do movimento.

309. MACHINAS FIXAS. — Estudada a producção de movimento n'esta especie de machinas a vapor, facilmente se comprehende o mecanismo das outras. Chamam-se *machinas fixas* aquellas que, como se conclue do nome, se estabelecem em qualquer ponto para ali se aproveitar o seu prestimo.

Dividem-se em *m. de effeito simples* e de *duplo effeito*, conforme o vapor actua por um ou por ambos os lados do embolo. Hoje apenas as ultimas são empregadas e d'ellas apenas nos occuparemos.

Estas machinas podem ser ainda de *baixa*, *media*, ou *alta pressão*, segundo a pressão é inferior a duas atmosferas, igual ou superior.

310. CALDEIRA DAS MACHINAS FIXAS. — As caldeiras das machinas a vapor tem a fórma cylindrica e terminam-se por duas calotes esphericas. Inferiormente no seu corpo principal, ha dois cylindros de menor diametro chamados

*ebullidores*, e que communicam com a caldeira por meio de tubos verticaes. O fogo produz-se na fornalha, e os productos de combustão envolvem os ebullidores e saem pela chaminé que é muito alta e activa muito a combustão.

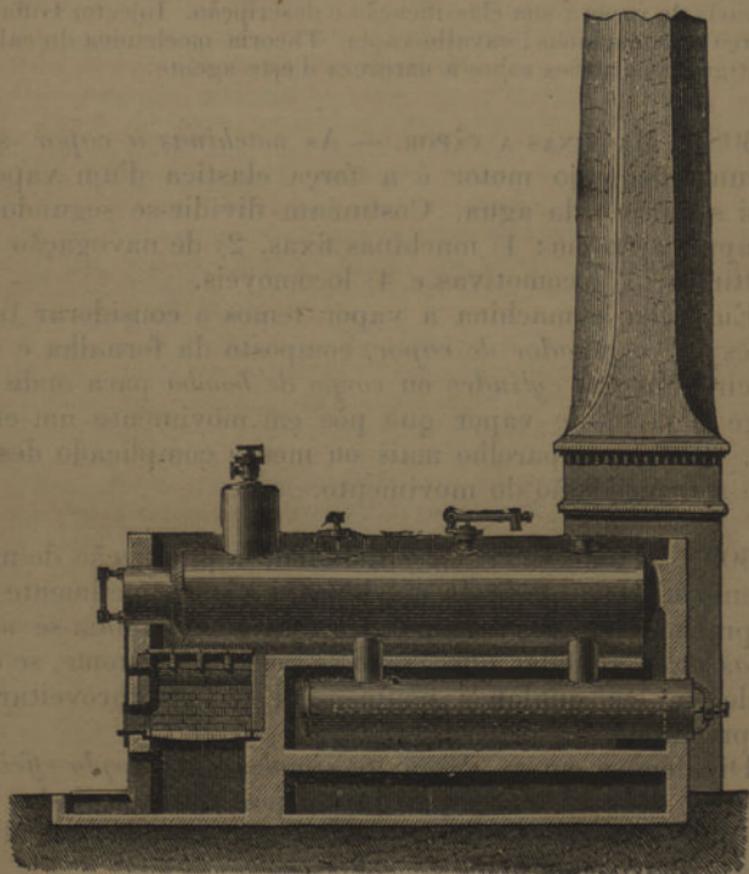


Fig. 94

A caldeira assim constituida é de *fornalha exterior*. Hoje empregam-se muito as de *fornalha interior* em que a chamma e os productos da combustão percorrem um ou dois tubos collocados no interior da caldeira que por esse motivo não tem *ebullidores*.

A' caldeira estão annexos varios accessorios indispensaveis: o *registro* destinado a regular a tiragem da chaminé; o *tubo indicador* que conjuntamente com os *fluctuadores* serve para indicar a altura do liquido na caldeira; um *manometro* destinado a regular a pressão; e *valvulas de segurança* destinadas a prevenir qualquer accidente.

A caldeira deve estar cheia até metade da sua altura, sendo alimentada por meio d'um tubo. Os vapores formados nos *ebullidores* atravessam a massa liquida e concentram-se na parte superior da caldeira, d'onde são levados para o corpo de bomba por intermedio d'um outro tubo.

311. PRODUCCÃO DO MOVIMENTO.—O *cylindro* ou *corpo de bomba* é o aparelho destinado a usar como força mo-

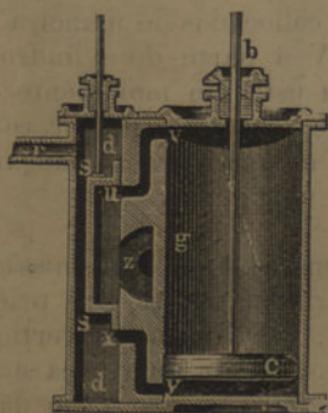


Fig. 95

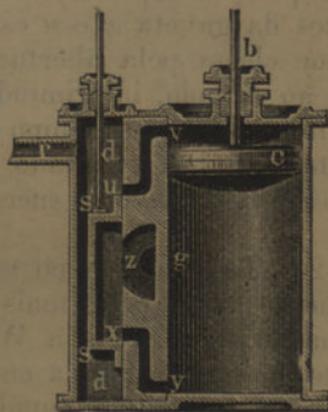


Fig. 96

triz a tensão do vapor d'agua. Compõe-se d'um cylindro em que se move o embolo C, que está ligado a uma haste b destinada a transmittir o seu movimento de vae-vem. Para que este se produza é necessario que o vapor chegue alternativamente acima e abaixo do embolo e que a cada movimento de abaixamento ou elevação do embolo saia ou para o exterior ou para um espaço cheio d'agua.

fria onde se condensa, motivo pelo qual recebe o nome de *condensador*.

A distribuição do vapor é feita automaticamente por meio d'uma peça chamada *gaveta*, cuja disposição é muito variavel. A mais empregada é a representada na fig. 95. O vapor, vindo da caldeira pelo tubo lateral, é primeiro recebido n'uma caixa *dd* chamada *caixa de distribuição* que communica com a parte superior do corpo de bomba por meio da abertura *V* e com a parte inferior pela abertura *V'*. Para a distribuição ha uma peça a que propriamente compete o nome de *gaveta*, que tem a fórma d'um meio cylindro, e que movendo-se na caixa de distribuição, vem alternativamente a collocar as suas partes mais salientes *u* e *x* por cima e por baixo dos orificios *V* e *V'* do cylindro. A *gaveta* é posta em movimento pela propria machina por meio d'uma haste.

Na posição representada na fig. 95, as extremidades salientes da *gaveta* *x* e *u* estão collocadas de maneira que o vapor chega pela abertura *V* á parte do cylindro superior ao embolo, imprimindo a este um movimento descendente, ao mesmo tempo que o vapor, que precedentemente o tinha levantado, se escapa para se lançar no *condensador*. O inverso succede na fig. 96.

312. TRANSMISSÃO DO MOVIMENTO. — A transmissão do movimento faz-se pelos mais variados meios. Nas primitivas machinas, devidas a Watt, o cylindro era vertical e a haste do embolo punha em movimento uma peça metallica *L* muito pesada chamada *balanceiro*, por meio da articulação *C*. Este *balanceiro* era fixo na sua parte média, e na outra extremidade articulava com um tirante *M*, o qual, por meio d'uma manivella, imprimia o movimento de rotação ao eixo da roda *N*.

Na fig. 97 as tres hastes *G*, *H*, *J*, presas ao *balanceiro*, do qual recebem o movimento, servem para fazerem manobrar tres bombas. A haste *G* está em relação com uma *bomba d'ar* que tem por fim fazer o vacuo no *condensador*, com o qual communica por meio d'uma valvula e lançar fóra a agua aquecida pelo vapor que ali se con-

densou e que é substituída por agua fria. A haste H faz mover a *bomba alimentar* que tem por fim conservar a agua da caldeira n'um nivel constante. Finalmente, a haste J communica com uma bomba d'agua fria que eleva a agua de qualquer parte e a lança n'um reservatorio que cerca o condensador.

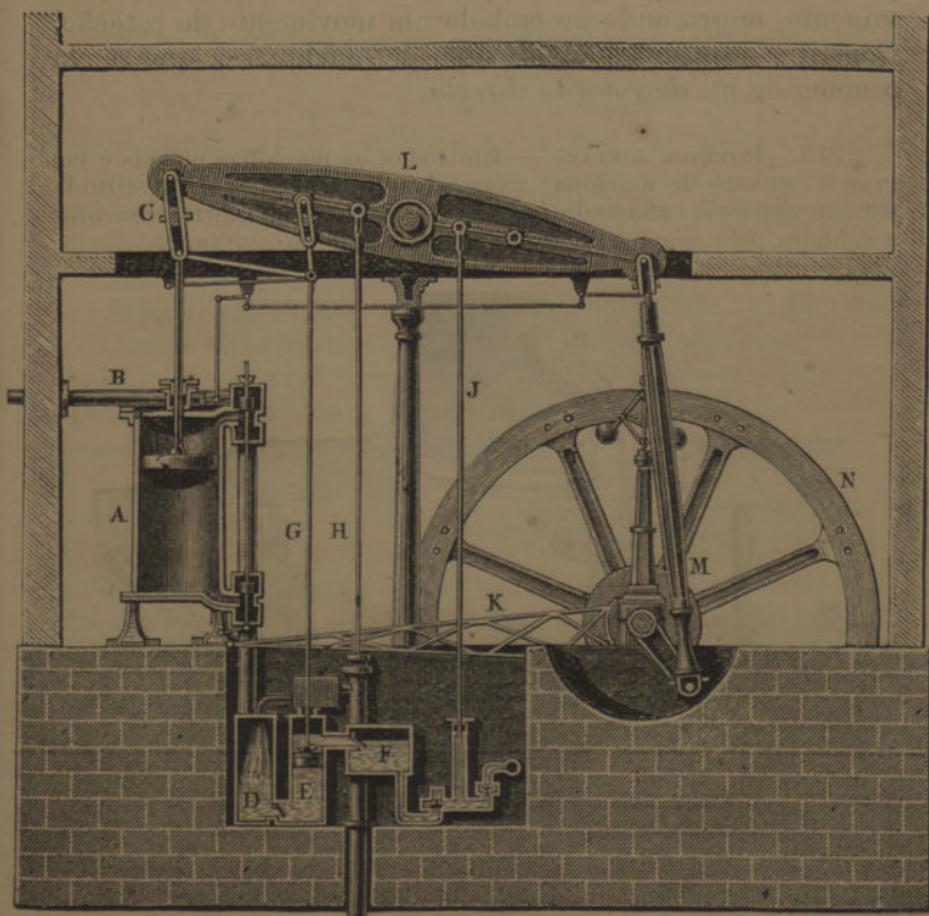


Fig. 97

Dispensa-se hoje em geral o *balanceiro*, articulando-se directamente a haste do embolo com o *tirante*. Dizem-se então as machinas de *acção directa*. Um exemplo nos é fornecido pelas machinas das locomotivas.

Um terceiro systema consiste em articular directamente a haste do cylindro com a manivella, mas é indispensavel então que o cylindro seja oscillante, aliás não seria possivel transmittir o movimento.

Finalmente, tem-se feito muitas tentativas para dispensar todo e qualquer apparelho de transmissão do movimento, imprimindo ao embolo um movimento de rotação. Constitue este um quarto grupo de machinas a que se dá o nome de *m. de rotação directa*.

313. INJECTOR GIFFARD. — Em todas as machinas moveis e em grande numero de machinas fixas a bomba alimentar é substituida por um apparelho chamado *injector Giffard*, que permite alimentar a caldeira pelo simples effeito da condensação do seu vapor.

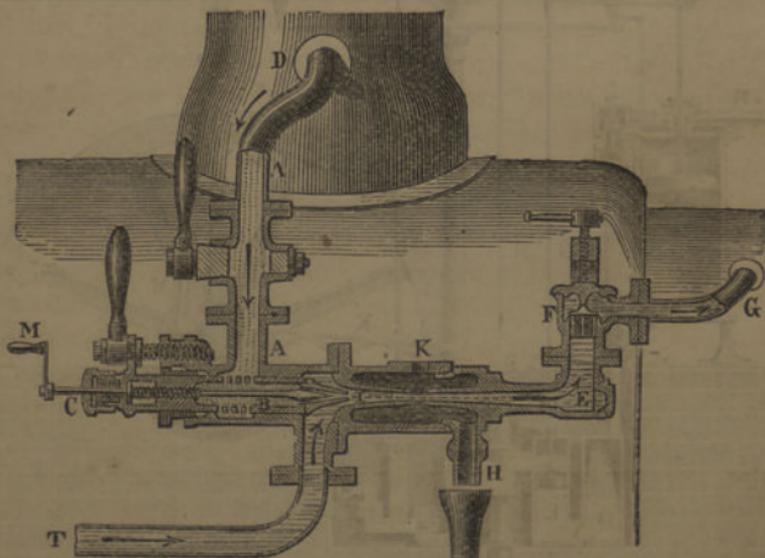


Fig. 98

Compõe-se d'um tubo AA que communica com a parte superior da caldeira D e traz o vapor para um segundo tubo B que lhe é perpendicular. Este tubo tem differentes buracos para a passagem do vapor e termina por uma abertura conica I. Outro tubo T chamado tubo d'aspiração, aspira a agua d'um reservatorio que nas locomotivas está collocado no tender. Esta agua, ao chegar em torno do tubo I, encontra o vapor que d'elle se escapa, o qual condensando-se por effeito do resfriamento, lhe communica a sua força viva.

O jacto do liquido adquire então um accrescimento de pressão que o impelle pelos tubos E e G até á caldeira. Eutre os dois tubos está uma caixa F, que tem uma valvula que impede a agua de sair da caldeira quando o apparelho não funciona. Uma haste de parafuso C, movida pela manivella M e terminada n'uma ponta conica que corresponde á abertura I do tubo B, serve para regular a passagem do vapor. Um tubo H permite regular o dispendio da agua.

314. CAVALLO-VAPOUR. — A unidade de força que serve para medir o poder d'uma machina é chamada *cavallo-vapor*. Chama-se assim ao esforço necessario para levantar por segundo 75 kilogrammas; o mesmo é dizer que é igual a 75 *kilogrammetros*, visto que esta unidade é representada pelo esforço que é necessario dispendir para elevar um kilogramma a um metro d'altura n'um segundo.

315. EQUIVALENTE MECHANICO DO CALOR. — Já vimos (221) que uma das origens do calor era o movimento. Nas machinas a vapor uma parte do calor parece desaparecer, mas na realidade é transformado em trabalho mechanico.

As experiencias de Joule mostraram que o *equivalente mechanico do calor*, isto é, a relação que existe entre a quantidade de calor destruida aparentemente e o trabalho mechanico produzido, é igual a 425 kilogrammetros. Quer dizer isto que a *unidade de calor* ou *caloria* produz, transformando-se em movimento, uma força capaz de elevar em 1 segundo 425 kilogrammas a 1 metro d'altura.

316. THEORIA MECHANICA DO CALOR: ANTIGAS CONCEPÇÕES SOBRE A NATUREZA D'ESTE AGENTE. — Agora, que acabamos d'estudar o calor, podemos, lançando uma vista retrospectiva, investigar qual será a natureza d'este agente.

Durante muito tempo imaginou-se que o calor era produzido por um fluido especial chamado *calorico*. As suas moleculas repellir-se-hiam continuamente e communicariam este movimento ás moleculas dos corpos com que se incorporassem, projectando-as a grandes distancias. Além d'isso reflectir-se-hiam na superficie dos corpos que encontravam e penetral-os-hiam em parte, combinando-se com as suas moleculas.

Era esta a *theoria da emissão*. Hoje, porém, considera-se o calor como o resultado d'um movimento muito rapido das moleculas da materia ponderavel, movimento transmittido a distancia por intermedio d'um fluido eminentemente elastico, chamado *ether*, o qual vibra descrevendo oscillações semelhantes áquellas que produz o som quando se propaga no ar.

Esta theoria, chamada das *oscillações*, tem sido todavia levemente modificada para dar lugar á chamada *theoria mechanica do calor*.

Esta theoria, admittindo como a precedente que o calor é devido a um movimento molecular, tem como caracteristico o basear-se na transformação do calor em trabalho mechanico e reciprocamente. Entrevista por Rumford e Davy, só em 1842 é que tomou grande desenvolvimento, graças aos trabalhos de Joule que descobriu o *equivalente mechanico do calor*. Eis em poucas palavras o seu fundamento.

Todas as vezes que um corpo em movimento encontra um obstaculo á sua marcha, desaparece o trabalho mechanico, mas transforma-se em calor. Assim, um martello dando contra uma barra metallica aquece-se, etc. Se deixarmos cahir d'uma grande altura uma bola de chumbo, esta logo que parar aquecer-se-ha prodigiosamente; se cahisse d'uma altura de 4:300 metros, que é pouco mais ou menos a do Monte Branco, chegaria até ao seu ponto de fusão.

Emfim, estas e uma serie d'experiencias, d'entre as quaes a já exposta de Tyndall (221) é das mais simples e elegantes, provam á exuberancia que a quantidade de calor produzido é constantemente proporcional ao trabalho aniquilado.

Ora, se isto se dá, tambem vemos que o calor póde tranformar-se em movimento. A expansão dos vapores acompanha-se, como sabem, d'um certo arrefecimento. O ar humido, comprimido até 3 ou 4 atmospheras, saindo por um orificio estreito, de tal maneira abaixa de temperatura que se póde cobrir de gelo uma esphera sobre a qual dirijamos o jacto.

Vimos já que existe uma relação constante entre o calor gasto e o trabalho mechanico produzido.

Tudo isto leva a admittir a identidade do calor e do movimento; e teremos occasião de ver que os restantes agentes naturaes não são em ultima analyse mais do que transformações do movimento, modalidades diversas d'uma mesma causa universal.

## CAPITULO IX

### Meteorologia

Phenomenos meteorologicos dependentes do calor. Meteorologia: definição e classificação dos meteoros.—Hygrometria. Humidade.

Estado hygrometrico. Hygrometro de Saussure. Hygrometro de condensação. Psychrometro.—Meteoros aquosos; orvalho; geada; nuvens e nevoeiros; chuva, neve, saraiva.

Distribuição da temperatura á superficie do globo. Climas. Temperaturas média e extremas. Linhas isothermicas.

Ventos. Rumo, força, velocidade. Anemometros. Relação dos ventos com a pressão atmospherica. Linhas isobaricas. Previsão do tempo.

317. METEOROLOGIA. — Chamam-se *meteoros* os phenomenos atmosphericos; *meteorologia* é a parte da physica que os estuda. Costumam dividir-se os meteoros em quatro classes: *aereos*, *aquosos*, *electricos* e *luminosos*.

318. METEOROS AEREOS. — Os *meteoros aereos* são os que dependem do movimento do ar. Conforme a sua rapidez, e conforme são ou não acompanhados de phenomenos d'outra ordem, assim recebem os nomes de *ventos*, *tufões*, *trombas* e *cyclones*.

319. VENTOS: SUAS CAUSAS. — Chamam-se *ventos* as correntes d'ar mais ou menos rapidas que se produzem na atmospherica. São o resultado da ruptura d'equilibrio que se dá na sua massa, ruptura que reconhece por causa quer as variações de temperatura, quer a formação de chuva.

Se a temperatura do ar em contacto com o solo augmenta n'uma certa extensão, este ar, em virtude da sua menor densidade, sóbe para as regiões superiores, emquanto o que o cerca afflue para occupar o logar do primeiro. Da mesma fórma, se uma certa quantidade de vapor contido na atmosphera se condensa e resolve em chuva, ha uma grande diminuição de pressão no sitio em que este phenomeno se passa e o ar das regiões visinhas acóde para esse ponto, produzindo o vento.

320. DIRECÇÃO DOS VENTOS.— A direcção dos ventos é referida aos quatro pontos cardeaes *norte, sul, este e oeste* que se representam pelas letras N, S, E, W.

Quando o vento sopra n'uma direcção intermédia a qualquer d'estas, essa direcção é indicada pela junção dos pontos cardeaes entre os quaes se dirige. Assim temos os ventos *nordeste, sueste, noroeste e sudoeste* respectivamente representados por NE, SE, NW e SW. Como ainda pôde ser necessario mais precisão na indicação do rumo dos ventos, ainda se estabeleceram oito pontos intermédios aos já mencionados, e que receberam os nomes de *nor-nordeste, es-nordeste; es-sueste, su-sueste; su-sudoeste, oes-sudoeste; oes-noroeste, nor-noroeste*, que respectivamente são representados por NNE, ENE, ESE, SSE, SSW, WSW, WNW e NNW.

Ainda entre estes 16 pontos obtidos se consideram outros que se indicam pelos oito principaes, pondo em primeiro logar aquelle de que mais se aproxima e entre elles a fracção  $\frac{1}{4}$ .

Quando ainda se exige um extremo rigor, então faz-se a marcação por graus. Assim o vento que fique a  $15^\circ$  de Norte para Leste, indicar-se-ha N $15^\circ$ E.

A reunião dos rumos dos ventos representa-se pelos diametros d'uma figura circular a que se chama *rosa dos ventos*.

321. DETERMINAÇÃO DA DIRECÇÃO DOS VENTOS. CATAVENTOS.— Determina-se a existencia das correntes superiores da atmosphera observando o movimento das nuvens.

Para reconhecer o rumo dos ventos que sopram á superficie da terra, empregam-se uns apparatus a que se dá o nome de *cataventos*. O catavento mais frequentemente usado é formado por uma haste vertical, movel em torno do seu eixo, a que está presa superiormente uma lamina metallica a que se dão as fórmias mais variadas e no plano d'esta um ponteiro que indica o rumo do vento n'um mostrador horizontal.

Determina-se no campo ou em viagem a direcção do vento, molhando o dedo e levantando-o; immediatamente se sente frio do lado de que sopra, em virtude de ser activada a evaporação.

322. VELOCIDADE E FORÇA DOS VENTOS. — Chama-se *velocidade do vento* o numero de kilometros que percorre em uma hora; dá-se o nome de *força do vento* á pressão em kilogrammas, que elle exerce sobre um metro quadrado da superficie que se oppõe á sua passagem.

Os instrumentos destinados a medir a velocidade do vento recebem o nome de *anemometros*. Acha-se nos nossos

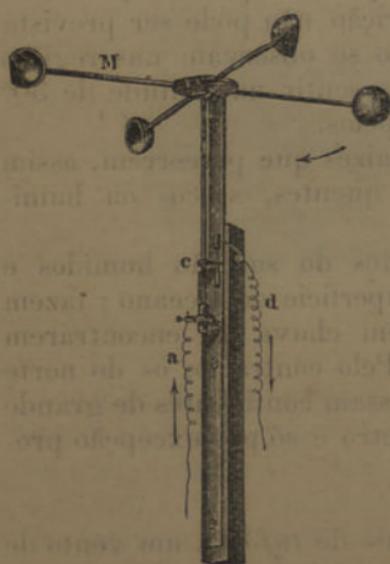


Fig. 99

postos meteorologicos o anemometro modificado por Casella, o qual dá a velocidade total do vento ao cabo d'um curto espaço de tempo. Consta elle de quatro meias espheras ocas, ligadas a outros tantos braços horisontaes, dispostos cada um com a concavidade voltada para a convexidade da outra, para que o instrumento gire no mesmo sentido, qualquer que seja a direcção do vento. Este eixo communica o seu movimento a um systema de rodas dentadas que poem em movimento um ponteiro sobre um mostrador, graduado convenientemente em

kilometros e nos seus multiplos e submultiplos.

323. CLASSIFICAÇÃO DOS VENTOS. — Costumam dividir-se os ventos em *regulares* e *irregulares*.

Os ventos *regulares constantes* são os que sopram continuamente n'uma mesma direcção. Observam-se principalmente nas regiões equatoriaes, entre os oceanos Atlantico e Pacifico. Chamam-se tambem *aliseos* e formam duas correntes, uma superior e outra inferior. A direcção d'elles é nordeste no hemispherio boreal e sudeste no austral.

Os ventos *regulares periodicos* são os que sopram regularmente, ora n'uma direcção, ora n'outra. Este grupo é constituído pelas *monções* e pelas *brisas*.

As *brisas* são ventos que sopram nas costas e praias e têm a direcção: de dia, do mar para a terra, e de noite, d'esta para o mar.

As *monções* são ventos que sopram seis mezes, de abril a outubro, de nordeste para sudoeste, e durante outros seis, de outubro a abril, na direcção opposta. A primeira chama-se *monção da primavera*, a segunda *monção do outono*.

Os ventos *irregulares* são aquelles cuja direcção varia repetidas vezes, e cuja reaparição não póde ser prevista por lei alguma conhecida. Não se observam nas regiões equatoriaes; começam a fazer-se sentir na latitude de 30° norte e sul e são maximos nos polos.

Conforme a direcção e os paizes que percorrem, assim os ventos podem ser frios ou quentes, seccos ou humidos.

Nos nossos climas, os ventos do sul são humidos e quentes por terem varrido a superficie do Oceano; fazem baixar o barometro e produzem chuva ao encontrarem uma temperatura mais baixa. Pelo contrario, os do norte são frios e seccos, porque atravessam continentes de grande extensão. Fazem subir o barometro e só por excepção produzem chuva.

324. TUFÃO. — Dá-se o nome de *tufão* a um vento de direcção rectilinea extremamente violento e rapido. A velocidade média do vento nos nossos climas é de 3 a 6 metros por segundo, o que vem a dar 180 a 360 por minuto.

Nos tufões esta velocidade póde ir até 2:400 metros, o que vem a dar 144 kilometros por hora.

325. TROMBAS. — Quando ventos em sentido contrario se cruzam, e quando têm a violencia dos tufões, dão muita vez logar a um movimento giratorio muito rapido, além do movimento de translação de que vão animados. Os tufões recebem então o nome de *trombas*. Estas produzem phenomenos verdadeiramente extraordinarios, quaes são o arrancamento de arvores e a sua projecção a enormes distancias, a perfuração da terra em varios pontos, etc.



Fig. 100

Onde, porém, se observam phenomenos estranhos, produzidos pelas trombas, é no mar. Ahi as nuvens como que se adelgaçam em fórma de funil com o collo para baixo, ao passo que as vagas no seu redomoinho vão sendo attraídas para cima, formando uma verdadeira columna liquida assente n'uma base em continuo movimento.

A natureza d'este phenomeno não está ainda bem averiguada, e ha quem o considere como produzido pela ele-

ctricidade, baseando-se no facto de se ter algumas produzido n'uma atmosphera tranquilla, sendo acompanhado de meteoros electricos.

As trombas observadas nos continentes, chamam-se *terrestres*; as que se observam no mar, *marinhas* ou *mangas d'agua*.

326. CYCLONES. — Chamam-se assim as grandes tempestades circulares inter-tropicaes, caracterisadas por um redemoinho de vento de 800 a 900 milhas de diametro e acompanhando-se de phenomenos electricos, chuva e saraiva. O vento augmenta de violencia, da circumferencia para o centro onde repentinamente cãe, produzindo abaixamento da columna barometrica.

Os cyclones giram ao sul do equador da esquerda para a direita, e ao norte na direcção perfeitamente opposta. Affastam-se d'esta linha segundo uma curva parabolica, cujo vertice fica collocado a oeste.

327. METEOROS AQUOSOS. — Dã-se o nome de *meteoros aquosos* aos que são determinados pela humidade do ar. A sua condensação determina a formação dos ORVALHOS, Geadas, NEVOEIROS, NUVENS, CHUVA e SARAIVA. Antes de estudarmos estes phenomenos, digamos alguma cousa sobre a medição da humidade do ar.

328. HYGROMETRIA. — Chama-se assim a parte da physica que tem por objecto a medição da humidade existente no ar, ou, melhor ainda, a determinação da quantidade de vapor d'agua que a atmosphera encerra a uma certa temperatura, em relação á que conteria se esse espaço estivesse saturado. Os instrumentos de que se lança mão para esta avaliação chamam-se *hygrometros*. O mais empregado é o de *cabello* cuja invenção se deve a Saussure.

329. HYGROMETRO DE CABELLO. — O cabello, previamente introduzido em agua a ferver, addicionada d'uma pequena quantidade de carbonato de soda, para lhe tirar a

gordura, gosa da propriedade de se alongar quando está humido e diminuir de comprimento quando secco. E' n'este facto que se baseia o *hygrometro de Saussure*. Compõe-se d'um quadro de cobre, em que está tenso verticalmente, por meio d'uma pinça *a*, um cabello *h*, preparado como dissemos, que passa na sua parte inferior n'uma roldana de duas gargantas *t* e tem na extremidade terminal um pequeno peso *g* para o conservar em tensão permanente. Ao eixo da roldana, que deve ser muito movel, está ligado um ponteiro.



Fig. 101

Para graduar o instrumento, colloca-se primeiro n'uma campanula cheia d'ar, completamente privado de vapor d'agua, o que se consegue introduzindo n'ella substancias muito ávidas d'agua, como são o chloreto de calcio, etc. O cabello encurta-se e no ponto em que fica estacionario marcamos  $0^{\circ}$ . Depois d'isto, satura-se o mesmo espaço de vapor d'agua, o cabello alonga-se, e no ponto extremo a que chega a agulha marcamos  $100^{\circ}$ . Divide-se o espaço comprehendido entre estes dois numeros em 100 partes que constituem os graus do hygrometro.

A média das indicações do hygrometro nos nossos climas é de  $72^{\circ}$ . Raras vezes, exposto ao ar livre, desce abaixo de  $30'$ , e tambem só excepcionalmente, mesmo nas grandes chuvas, sóbe até  $100^{\circ}$ . Nas altas regiões atmosphericas, em que o ar é muito mais secco, o hygrometro desce muito. Nas suas viagens aerostaticas Gay Lussac viu-o descer até  $26^{\circ}$ , á altura de 7 kilometros acima do solo.

Os gráus do hygrometro não indicam cousa alguma por si só. O instrumento é um simples hygroscopio que indica que a humidade augmenta ou diminue sem a medir.

Para se tornar realmente um *hygrometro* é necessario o auxilio d'umas tabellas, constituídas por Gay Lussac, em que vem a relação que existe entre os graus marcados pelo hygrometro e o estado hygrometrico da atmospherá.

330. **HYGROMETROS DE CONDENSAÇÃO.** — O principio em que repousam estes hygrometros é o seguinte: Se arrefecermos progressivamente um vaso de vidro collocado n'uma atmospheria não saturada de vapor d'agua, chega um momento em que o ar que está em contacto com a superficie do vaso, e que arrefece com elle, attinge a temperatura em que o vapor que contem se torna saturante. Este vapor condensa-se então em fórma d'orvalho sobre a superficie arrefecida.

D'esta simples observação póde deduzir-se o estado hygrometrico do logar. Effectivamente n'um espaço livre que contenha uma mistura d'ar e de vapor á pressão atmospherica, quando a temperatura baixa, a força elastica do vapor conserva-se constante, porque augmenta tanto pela diminuição de volume da mistura gazosa, como decresce pelo abaixamento de temperatura. Ora esta tensão que ao principio era mais ou menos inferior á tensão maxima, acaba necessariamente por se tornar maxima, quando a temperatura abaixe indefinidamente. Quando o vapor se torna assim saturante, por pouco que o ponto de saturação seja excedido, ha condensação. Este instante é indicado pela produção d'orvalho. Se procurarmos pois nas taboas da força elastica do vapor d'agua a tensão correspondente ao ponto d'orvalho, será essa precisamente a tensão que o vapor d'agua possuia ao começar a experiencia. Tomando tambem a tensão maxima do vapor á temperatura média do ar, a relação entre as duas tensões representará o estado hygrometrico procurado. O mais conhecido dos hygrometros de condensação é o de Daniell.

*Hygrometro de Daniell.* Compõe-se de duas esferas de vidro reunidas por um tubo duas vezes curvado. A bola *a* está cheia de ether até dois terços e n'esse liquido vem mergulhar um thermometro *t*. As duas esferas e o tubo estão completamente privadas d'ar, para o que tem sido fervido o ether, enquanto a bola *B* estava ainda aberta, de modo que os vapores d'ether arrastaram todo o ar, ficando apenas dentro do instrumento vapor d'ether.

Estando a bola *b* envolvida em musselina, vae-se deitando por cima ether gotta a gotta. Este liquido, ao vaporisar-se, arrefece a bola e este arrefecimento produz a condensação dos vapores que contem. Sendo então diminuida a tensão interna, o liquido da bola *a* emite novos vapores que se vem condensar na outra e assim á medida que o ether vae passando da bola inferior para a superior, o liquido que está na primeira arrefece; succede o mesmo á camada d'ar que cerca essa atmospheria, e vê-se depositar o orvalho sob a fórma d'um anel á altura da superficie livre do liquido.

Este hygrometro não é perfeitamente exacto nos seus resultados, motivo pelo qual tem soffrido grandes modificações.

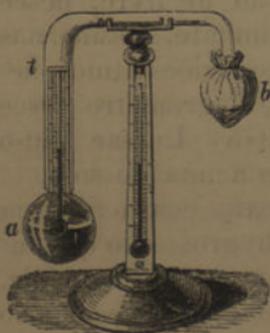


Fig. 102

331. **PSYCHROMETRO.** — O *psychrometro* é um instrumento des-

tinado, como o hygrometro, a fazer conhecer a humidade do ar. Compõe-se de dois thermometros collocados a par n'uma placa de cobre, entre os quaes se acha um tubo com agua. Um dos thermometros tem o reservatorio envolvido em musselina, humedecida constantemente com a agua que do tubo central é levada por uma mecha de algodão. Arrefecido assim pela evaporação, o thermometro envolvido na musselina marca constantemente uma temperatura inferior á do outro, sendo tanto maior a differença quanto mais rapida é a evaporação e por conseguinte quanto menos humido está o ar que o rodeia.

A tensão  $x$  do vapor d'agua contida no ar ambiente é dada pela formula

$$A(t - t') = \frac{F' - x}{H}$$

em que  $t$  representa a temperatura do thermometro secco,  $t'$  a do thermometro molhado,  $F'$  a tensão do vapor saturado a  $t'$ ,  $H$  a pressão atmospherica e  $A$  um coeŕficiente constante para cada instrumento.

Esta equação exprime que o calor recebido pelo thermometro molhado, que, segundo a lei de Newton, é proporcional á differença  $t - t'$  é igual ao calor roubado por evaporação, o qual, segundo Dalton, é directamente proporcional á differença  $F' - x$  e inversamente proporcional a  $H$ .

Para se o erar com o instrumento é necessario começar por determinar  $A$ , para o que se mede directamente  $x$  por intermedio d'um hygrometro, e substituindo o seu valor na formula apresentada precedentemente, ficamos com o instrumento disposto de modo a fornecer os diferentes valores de  $x$  correspondentes aos diversos de  $t$  e  $t'$  observados com o psychrometro.

332. ORVALHO. GEADA. — Dá-se o nome de *orvalho* á condensação do vapor d'agua atmospherico durante a noite, que nos apparece sob a fórma de pequenas gottas limpidas. Facil é comprehender a origem d'este phenomeno. Durante o dia a terra é fortemente aquecida, mas, vinda a noite, a sua superficie irradia para o espaço uma grande quantidade de calor. D'aqui resulta que os corpos em contacto com o solo arrefecem um certo numero de gráus, e, se o vapor d'agua que está em contacto com elle não está muito longe do seu ponto de saturação, liquefaz-se e deposita-se á superficie dos corpos sob a fórma de pequenas gottas.

A producção do orvalho está dependente de variadas in-

fluencias, das quaes são principalmente notaveis a exposição do logar, o estado do ceu, a natureza dos corpos e a agitação do ar.

Nos grandes calores, o orvalho começa a formar-se desde o pôr do sol; têm então o nome de *sereno* e depende do arrefecimento das camadas inferiores da atmosphera.

A *geada* não é outra cousa mais do que o orvalho condensado. A sua producção observa-se particularmente na primavera, quando a temperatura do solo se abaixa pela irradiação abaixo de 0'.

333. NEVOEIROS.— Quando o solo humido está mais quente que o ar, os vapores que d'elle se levantam pela evaporação, encontrando uma temperatura mais baixa, condensam-se n'uma especie de poeira liquida, a que se dá o nome de *nevoeiro*.

Os *nevoeiros* raras vezes persistem, dissipando-se ordinariamente no mesmo dia em que se formam. Ha localidades, porém, como Londres, onde são muita vez persistentes e tão espessos que é preciso illuminar durante o dia as ruas e lojas.

Os *nevoeiros* que se levantam ao romper do sol e desaparecem até ao meio dia, são geralmente indicativos de bom tempo. Tambem são prognosticos de tempo seguro os *nevoeiros* frios, depois de dias chuvosos, porque indicam que os ventos mudaram do mar para a terra, sendo estes, como dissemos, seccos.

Pelo contrario os *nevoeiros* espessos e frios que se repetem duas ou tres vezes, ou aquelles que até ao meio dia não levantam, dão sempre em resultado chuva.

334. NUVENS.— Se os vapores emanados da superficie da terra só soffrem resfriamento nas altas regiões da atmosphera, formam-se as *nuvens*. Estas affectam as mais variadas fórmias, mas costumam reduzir-se a quatro typos principaes que têm o nome de *cumulos*, *cirros*, *stratos* e *nimbos*.

Os *cumulos* têm a fórmula arredondada e o aspecto de montanhas sobrepostas.

Os *cirros* são pequenas nuvens, em fôrma de filamentos muito delgados, simillhantes á lâ cardada. São muito elevados e consideram-se como formados por particulas de gelo.

Os *stratos* são camadas de nuvens continuas, limitadas por superficies horisontaes. Observam-se geralmente ao pôr do sol, dando-lhe muita vez a sua luz um aspecto verdadeiramente phantastico.

Finalmente, os *nimbos*, ou nuvens de chuva, não têm fôrma rigorosa e determinada, mas distinguem-se pela sua côr escura e pelos bordos franjados.

A altura a que as nuvens se formam é muito variavel : oscilla entre 1 e 12 kilometros.

335. CHUVA. — A chuva é a queda da agua em pequenas gotas, determinada pela condensação do vapor atmosphérico.

A quantidade de chuva que cõe n'um determinado tempo, não depende só do arrefecimento que o vapor d'agua da atmosphaera soffreu, mas tambem da sua primitiva temperatura.

Assim, o ar saturado de vapor a 30° daria, passando para 27, mais chuva do que, estando a 7°, daria baixando para 4°. Todavia, a differença de temperatura é a mesma. Depende este facto da quantidade de vapor saturante.

336. UDOMETROS OU PLUVIOMETROS. — Mede-se a agua que cõe sob a fôrma de chuva por meio d'instrumentos chamados *pluviometros* ou *udometros*.

O pluviometro mais simples consiste n'um vaso cylindrico de metal, communicando inferiormente com um tubo de vidro graduado, no qual se póde vêr a altura a que a agua sóbe dentro d'elle. Esta altura representa a espessura da camada liquida que adquiriria a agua da chuva, caindo n'um terreno horisontal e impermeavel, independentemente da evaporação. Por isso recebe tambem o nome de *espessura liquida*. Para attenuar quanto possivel a diminuição d'altura devida á evaporação, a abertura do vaso tem a fôrma d'um funil com um pequeno orificio central.

Nos postos meteorologicos usa-se principalmente o *udometro de Babinet* que tem uma fôrma cylindrica, e termina superior e inferiormente em pyramides conicas. D'estas, a inferior tem uma torneira e a superior communica com o recipiente externo em fôrma de funil. Para avaliar a espessura liquida, recebe-se a agua n'um vaso cylindrico, dividido em 125 partes eguaes que correspondem a 25<sup>mm</sup> de chuva, por isso que cada uma é igual a 0<sup>mm</sup>,5.

337. NEVE. SARAIVA. — Quando a temperatura das nuvens baixa a 0°, a poeira liquida que as constitue congela. Se este phenomeno se produz n'uma atmosphaera tranquilla, a agua crystallisa tomando fôrmas perfeitamente regulares e geometricas, cujo typo fundamental é o hexagono. Diz-se então que ha *neve*. Fizemos representar na fig. 103 algumas das fôrmas mais communs dos flocos de neve.

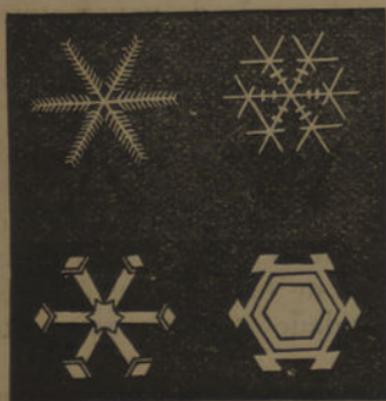


Fig. 103

Se a passagem ao estado solido é rapida, então o vapor d'agua congela instantaneamente e a neve cãe em fôrma de globulos transparentes, cujo volume é proximamente o d'uma *avelã*. E' este phenomeno que constitue a *saraiva*.

338. CLIMATOLOGIA. — Dã-se o nome de *clima* d'um logar ao conjuncto de phenomenos atmosphericos que influenciam mais ou menos os seres organisados. A parte da physica que os estuda chama-se *climatologia*.

E' difficil caracterisar bem os climas, porque dependem d'um conjuncto de circumstancias muito variadas e não d'uma só. O caracter todavia a que ordinariamente se recorre para o estabelecimento d'uma classificação, é a *temperatura do ar livre*.

339. DISTRIBUIÇÃO DO CALOR A' SUPERFICIE DO GLOBO. O calor está muito desigualmente distribuido á superficie da terra. As causas principaes d'estas variações são a latitude, a altitude e a visinhança dos mares.

1.<sup>o</sup> *Influencia da latitude.* — A influencia da latitude, muito accentuada, resulta da maior ou menor obliquidade com que os raios solares incidem sobre a superficie da terra. Quanto maior fôr essa obliquidade, menor será a quantidade de calor absorvida. Por este motivo, a quantidade de calor absorvida pelo solo varia desde o equador, em que a incidencia é quasi normal, até aos polos, onde esta incidencia se torna o mais obliqua possível. A variação de calor com a latitude não é regular, porque as outras causas que a influenciam modificam muito a sua distribuição.

2.<sup>o</sup> *Influencia da altitude.* — Facil é comprehender qual a importancia d'esta causa de variação do calor, sabendo que o ar apenas se aquece pelo seu contacto com o solo; de modo que, á medida que formos subindo acima do nivel do mar, a temperatura irá diminuindo progressivamente. N'uma ascensão aerostatica feita por Gay-Lussac, o thermometro que marcava em Pariz, á superficie do solo + 32° centigrados desceu a — 10°, e n'uma viagem posterior de Bixio a diminuição de temperatura ainda foi maior. Este facto explica a existencia das neves perpetuas em algumas montanhas elevadas.

3.<sup>o</sup> *Influencia da visinhança dos mares.* — A temperatura dos mares, como veremos, é muito menos variavel do que a da superficie dos continentes. Faz-se sentir a sua influencia sobretudo nas ilhas em que o inverno é mais temperado e o estio menos quente, o que motivou dar-se o nome de *clima das ilhas* ou *climas maritimos* aos que apresentam pequenas variações de temperatura. O que mais contribue para estabelecer esta uniformidade de temperatura são as *brisas* que, como dissemos, sopram alternadamente do mar para a terra e d'esta para aquella.

340. VARIÁÇÕES DE TEMPERATURAS: ANNUAES E DIURNAS. — Observam-se variações de temperatura muito notaveis

durante o dia e durante o anno. Em Lisboa, a temperatura minima é, em geral, ás 6 horas da manhã, e a maxima ás 3 da tarde.

Durante o anno, reconhece-se que a temperatura minima corresponde ao mez de janeiro, e a maxima ao de julho ou agosto.

As variações diurnas de temperatura explicam-se pela distancia do sol ao horisonte, que vae variando durante o dia; as variações annuaes pela differente posição d'aquelle astro no nosso meridiano e pelas variações de grandeza dos dias e noites.

341. TEMPERATURA MÉDIA D'UM LOGAR. — A temperatura média d'um dia obtem-se, tirando a média de todas as temperaturas apresentadas n'esse dia, mas consegue-se um resultado bastante aproximado, tomando as temperaturas maxima e minima d'um dia e achando a média entre ellas. A temperatura média d'um mez obtem-se tomando as temperaturas médias dos dias de que se compõe, sommando-as e dividindo a somma pelo numero de dias do mez. A temperatura d'um anno avalia-se sommando as médias dos mezes e dividindo depois a somma por 12.

Chama-se *temperatura média d'um logar* a média das temperaturas de muitos annos.

A temperatura média de Lisboa é de 15° e uma fracção.

Estas temperaturas devem ser tomadas no ar livre, em sitio bem arejado e á sombra.

342. LINHAS ISOTHERMICAS, ISOTHERICAS E ISOCHIMENICAS. — Se reunirmos por linhas os pontos do globo em que a temperatura média é a mesma, formamos trajectos sinuosos a que se dá o nome de *linhas isothermicas*. Estas seriam parallelas ao equador, se a temperatura d'um logar dependesse unicamente da latitude, o que já sabemos não acontece.

Todavia, para caracterisar bem um clima, não basta conhecer a sua temperatura média, é necessario comparal-a com as médias do estio e do inverno, isto é, das tem-

peraturas extremas. As linhas que reúnem os logares que têm a mesma média estival chamam-se *isothermicas*, e as que ligam os que têm a mesma média invernal *isochiménicas*. Dá-se o nome de *linhas isobaricas* aquellas que reúnem os logares em que a pressão atmospherica é a mesma.

343. CLIMAS: SUA CLASSIFICAÇÃO. — Os climas costumam dividir-se, emquanto ás temperaturas médias, em :

|                            |                           |                |
|----------------------------|---------------------------|----------------|
| <i>Ardentes</i> . . . .    | quando a temperatura é de | 28° a 25°      |
| <i>Quentes</i> . . . . .   | »                         | » 20° a 18°    |
| <i>Suaves</i> . . . . .    | »                         | » 18° a 15°    |
| <i>Temperados</i> . . . .  | »                         | » 15° a 10°    |
| <i>Frios</i> . . . . .     | »                         | » 10° a 5°     |
| <i>Muito frios</i> . . . . | »                         | » 5° a 0°      |
| <i>Glaciaes</i> . . . . .  | »                         | é abaixo de 0° |

Confrontando as temperaturas extremas do verão e do inverno, dividem-se em :

|                   |                            |                  |
|-------------------|----------------------------|------------------|
| <i>Constantes</i> | se a differença é de . . . | 6° a 8°          |
| <i>Variaveis</i>  | »                          | » . . . 8° a 16° |
| <i>Excessivos</i> | »                          | é de mais de 20° |

Como os climas das ilhas e costas são, em geral, pouco sujeitos a variações, como já dissemos, e aos dos continentes succede o contrario, os climas constantes recebem o nome de *climas insulares* ou *maritimos* e os variaveis o de *continentaes*.

344. CORRENTES MARITIMAS E TEMPERATURAS DO MAR. — A desigual distribuição do calor á superficie do globo, que acabamos de estudar, determina nas aguas um movimento semelhante ás correntes atmosphericas.

No equador, a agua mais quente eleva-se e corre em direcção aos polos, ao mesmo tempo que uma corrente inferior de agua mais fria vae aquecer-se no equador para

depois voltar á parte superior e caminhar de novo para os polos.

As correntes maritimas mais importantes são : o Gulf Stream (corrente do golpho) que nasce no golpho do Mexico, dirigindo-se para o norte, e muda de direcção nas alturas da Terra Nova para leste, bifurcando-se em dois ramos ; e uma outra que sáe de Bengala, atravessa os mares da China e Pacifico e entra por ultimo no Oceano Glacial pelo estreito de Behring.

A agua das correntes maritimas differe em geral da do resto do mar. O Gulf Stream tem uma temperatura de  $30^{\circ}$ , isto é, de mais  $15^{\circ}$  que a do resto do mar ; além d'isso é menos salgada a sua agua.

Formam-se correntes maritimas accidentaes pela acção dos ventos, pela configuração das costas e pelos accidentes do fundo. As correntes só se observam no Atlantico e Pacifico ; o Mediterraneo cercado d'um e outro lado de continentes, quasi que as não apresenta.

345. TEMPERATURAS DO MAR. — A temperatura do mar não é a mesma á superficie e no interior da sua massa.

A' superficie, a temperatura do mar é proximamente constante. Como a agua tem grande calor especifico e está em continua agitação, eleva-se muito menos que a dos continentes ; pelo mesmo motivo a diminuição de temperatura é tambem muito pouco pronunciada. O calor da superficie do mar diminue com o augmento de latitude. Entre os tropicos o seu maximo valor é de  $30^{\circ}$  e o minimo de  $25^{\circ}$  a  $20^{\circ}$ , conservando-se sensivelmente a mesma até á latitude de  $27^{\circ}$ . Nos mares polares a temperatura é raras vezes superior a  $0^{\circ}$ . Na latitude de  $80^{\circ}$  encontram-se já os gelos fixos.

A temperatura da massa das aguas do mar diminue muito com a profundidade, mantendo-se, a uma distancia consideravel do nivel, um calor que oscilla entre  $1^{\circ},5$  e  $3^{\circ},5$ . Julgou-se muito tempo que a temperatura do fundo do mar fosse de  $4^{\circ}$ , como acontece nos lagos da Suissa, mas observações posteriores provaram que a temperatura média dos dois Oceanos era de  $2^{\circ},5$ .

346. OCEANO. — Tem este nome a enorme massa de agua salgada que cobre a maior parte do globo. Forma cinco grandes divisões cujos nomes foram tirados das costas que banham e são respectivamente: o Oceano Pacifico, o Oceano Atlantico, o Oceano Indico, o Glacial Arctico e o Glacial Antartico.

A profundidade dos oceanos é variavel, oscillando entre 4 e 9 kilometros. A pressão sobre o fundo do mar é muito consideravel, o que está longe de tornar a vida impossivel, tendo as sondagens trazido á superficie animaes de fórmas muito curiosas.

Nos espaços comprehendidos entre as correntes maritimas, em que as aguas estão em repouso, os mares apresentam largas superficies, inteiramente cobertos de vegetação variegada, constituindo os chamados *mares de sarção*.

O Oceano fornece pela evaporação a agua das chuvas que, purificada, cae depois, formando os rios e se infiltra no solo constituindo as fontes.

Além das correntes, o Oceano apresenta outros movimentos muito notaveis conhecidos pelo nome de marés. Estes phenomenos tambem se observam nos mares mediterraneos, mas com muito menos amplitude.

347. PREVISÃO DO TEMPO. — E' de longa data a ideia de prever as mudanças do tempo. Esta *previsão do tempo* que ao principio apenas pertenceu aos charlatães, póde hoje ser estabelecida em dados mais ou menos rigorosos.

Ficam disseminados por este volume ideias geraes sobre a applicação de varios instrumentos a esse fim, bem como as indicações que se podem tirar de varios phenomenos naturaes. Relembremos apenas os principaes.

A observação do barometro, thermometro e hygrometro póde fornecer e fornece dados valiosos para a previsão do tempo. O estado do ceu é tambem da maxima importancia, a existencia de nuvens e a determinação das suas variadas especies, são elementos valiosos para o reconhecer. Ainda devem merecer attenção os ventos reinantes e os movimentos da agulha magnetica, porque se sabe que os

movimentos desordenados que esta apresenta são sempre indicativos de grandes tempestades.

Os observatorios meteorologicos correspondem-se quasi todos com o de Paris, ao qual communicam telegraphicamente as observações feitas ás 8 horas da manhã, relativas ao estado do ceu, pressão atmospherica, temperatura, força e direcção do vento. Estas indicações servem para calcular as probabilidades do tempo para o dia seguinte, que depois são transmittidas n'um *boletim meteorologico internacional*.

## LIVRO SETIMO

### OPTICA

---

#### CAPITULO I

#### Propagação da luz

Corpos luminosos, diaphanos e opacos. Propagação da luz nos meios homogeneos. Velocidade da luz. Sombra e penumbra. Imagens produzidas atravez de pequenas aberturas. Camara escura simples. Comparação das intensidades luminosas. Photometros.

348. LUZ. OPTICA. — Chama-se *luz* o agente que produz em nós o phenomeno da visão. *Optica* é a parte da physica que se occupa da luz.

349. CORPOS LUMINOSOS E ILLUMINADOS. — Os corpos que teem luz propria, e por isso são visiveis na obscuridade, teem o nome de *luminosos*. Taes são o sol, as estrellas, os corpos em ignição, etc.

Os corpos não luminosos precisam para se tornarem visiveis, de receber luz dos primeiros, directa ou indirectamente. Chamam-se *illuminados*. Tal é a lua, e os astros fixos.

350. CORPOS TRANSPARENTES, TRANSLUCIDOS E OPACOS. — Chamam-se *transparentes* os corpos que se deixam atravessar pela luz em quantidade sufficiente para se distinguir a fórmula dos objectos; taes são a agua, o vidro, os gazes, etc.

Chamam-se *translucidos* todos os corpos que deixam passar a luz, mas que não permitem que atravez d'elles se possa reconhecer a fórmula dos objectos; assim é o vidro despolido, etc.

Finalmente, chamam-se *opacos* os que se não deixam atravessar pela luz.

Todas estas propriedades são relativas e variam n'um mesmo corpo. Por exemplos os metaes são opacos n'uma certa espessura, mas podemos reduzi-la de tal modo que se tornem translucidos.

351. ORIGENS DA LUZ. — A principal origem de luz é o sol, da mesma sorte que é a principal fonte de calor; é tão intensa a sua luz que só se póde observar aquelle astro com o auxilio d'um vidro corado. As estrellas emittem tambem uma grande quantidade de luz, mas como esses corpos estão a uma enorme distancia de nós, e como a claridade do sol é muito mais viva, pouco perceptivel se torna essa fonte de luz. De noite, porém, a luz das estrellas é bastante sensivel.

Outra fonte importante de luz é a combustão dos corpos. A combustão é um phenomeno chimico acompanhado sempre de desenvolvimento de luz e calor. Para que a combustão possa ser aproveitada para a illuminação, é necessario que seja acompanhada de *chamma*, isto é, d'um gaz que seja comburido.

O *calor* é tambem uma origem de luz, ou directamente ou favorecendo uma acção chimica, como ficou dito precedentemente. Todos os corpos elevados a altas temperaturas se tornam luminosos, e a intensidade do seu brilho é tanto maior quanto mais elevada é a temperatura.

A *electricidade* é tambem uma origem de luz extremamente importante. A luz electrica é uma das mais brilhantes que se conhecem.

Temos finalmente, como origem de luz, a *phosphorescencia*, phenomeno ainda mal estudado que consiste na propriedade que tem certos corpos de se tornarem luminosos na obscuridade. O corpo que apresenta esta propriedade em grau mais saliente é o *phosphoro*.

A phosphorescencia é natural ou artificial. Esta é adquirida, o mais das vezes, pela insolação.

352. RAIOS E PINCEL DE LUZ. — Chama-se *raio lumi-*

noso a recta que a luz parece seguir na sua propagação. A reunião de muitos raios luminosos, emanados d'um mesmo foco, chama-se *pincel* ou *feixe de luz*. Este póde ser *paralelo*, se os seus raios são paralelos, *convergente* ou *divergente* se se aproximam ou affastam.

353. PROPAGAÇÃO DA LUZ. — A propagação da luz n'um meio homogeo está sujeita a uma lei invariavel.

Se entre nós e um corpo luminoso collocarmos um anteparo, deixamos de ver esse corpo. Se deixarmos entrar um feixe de luz n'um espaço escuro, vemos que elle segue uma direcção rectilinea. Isto pröva que: *n'um meio homogeo a luz propaga-se em linha recta.*

354. VELOCIDADE DA LUZ. — A luz percorre no vacuo uma distancia de 80:000 legoas por segundo. Esta velocidade foi primeiro calculada em 1678 por Roemer, astronomo sueco, pela observação dos eclipses do planeta Jupiter. Recentemente, Foucault e Fizeau, em virtude de experiencias directas que fizeram, chegaram a verificar no campo da pratica o que Roemer descobrira pelo calculo. Demonstraram mais aquelles physicos que a velocidade da luz na agua é menor do que no ar.

A luz leva 8<sup>m</sup> e 13<sup>s</sup> a percorrer a distancia que separa o sol da terra. As estrellas mais proximas do nosso planeta estão pelo menos mais affastadas 200:000 vezes do que o sol, motivo pelo qual a sua luz leva mais de tres annos a chegar até nós. Estrellas ha, porém, cuja luz deve levar milhares de annos para nos impressionar, tão prodigiosa é a distancia a que estão.

355. SOMBRA E PENUMBRA. — Chama-se *sombra* d'um

corpo o lugar do espaço onde elle impede que a luz chegue. A sua fórma depende da dos corpos illuminante e illumina-

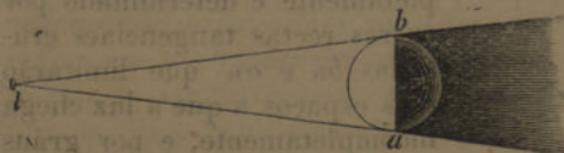


Fig. 104

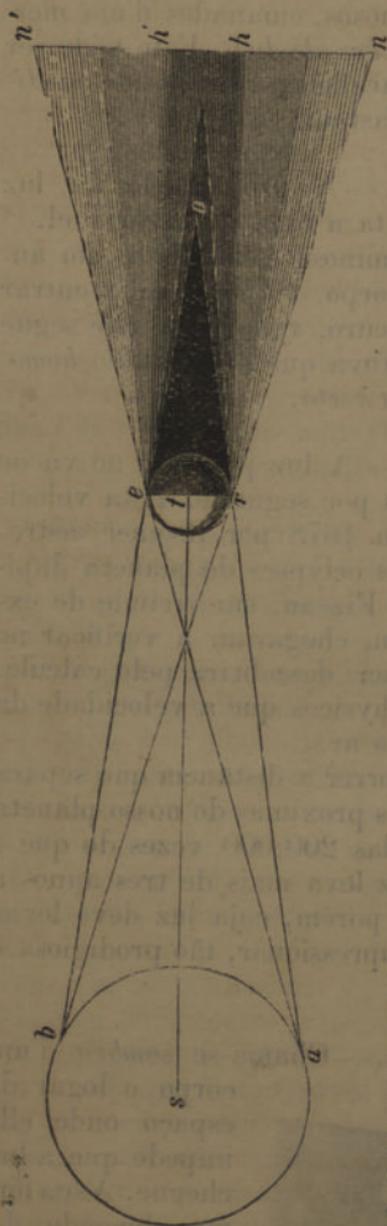


Fig. 105

do e é uma consequencia da propagação rectilinea da luz.

Ha a considerar em toda a sombra uma parte central completamente negra que é a *sombra propriamente dita*, e uma outra, em torno d'ella, em que a luz chega por graus insensiveis até ao espaço illuminado, e que recebe o nome de *penumbra*.

Imaginemos corpo opaco illuminado por um só ponto; represente *l* o ponto luminoso e *ab* o corpo opaco (fig. 104). Evidentemente, os pontos do espaço que ficam para além do corpo opaco são illuminados completamente.

Passando pelo ponto luminoso rectas tangenciaes aos dois pontos *a* e *b*, descrevemos um cone completamente privado de luz; que limita a extensão e a fórma da sombra.

Imaginemos que o corpo illuminante é maior que o opaco (fig. 105); então distingue-se em torno da sombra determinada tirando rectas tangenciaes *be* e *ar* aos dois corpos, um espaço a que a luz chega incompletamente e determinado por outras rectas tangenciaes cruzadas *bn* e *an'* que limitarão dois espaços a que a luz chega incompletamente, e por gráus insensiveis, isto é aquelles em que ha *penumbra*.

356. APLICAÇÕES: ECLYPSES. — Nos *eclipses parciais* ou *totaes* temos uma applicação do que acabamos de dizer sobre *sombra* e *penumbra*. Se a terra entra na sombra projectada pela lua interposta entre ella e o sol, o observador não póde ver este astro e para elle o eclipse é *total*; se o observador estiver collocado na penumbra verá apenas uma parte do sol e o *eclipse será parcial*; finalmente se estiver na linha que une os dois astros, sol e lua, e a uma distancia tal que esteja na penumbra, verá de todos os lados os bordos do disco solar e então será o *eclipse annular*.

As applicações da sombra e da penumbra são muito variadas. Uma das mais importantes é a que tem por fim medir a intensidade da luz.

357. IMAGENS PRODUZIDAS POR PEQUENAS ABERTURAS. CAMARA ESCURA. — Se, conservando fechadas as portas e

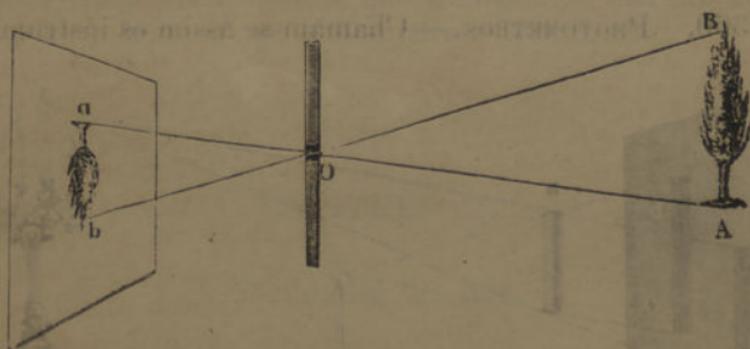


Fig. 106

janellas d'uma casa, deixarmos penetrar a luz apenas por um orificio praticado n'uma janella, ver-se-ha na parede opposta a representação dos objectos distantes com uma nitidez maior ou menor. Estas imagens são invertidas, porque os raios luminosos cruzam-se no orificio por onde penetra a luz.

E' este o facto em que se baseia a *camara escura* imaginada por Porta. Reduzido á sua maior simplicidade,

este instrumento compõe-se d'uma caixa de madeira, completamente fechada, tendo um orificio n'uma das suas paredes. A que lhe fica opposta é de vidro fosco e n'ella se veem desenhar as imagens invertidas e mais pequenas dos objectos exteriores.

358. INTENSIDADE DA LUZ. — Chama-se *intensidade da luz* a quantidade de luz recebida na unidade de superficie. A parte da optica que se occupa da medição da intensidade da luz chama-se *photometria*.

359. LEIS DA INTENSIDADE DE LUZ. — A experiencia demonstrou que a intensidade da luz está sujeita ás duas leis seguintes:

1.<sup>a</sup> A intensidade da luz varia na razão inversa do quadrado da distancia.

2.<sup>a</sup> A intensidade da luz varia com a inclinação da superficie que a emite.

360. PHOTOMETROS. — Chamam-se assim os instrumen-

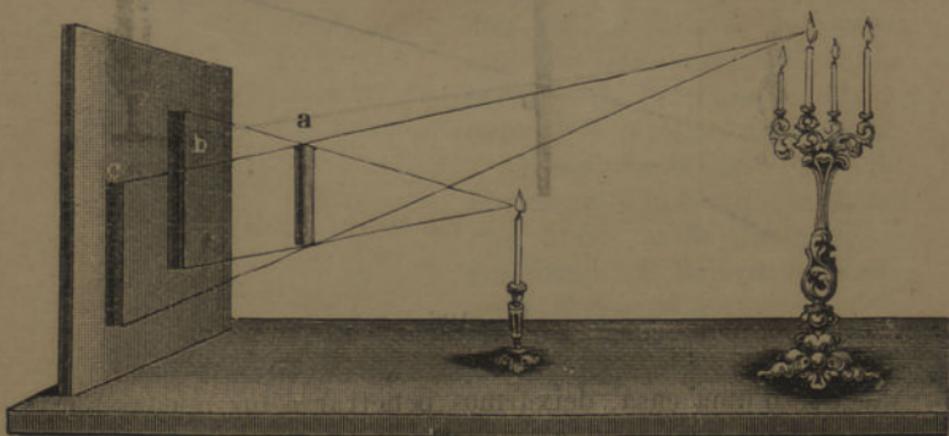


Fig. 107

tos destinados a medir a intensidade da luz. O mais empregado é o de Rumford, mais ou menos modificado.

Para a construcção do instrumento traça-se sobre uma

prancha uma linha recta, e sobre ella duas outras, formando com a primeira dois angulos eguaes. No ponto d'intersecção d'estas linhas, colloca-se uma haste opaca *a* de madeira ou metal, e por traz d'ella um anteparo translucido, cuja direcção deve ser perpendicular á recta do centro. Dispõem-se depois as luzes cujas intensidades se querem comparar de modo a ficarem no prolongamento das rectas traçadas no plano e observa-se então no anteparo a projecção das duas sombras *b* e *c*, cada uma das quaes é produzida por sua luz. Collocando-se o observador por traz do anteparo, facil lhe é comparar as intensidades das sombras. O melhor processo consiste em affastar ou approximar as luzes de maneira a. que as sombras projectadas sejam da mesma intensidade. Conseguido isto, medem-se as distancias a que cada uma está do anteparo e comparam-se, visto como sabemos que a intensidade da luz é inversamente proporcional ao quadrado das distancias. Na figura não estão representadas as rectas no plano, mas é facil ver pela sua inspecção que a disposição das luzes satisfaz á condição a que está sujeito o instrumento.

## CAPITULO II

### Reflexão da luz

Reflexão da luz. Leis da reflexão regular. Luz diffusa. Espelhos planos. Construcção, natureza e posição das imagens. Efeitos dos espelhos paralelos e inclinados. Espelhos metallicos e de vidro. Espelhos esphericos: definições e noções sobre a sua forma e propriedades. Centros, eixos, abertura, focos e imagens. Construcção das imagens. Aberração de esphericidade. Causticas.

361. REFLEXÃO DA LUZ. CAPTOTRICA.— Da mesma sorte que vimos acontecia para o som e para o calor, os raios luminosos, encontrando na sua passagem um obstaculo, mudam de direcção. E' isto o que se chama *reflexão da*

luz. A' parte da optica que se occupa d'este phenomeno e das suas applicações chama-se *captotrica*.

362. LEIS DA REFLEXÃO DA LUZ. — As leis de reflexão da luz são identicas ás da reflexão do calor irradiante e podem formular-se assim :

1.<sup>a</sup> O angulo de reflexão é igual ao angulo d'incidencia.

2.<sup>a</sup> O raio incidente e o reflectido estão no mesmo plano perpendicular á superficie reflectora.

Seja AB a superficie d'um espelho plano (fig. 108), FC

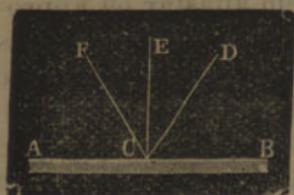


Fig. 108

um raio que incida sobre esta superficie no ponto C e CD o mesmo raio depois de reflectido. Se pe'o ponto d'incidencia levantarmos uma perpendicular ou *normal* CE á superficie reflectora, o angulo FCE formado pelo raio incidente com a normal é o *angulo d'incidencia*, e o angulo ECD, formado com a mesma normal pelo raio reflectido, é o *angulo de reflexão*.

ma normal pelo raio reflectido, é o *angulo de reflexão*.

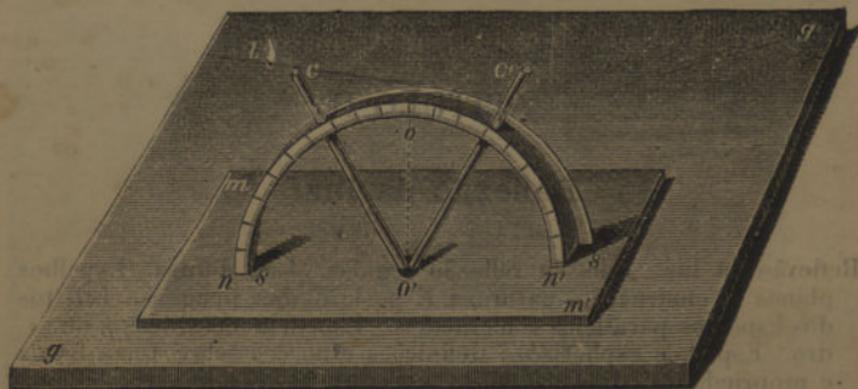


Fig. 109

Demonstram-se as leis da reflexão da luz por meio do aparelho representado na fig. 109. E' composto d'um semi-circulo vertical graduado *nn'ss'*. N'este semi-circulo

movem-se dois cylindros  $CC'$  cujas paredes internas são negras com o fim de absorverem qualquer raio luminoso que n'ellas caia accidentalmente. No centro  $O'$  do semi-circulo ha um pequeno espelho horisontal. Faz-se passar um raio luminoso pelo eixo do tubo  $C$ , e applica-se o olho a  $C'$ , fazendo mover esse tubo de modo a que se torne visivel o ponto luminoso. Verifica-se que o arco  $CO$  é igual a  $C'O$  o que demonstra a primeira lei, isto é, que o angulo d'incidencia  $CO'O$  é igual ao angulo de reflexão  $OO'C'$ .

A segunda lei fica demonstrada pela construcção do aparelho, visto que os eixos dos tubos  $CC'$  estão no mesmo plano perpendicular ao espelho collocado em  $O'$ .

363. DIFFUSÃO OU REFLEXÃO IRREGULAR DA LUZ. — Se a luz cair sobre uma superficie polida, reflectir-se-ha regularmente; mas se incidir sobre uma que o não seja, dar-se-ha o mesmo phenomeno em todos os sentidos e direcções. As leis da reflexão continuam a ser verdadeiras, mas as irregularidades da superficie reflectora dão logar a uma dispersão. Esta reflexão irregular da luz é conhecida pelo nome de *luz diffusa*. E' em virtude d'ella que a maior parte dos objectos se tornam visiveis.

364. ESPELHOS. — Já dissemos atraz o que se entendia por espelho. Sabem que se dividem em *planos* e *curvos*, tomando estes ultimos nomes especiaes conforme a especie da curva geradora.

Os espelhos são *naturaes* ou *artificiaes*. As superficies dos liquidos em equilibrio são um exemplo dos primeiros. Os espelhos artificiaes são de metal ou de vidro. Para os primeiros emprega-se a platina, o cobre prateado, etc., os segundos são cobertos por um dos lados com uma amalgama d'estanho. Empregam-se tambem algumas vezes espelhos de vidro, enegrecidos por um dos lados.

365. ESPELHOS PLANOS. IMAGEM D'UM PONTO. — Se collocarmos um objecto diante d'um espelho plano, veremos n'elle a sua reproducção. E' isto o que se chama *imagem*.

Estudemos a formação das imagens nos espelhos planos, e comecemos pela mais simples, a d'um ponto.

Imaginemos o ponto A, collocado diante do espelho MN, e figuremos um raio de luz Ac que, partindo do ponto A, incida sobre o espelho. Este raio reflectir-se-ha seguindo a direcção cD, fazendo com a normal um angulo de reflexão egual ao de incidencia. Do ponto A abaixaremos uma perpendicular AD e prolongal a-hemos assim como ao raio reflectido até se encontrarem e teremos assim

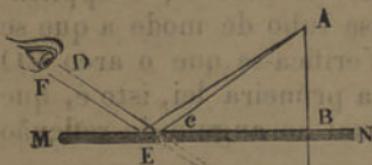


Fig. 110

construido dois triangulos eguaes  $AcB$  e  $acB$ . Obteremos assim um ponto a *symetrico* de A, d'onde parecem partir os raios depois da sua reflexão. E' por tal motivo que effectivamente o nosso espirito se engana, imaginando ver o ponto A em *a* como se realmente lá estivesse. O mesmo succederia para outro qualquer raio, por exemplo para AE.

Resumindo, a imagem d'um ponto, dada por um espelho plano é situada por traz do espelho, no prolongamento da perpendicular abaixada d'esse ponto sobre a sua superficie e a uma distancia do espelho egual á que d'elle se para o proprio ponto.

366. IMAGEM D'UM OBJECTO. — A imagem d'um objecto

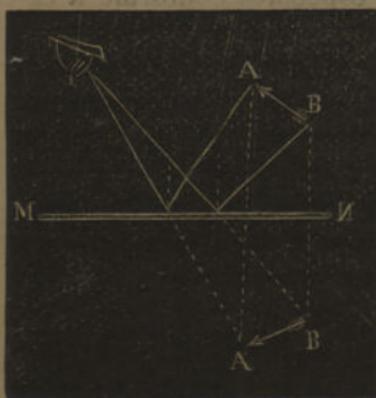


Fig. 111

obtem-se reunindo as dos seus differentes pontos. Supponhamos o objecto AB collocado diante do espelho MN. Procurando obter a imagem dos seus pontos, reproduziremos para cada um o que fizemos anteriormente e obteremos a imagem  $A'B'$  d'esse objecto e que lhe é perfectamente symetrica.

367. REFLEXÃO NOS ESPE-

LHOS PARALLELOS. — Quando um ponto ou objecto luminoso está collocado entre dois espelhos parallellos, dá origem a uma série de imagens que estão todas na mesma linha perpendicular ás superficies reflectoras. Facil é de comprehender o mechanismo d'este phenomeno. Imaginemos o ponto  $b$  collocado entre os espelhos  $M$  e  $M'$  (fig. 112). Os raios que cáem sobre o espelho  $M$  formam uma imagem em  $a$ , como os que incidem sobre o espelho  $M'$  dão uma imagem em  $b'$ ; estes raios, porém, depois de reflectidos, vão incidir sobre  $M$ , como se partissem de  $b'$ ; ao mesmo tempo que os que fo-

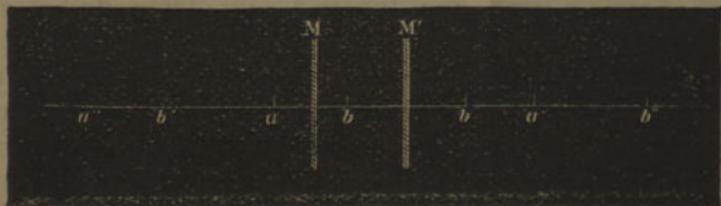


Fig. 112

ram reflectidos pelo espelho  $M$  vão formar uma nova imagem em  $a'$ , etc. D'esta maneira, se obtem uma série d'imagens cada vez mais affastadas e menos distinctas.

368. MULTIPLICAÇÃO DAS IMAGENS NOS ESPELHOS DE VIDRO. — Se approximarmos d'un espelho de vidro uma chamma, e olharmos muito obliquamente para a sua superficie, veremos uma série de imagens alternadamente intensas e apagadas. Estas imagens são o resultado da reflexão entre dois espelhos, como são as duas faces do vidro, uma das quaes está amalgamada.

E' para evitar esta multiplicação das imagens que nas experiencias delicadas de physica se empregam os espelhos metallicos que apenas teem uma superficie reflectora.

369. REFLEXÃO EM DOIS ESPELHOS PLANOS INCLINADOS. — Obteremos tambem variadas imagens se empregarmos espelhos inclinados entre si. Imaginemos os dois espelhos  $M$  e  $N$  dispostos perpendicularmente um ao outro, e seja  $a$  um

ponto luminoso collocado a uma distancia qualquer d'elles. Os raios que cáem directamente no espelho M dão logar a uma imagem  $a'$  e os que incidem sobre N formam a imagem  $a''$  (fig. 113). Mas os raios que soffreram uma primeira reflexão em N

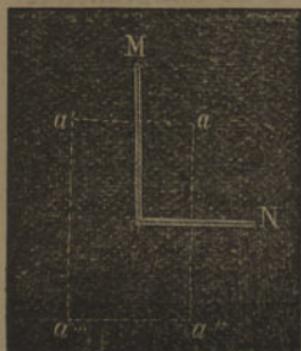


Fig. 113

cáem sobre M, como se proviessem do ponto  $a''$  e dão logar a uma nova imagem  $a'''$ . Similhantermente, os raios que soffreram uma primeira reflexão em M cáem sobre N dão tambem uma imagem no ponto  $a'''$  que tanto é symetrico de  $a'$  como de  $a''$ .

Facil é de perceber que as imagens estão todas collocadas no mesmo plano e que ellas e o ponto luminoso estão n'uma mesma circunferencia cujo raio é a distancia que vae do ponto luminoso á intersecção dos dois espelhos.

Demonstrar-se-ha, pela mesma fórma que o fizemos para os espelhos perpendiculares, que a uma inclinação de  $72^\circ$  corresponderia a formação de 4 imagens; a uma de  $60^\circ$  corresponderia a de 5; á de  $45^\circ$  a de sete e assim successivamente, augmentando o numero de imagens á medida que a inclinação vae diminuindo.

370. KALEIDOSCOPIO. CAIXAS CAPTOTRICAS. — Sobre o phenomeno da multiplicação das imagens nos espelhos inclinados repousa a construcção d'um pequeno instrumento chamado *kaleidoscopio*. Compõe-se d'um tubo de cartão, no interior do qual ha dois espelhos, fazendo entre si um angulo de  $60^\circ$  (fig. 114). N'uma das extremidades do tubo collocam-se entre duas laminas de vidro diferentes objectos, todos de pequenas dimensões, taes como fragmentos de vidros córados, contas, rendas, etc. Na outra extremidade ha uma abertura por onde olha o observador. Veem-se então desenhos muito curiosos que á vontade se podem fazer variar, agitando o instrumento.

As *caixas catoptricas*, são kaleidoscopios de mais de dois espelhos dispostos verticalmente de fórma a constitui-

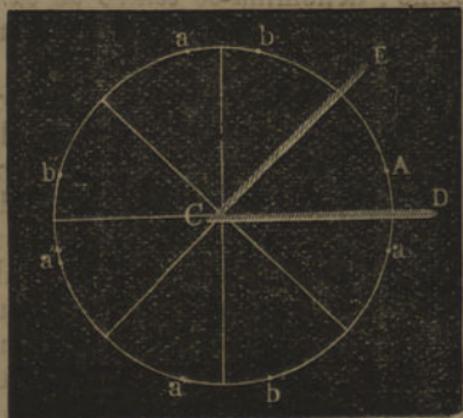


Fig. 114

rem uma caixa prismática, cuja parte superior é formada por um vidro despolido. Superiormente a estes espelhos ha diferentes aberturas, destinadas á observação do interior da caixa. A multiplicação das imagens é maior ainda e o campo muito mais vasto.

### 371. IMAGENS REAES E VIRTUAES.— Chama-se *imagem virtual* a que

tende a produzir-se quando os raios, depois da reflexão, são divergentes. N'estes casos a imagem não é mais do que uma illusão nossa, porque julgamos vel-a por traz do espelho. Forma-se uma *imagem real* quando os raios depois de reflectidos são convergentes, e dá-se-lhe esse nome porque a imagem existe na realidade, e tanto que podemos recebê-la n'um anteparo qualquer.

Os espelhos planos que acabamos de estudar apenas dão imagens virtuaes.

### 372. ESPELHOS CURVOS.— Os espelhos curvos empregados em optica têm sempre uma fórmula regular e geometrica; taes são os *esphéricos*, *parabólicos*, *cilíndricos*, *cónicos*, etc. Contentar-nos-hemos com estudar o que se passa nos espelhos esphéricos.

### 373. ESPELHOS ESFERICOS CONVEXOS.— Supponhamos que se fez girar sobre si mesmo o arco de circulo AB em torno do raio CD, que une o centro ao meio do arco (fig. 115): gerar-se-ha uma calote esphérica que poderá ser polida interior ou exteriormente; no primeiro caso formaremos um espelho *concavo*, no segundo um espelho *convexo*.

Chama-se *centro de figura* ao ponto D equidistante de

todos os do bordo do espelho; denomina-se *centro de curvatura* o ponto C que

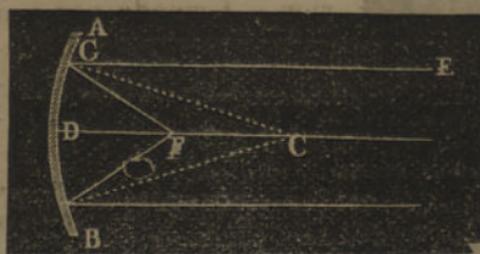


Fig. 115

é o centro da esfera a que pertence o espelho.

A recta indefinida CD que passa pelos centros de figura e de curvatura chama-se *eixo principal*. Toda e qualquer outra recta CG, que passa pelo centro de curvatura, indo tocar n'um

ponto da superfície do espelho, chama-se *eixo secundario*. O angulo que se obtém reunindo dois pontos diametralmente oppostos do espelho com o centro de curvatura, chama-se *abertura do espelho*.

Em tudo o que dissermos a proposito de espelhos curvos, fiquem sabendo que é dos esfericos que nos occupamos, e que d'estes escolhemos os de pequena abertura.

374. REFLEXÃO DA LUZ NOS ESPELHOS CURVOS. — Seja MN um espelho convexo sobre o qual incida um raio luminoso LR (fig. 116). Se concebermos a existencia de um plano tangente ao ponto d'incidencia R, torna-se evidente que o raio se reflectirá na superfície curva da mesma maneira que o faria no plano AB. O raio luminoso fará pois um angulo de reflexão igual ao de incidencia.

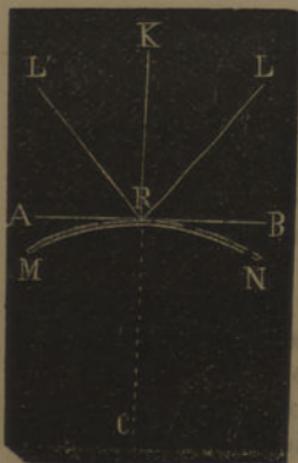


Fig. 116

375. FOCOS NOS ESPELHOS CONVEXOS. — Se dirigirmos sobre um espelho convexo um feixe de raios parallelos no eixo principal, veremos que estes, depois da reflexão, serão divergentes e que parecerão emittidos todos d'um ponto situado por traz do

espelho. A este ponto dá-se o nome de *foco virtual*.

Consideremos o raio  $nw$ , ou qualquer outro incidindo sobre o espelho convexo  $s's$ , parallelamente ao eixo principal  $cx$  (fig. 117). Este raio depois de se ter reflectido no ponto  $w$  tomará a direcção  $w d'$ , fazendo com a normal  $pc$  um angulo de reflexão  $d'wp$ , egual ao d'incidencia  $nwp$ . O observador, porém, receberá os raios reflectidos como se partissem do ponto  $f$  que resulta da intersecção do prolongamento de  $d'w$  com o eixo principal. Isto succederá com todo e qualquer raio que seja parallelamente ao eixo principal.

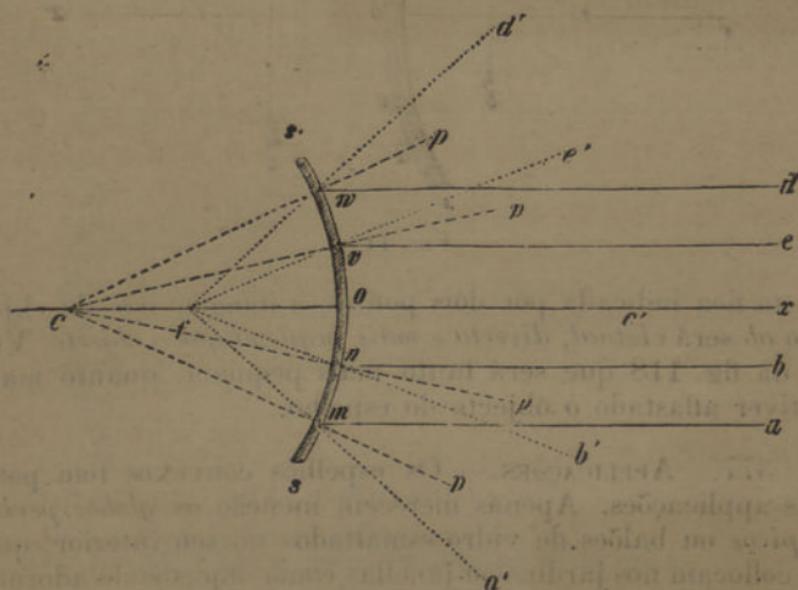


Fig. 117

gamento de  $d'w$  com o eixo principal. Isto succederá com todo e qualquer raio que seja parallelamente ao eixo principal.

Se os raios, em vez de parallelamente, partirem d'uma distancia finita, o foco ficará tambem collocado para traz do espelho a uma distancia que será tanto maior quanto mais proximo estiver do espelho o ponto luminoso.

376. IMAGENS NOS ESPELHOS CONVEXOS.— Imaginemos o objecto  $ab$  collocado diante do espelho convexo  $ss'$  (fig. 118). O ponto  $a$  terá a sua imagem em  $a'$ , isto é, n'um ponto do eixo secundario  $ac$ , que seja interceptado pelo prolonga-

mento d'um raio luminoso  $am$  emitto por elle, depois de reflectido. Succederá o mesmo para o ponto  $b$  e como uma

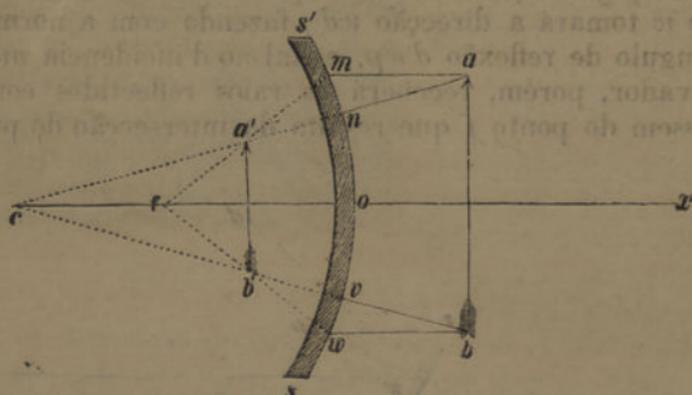


Fig. 118

recta fica indicada por dois pontos, a imagem  $a'b'$  do objecto  $ab$  será *virtual, directa e mais pequena que o objecto*. Vê-se da fig. 118 que será tanto mais pequena, quanto mais estiver affastado o objecto do espelho.

377. APLICAÇÕES. — Os espelhos convexos tem poucas applicações. Apenas merecem menção os *globos periscopicos* ou balões de vidro esmaltados no seu interior, que se collocam nos jardins ou janellas como objectos de adorno.

378. ESPELHOS CONCAVOS. FOCOS. — Nos espelhos con-

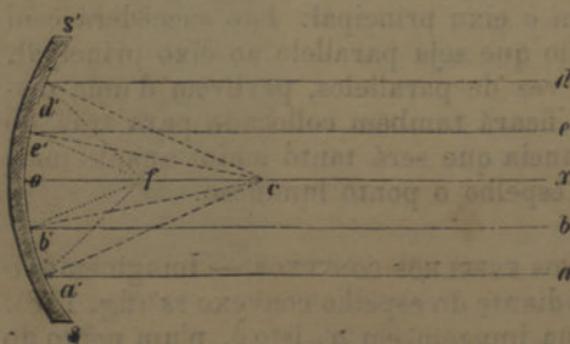


Fig. 119

cavos distinguimos tres especies de focos: *principal, conjugados e virtuaes*.

1.º Foco principal. Imagine-mos que sobre o espelho côncavo  $ss'$  incide um feixe de raios paralelos (fig. 119).

Sigamos um d'elles  $dd'$  na sua marcha. Chegando ao ponto  $d'$  reflectir-se-ha, formando um angulo  $cd'f$  com a normal  $cd'$  igual ao angulo d'incidencia  $dd'c$ , e seguindo a direcção  $d'f$  irá cortar o eixo principal  $ox$  n'um ponto  $f$ , que ficará a uma distancia sensivelmente igual a metade da que separa o centro de figura o do centro de curvatura  $c$ . Todos os raios parallellos irão convergir da mesma sorte no ponto  $f$  que, em virtude d'isto, se chama *fóco principal*. A distancia  $fo$  do foco ao centro de figura é chamada *distancia focal principal*. Nos espelhos de pequena abertura é sensivelmente igual a metade do raio.

2.<sup>o</sup> *Focos conjugados*. Supponhamos agora um ponto lu-

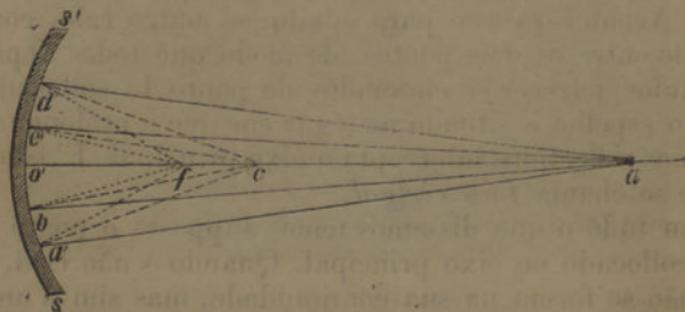


Fig. 120

minoso  $a$  collocado a uma distancia finita do espelho, no seu eixo principal (fig. 120). Qualquer raio  $ad$  emitido por elle fará com a normal um angulo menor do que o que fazem os raios parallellos, e o seu foco  $f$  estará situado entre o foco principal e o centro de curvatura  $c$ . Chama-se a este foco *conjugado*, porque se póde substituir pelo objecto luminoso e vice-versa. Isto quer dizer que estando este em  $a$ , os raios irão convergir em  $f$ , e estando em  $f$ , irão convergir em  $a$ .

Se o ponto  $a$  se approximar de  $c$ , o seu foco tambem caminhará para este ponto, coincidindo com elle quando o attingir. Continuando a approximar-se do espelho, os raios irão cada vez convergindo mais longe, até que chegando o ponto luminoso ao foco principal os raios, depois de reflexão, tornar-se-hão parallellos.

3.º *Focos virtuaes.* Imaginemos, porém, que o foco luminoso, continuando a caminhar, vem a ficar collocado

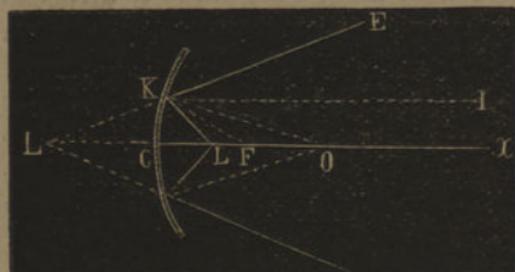


Fig. 121

entre o foco principal e o centro de figura. Então todo e qualquer raio LK que se considerar, fará com a normal um angulo maior que o que faria um raio collocado no foco principal, e, reflectindo-se, sairá na direcção KE (fig.

121). Acontecerá isso para qualquer outro raio, compreendido entre os dois pontos, de modo que todos depois de reflectidos parecerão emanados do ponto L' collocado por traz do espelho e situado no lugar em que o prolongamento dos raios reflectidos intercepta o eixo principal. E' este ponto que se chama *foco virtual*.

Em tudo o que dissemos temos supposto o ponto luminoso collocado no eixo principal. Quando o não está, o seu foco não se forma na sua continuidade, mas sim n'um *eixo secundario* que, como se sabe, é a recta que une o ponto luminoso ao centro de curvatura do espelho.

379. FORMAÇÃO DAS IMAGENS NOS ESPELHOS CONCAVOS. — Podemos obter com estes espelhos imagens reaes e imagens virtuaes.

*Imagens reaes.* Seja um objecto luminoso AB, collocado além do centro de curvatura do espelho (fig. 122). O ponto a, estando collocado no eixo principal, terá o seu foco conjugado em a' situado no mesmo eixo entre o foco principal F e o centro de curvatura C, de modo que um observador verá uma imagem real do ponto a em a'. Se tirarmos agora um eixo secundario bH, obteremos da mesma maneira um foco em b', no ponto em que este eixo é cortado pelo raio depois de reflectido. Como todos os pontos collocados entre a e b têm a sua imagem entre a' e b', segue-se que todas as vezes que o objecto luminoso estiver collocado

além do centro de curvatura, produzir-se-ha uma imagem real, invertida, e mais pequena que o objecto.

Se o objecto  $ab$  se fôr approximando do centro, a imagem  $a'b'$  tambem se approximará d'este ponto, fazendo-se cada vez maior e tornando-se-lhe equal quando o objecto estiver ao nivel do centro de curvatura, n'um plano perpendicular ao eixo principal.

Se o objecto continuar ainda a caminhar, de modo a collocar-se entre o centro de curvatura e o foco principal, na posição  $a'b'$  far-se-ha a imagem em  $ab$  além do centro, e será ainda invertida, mas maior que o objecto.

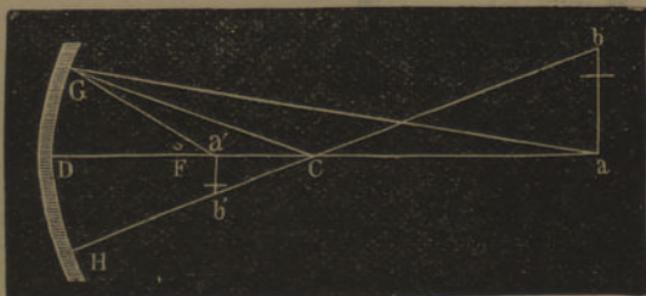


Fig. 122

Finalmente, se o objecto estiver collocado no eixo principal, e a tal distancia que os raios que emitta se possam considerar como parallellos, esse objecto formará a sua imagem no foco principal. E' o que acontece, quando se expõe aos raios do sol um espelho concavo: vê-se então no fóco uma imagem invertida do sol e muito mais pequena. Este facto pôde servir para medir o raio de curvatura d'um espelho concavo.

As imagens reaes podem ser recebidas n'um anteparo qualquer. Vêm-se tambem, collocando-se o observador na direcção dos raios reflectidos; formam então imagens aereas cujos pontos parecem emittir luz propria.

2.ª *Imagens virtuaes.* Se o objecto  $ab$ , que consideramos, proseguir ainda, de maneira a collocar-se entre o centro de figura e o fóco principal, a imagem já não poderá ser real, porque os raios depois da reflexão serão divergentes.

O ponto  $a$  (fig. 123) formará o seu foco virtual em  $a'$ , na continuação do eixo secundario  $cn'$ , no ponto em que o prolongamento d'um raio qualquer, emitto por elle  $an$ , depois de reflectido o vae cortar. O ponto  $b$  fará o seu

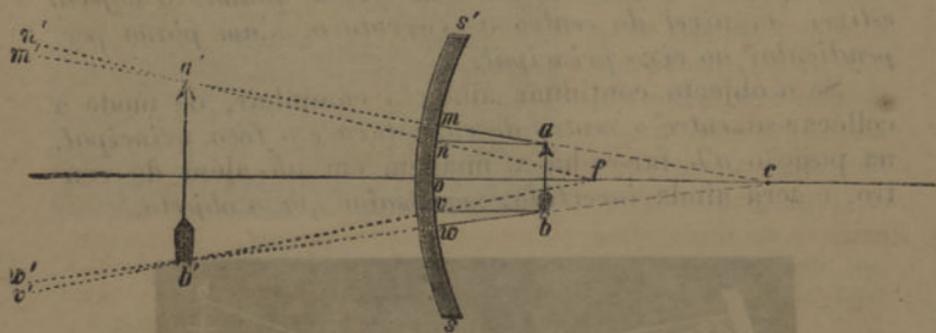


Fig. 123

foco em  $b'$ , no prolongamento do eixo secundario  $cv'$ . Como todos os pontos collocados entre  $a$  e  $b$  farão a sua imagem entre  $a'$  e  $b'$ , segue-se que a imagem total do objecto será *directa, virtual e maior que o objecto*.

380. APLICAÇÕES. — Os espelhos côncavos servem para reflectores nos pharoes e candieiros d'illuminação. Empregam-se para tornar visiveis corpos muito affastados, como as estrellas, concentrando a luz que emittem no seu foco. Sobre este principio repousa a construcção dos telescopicos, de que mais tarde dos teremos a occupar.

381. ABERRAÇÃO D'ESFERICIDADE. — Os raios luminosos emannados d'um só ponto são reflectidos de modo a convergirem tambem n'um só ponto quando a abertura do espelho não excede 8 ou 9 grãos. Quando a abertura é maior, os raios reflectidos proximo do bordo vão encontrar o eixo mais perto do espelho do que aquelles que se reflectiram a pequena distancia do centro de figura. Portanto, a cada ponto luminoso corresponde na realidade uma serie de focos conjugados dispostos em linha recta no eixo secundario d'esse ponto. A distancia dos dois focos extremos chama-se *aberração longitudinal* d'esphericidade. Quando se trata d'um ponto luminoso situado no eixo principal e no infinito, a aberração é representada pela distancia do fóco principal dos raios periphericos ao fóco principal dos raios centraes e tem o nome de *aberração principal*.

Cortando-se dois a dois os raios reflectidos, os seus pontos d'intersecção determinam no espaço uma superficie curva brilhante que tem o nome de *caustica* por reflexão.

## CAPITULO III

### Refracção da luz

Refracção da luz. Leis da refracção. Indices de refracção dos corpos mais usuaes: agua, vidro, diamante, etc. Passagem da luz atravez d'uma lamina de faces parallelas. Reflexão total. Angulo limite. Illusões opticas produzidas pela refracção. Refracção atmospherica. Miragem.

Lentes esfericas. Construcção das imagens, sua natureza, posição e grandeza, nas lentes convergentes e divergentes. Centro optico. Aberração d'esphericidade.

382. REFRAÇÃO. DIOPTRICA. — Todas as vezes que um raio luminoso passa d'um meio para outro, do ar para a agua, por exemplo, soffre um desvio de direcção em virtude do qual se aproxima ou desvia mais da normal á superficie de separação dos dois meios. Este phenomeno recebeu o nome de *refracção*. A parte da physica que o estuda chama-se *dioptrica*.

Quando um raio se aproxima mais da normal, ao passar d'um meio para outro, diz-se que este é *mais refringente* do que o primeiro; no caso contrario, diz-se que é *menos refringente*.

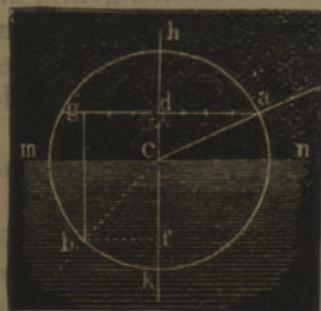


Fig. 124

Seja *mn* (fig. 124) a superficie de separação de dois meios transparentes, ar e agua, por exemplo: *ac* o raio incidente, *hk* a normal e *cb* o raio refracto. O angulo *ach* é o angulo d'incidencia e *bck* o angulo de refracção. O raio refracto aproxima-se aqui da normal,

mas dar-se-hia o contrario se se desse a passagem inversa:  $bc$  seria então o raio incidente, e  $cd$  o raio refracto.

Quando a luz atravessa alguns solidos não homogêneos, divide-se, pela refração, em dois feixes distinctos; este phenomeno tem o nome de *refracção dupla* e as substancias que o apresentam o de *bi-refringentes*.

383. ALGUNS FACTOS DE REFRAÇÃO. — Se introduzirmos

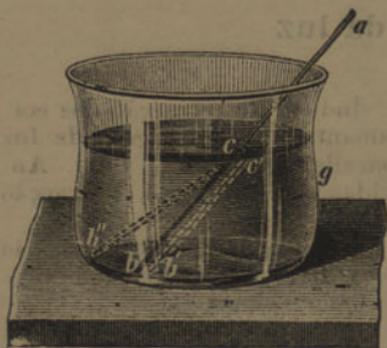


Fig. 125

na agua uma vara, de maneira que parte fique mergulhada e parte livre (fig. 125), parecer-nos-ha que a vara está partida.

Se collocarmos no fundo d'um vaso opaco uma moeda e nos afastarmos gradualmente d'ella, tornar-se-nos-ha invisivel. Se porém, depois de termos feito isto, fizermos deitar agua no vaso, a moeda tornar-se-nos-ha outra vez visivel.

apesar de não havermos mudado de posição.

São exemplos de refração estes factos. Imaginemos o

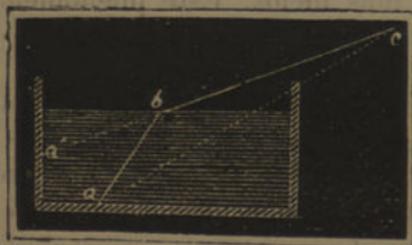


Fig. 126

que se dá com um raio emitido do ponto  $a$  (fig. 126); chegando ao ponto  $b$ , o raio  $ab$ , como passa da agua para o ar, isto é, para um meio menos refringente, afastar-se-ha mais da normal e o observador verá o objecto  $a$  no prolongamento do raio refracto  $a'b$ .

Efeitos tambem curiosos da refração são aquelles que muita vez vemos na atmospha.

Esta é formada, como sabem, de camadas que se vão tornando cada vez mais refringentes, de modo que os raios emanados d'um astro qualquer  $S$  irão descrevendo uma curva de concavidade voltada para a terra, como o repre-

senta a fig. 127. Como, porém, nós vemos os objectos luminosos ou illuminados na direcção rectilinea dos raios que nós chegam ao orgão visual, o observador, collocado á superficie da terra, verá o astro S em S'.

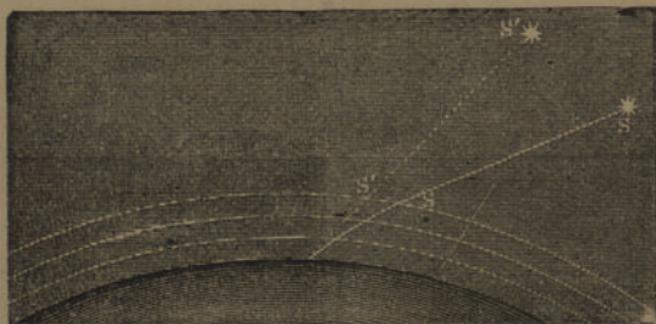


Fig. 127

E' tambem em virtude da refracção atmospherica que o disco do sol nos apparece tanta vez no horizonte deformado. O bordo inferior do astro em geral levanta-se um pouco mais do que o superior, em virtude da desigual refracção que experimentam os seus raios.

384. LEIS DA REFRACÇÃO.— A experiencia demonstrou que a refracção está sujeita a duas leis chamadas de Descartes. Estas leis podem ser enunciadas assim:

1.<sup>a</sup> *Para os mesmos meios, os senos do angulo de incidencia e o do angulo de refracção estão n'uma rasão constante.*

2.<sup>a</sup> *O raio incidente e raio refracto estão n'um mesmo plano, perpendicular á superficie de separação dos dois meios.*

Demonstram-se estas leis por meio d'um vaso semi-circular de vidro, cheio d'agua até á altura do centro, e á volta do qual está collocado um limbo vertical graduado.

Seja *ac* um raio incidente dirigido no plano vertical do limbo (fig. 128). Este raio, passando do ar para a agua,

tomará a direcção  $ca$ , isto é, approximar-se-ha mais da normal  $pp'$ , á superfície de separação dos dois fluidos. Medindo-se então com o limbo os angulos, facilmente se lhes conhe-

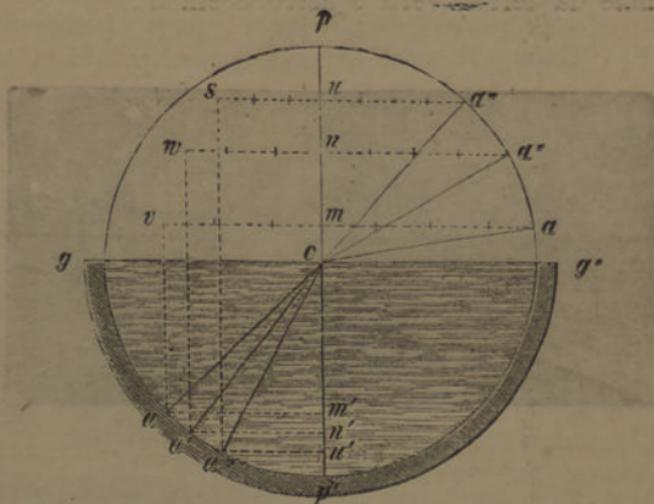


Fig. 128

cem os senos  $am$  e  $mw$ , cuja relação se vê ser sensivelmente igual a  $\frac{4}{3}$ . Se considerarmos um outro raio  $a'c$ , dirigido no mesmo plano que o primeiro, mas menos obliquamente, observaremos o mesmo phenomeno, e tratando de avaliar os senos dos respectivos angulos, reconhecer-se-ha que a relação entre elles será ainda igual a  $\frac{4}{3}$ , o que demonstra a primeira lei.

A segunda lei acha-se demonstrada pela propria disposição do apparatus, visto que o limbo graduado é perpendicular á superfície de separação dos dois meios.

385. INDICES DE REFRAÇÃO. — A relação constante dos senos do angulo d'incidencia e do angulo de refração chama-se *índice de refração*. No exemplo precedente do ar e da agua, o índice de refração é expresso pela fracção  $\frac{4}{3}$ .

Designando por  $n$  o índice de refração, por  $i$  o angulo de inci-

dencia e por  $r$  o angulo de refracção, o indice de refracção será expresso pela seguinte formula :

$$n = \frac{\text{sen. } i}{\text{sen. } r}$$

Se em logar de fazer passar a luz do ar para a agua, a fizessesmos partir directamente do vacuo para a agua obteriamos assim o *indice absoluto* de refracção da agua.

Como o indice de refracção do ar é muito pequeno, despresa-se a causa do erro que possa resultar de não se contar com o desvio produzido, e consideram-se como indices de refracção absolutos os indices de refracção referidos ao ar.

386. LEI DE RECIPROCIDADE. — Se em logar de fazer, como acabamos de ver, passar a luz do ar para a agua, a fizessesmos inversamente passar da agua para o ar, os raios affastar-se-hiam mais da normal, e o que era ha pouco angulo d'incidencia, tornar-se-hia agora angulo de refracção, ao passo que o que ha pouco era angulo de refracção, estaria agora collocado em angulo d'incidencia. O indice de refracção de  $\frac{4}{3}$  que era, passaria a ser expresso pela fracção  $\frac{3}{4}$ . Isto é um caso particular d'uma lei de optica, chamada *lei de reciprocidade* que se enuncia assim: *a luz que atravessa uma serie de corpos transparentes, segue sempre o mesmo caminho, qualquer que seja o sentido da propagação.*

387. ANGULO LIMITE. REFLEXÃO TOTAL. — Quando um raio luminoso passa d'um meio para outro menos refrin-

gente, affasta-se da normal, e o angulo que fórma com a normal depois de refracto, é maior do que o angulo d'incidencia. Se fizermos variar o angulo d'incidencia d'um raio qualquer que se transmita atravez d'uma massa d'agua, chegaremos a encontrar, para o angulo d'incidencia um valor tal, que o angulo de refracção correspondente seja recto. O raio incidente sairá pois da

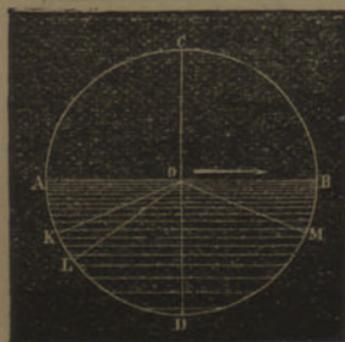


Fig. 129

massa liquida, razando a sua superficie. Este angulo LOD é chamado *angulo limite*, porque todo e qualquer raio que faça com a normal um angulo maior, não póde refractar-se nem pôr conseguinte sair do liquido. N'estes casos, o raio reflecte-se sobre a superficie de separação dos meios, fazendo com a normal um angulo de reflexão egual ao angulo d'incidencia. E' este phenomeno que recebeu o nome de *reflexão total*, porque os raios são reflectidos na sua totalidade, sem nada perderem da sua intensidade.

388. MIRAGEM. — E' á reflexão total que se deve o curioso phenomeno da *miragem*, que nos faz vêr, por um tempo socegado, as imagens invertidas dos objectos distantes, como se foram reflectidos por uma grande superficie d'agua. Observa-se este phenomeno frequentes vezes nos climas quentes, e particularmente nas planicies arenosas do Egypto, onde Monge o estudou por occasião da expedição do Egypto.

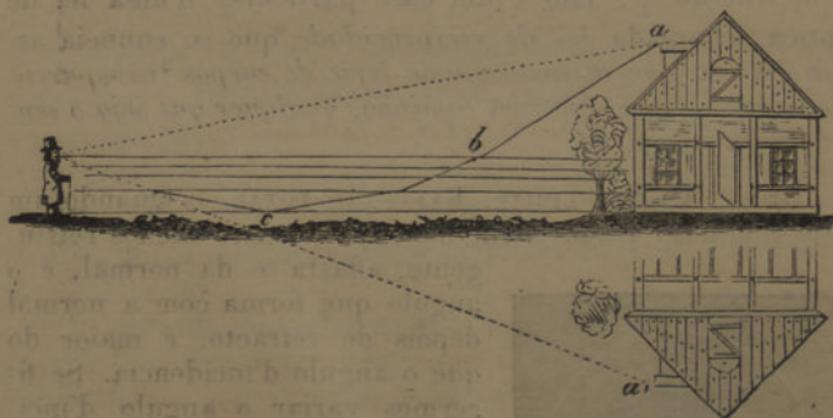


Fig. 130

Quando o ar está tranquillo, succede que o solo, fortemente aquecido, communica o seu calor ás camadas da atmosphera que o cercam, e estas, apesar de diminuidas em densidade, podem conservar-se n'este equilibrio verdadeiramente instavel. Resulta d'ahi que os raios luminosos,

que se dirigem obliquamente d'um objecto qualquer, atravessam camadas d'ar successivamente menos densas, e por isso cada vez menos refringentes. Estes raios, afastando-se cada vez mais da normal, podem attingir uma incidencia superior ao angulo limite, ponto desde o qual deixa de haver refração para se dar a *reflexão total*. Reflectem-se então os raios n'essa camada, como fariam n'um espelho ordinario ou na superficie das aguas tranquillias.

### 389. REFRAÇÃO DA LUZ EM MEIOS DE FACES PARALLELAS.

— Seja  $ac$  um raio luminoso, incidindo sobre uma lamina de vidro de faces parallelas: este raio, depois de atravess-

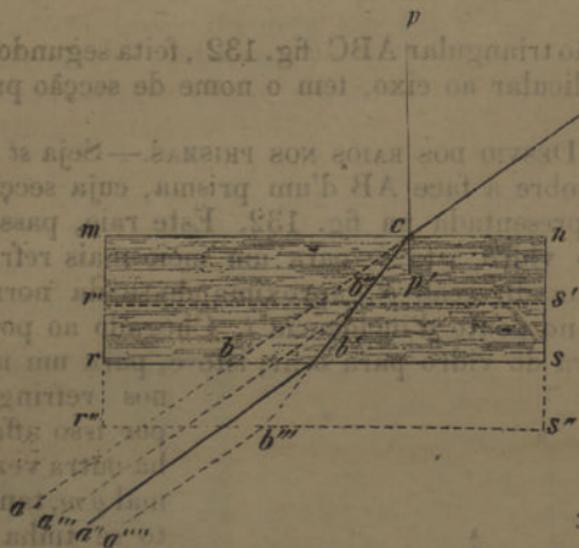


Fig. 131

sar o vidro, sairá n'uma direcção parallela áquella em que entrou. Effectivamente, ao chegar a  $c$ , o raio, depois de refractado, aproxima-se mais da normal  $pp'$  a este ponto, mas, chegando a  $b''$ , isto é, ao sair d'este meio para o ar, afastar-se-ha outra vez mais, e uma quantidade exactamente egual á distancia que se tinha aproximado da normal. E' por isso que, quando um raio de luz atravessa

um meio refringente de faces paralellas, são n'uma direcção parallela áquella que tinha.

390. PRISMAS. — Dá-se o nome de *prismas* em optica a meios refringentes, terminados por faces planas, inclinadas uma sobre a outra.

Chama-se *aresta* ou *vertice* do prisma á recta que duas faces determinam ao cortar-se, e o angulo diedro formado por ellas tem o nome de *angulo refringente* do prisma. Os prismas de que lançamos mão em optica são ordinariamente *triangulares rectos*, porém nunca se entra em consideração com as suas faces geometricas. A face rectangular, opposta ao angulo refringente, tem o nome de *base* do prisma.

A secção triangular ABC (fig. 132), feita segundo um plano perpendicular ao eixo, tem o nome de secção principal.

391. DESVIO DOS RAIOS NOS PRISMAS. — Seja *st* um raio incidente sobre a face AB d'um prisma, cuja secção principal é representada na fig. 132. Este raio, passando do ar para o vidro, isto é, para um meio mais refringente, tomará uma direcção *tt'*, aproximando-se da normal *om*, levantada no ponto d'incidencia *t*. Chegado ao ponto *t'*, o raio passará do vidro para o ar, isto é, para um meio menos refringente, e

por isso afastar-se-ha outra vez da normal *o'm*, tanto quanto se tinha aproximado ao penetrar em *t*, tomando a direcção *t's'*. O observador, collocado em *s'*, receberá os raios emittidos pelo ponto luminoso *s* como se elles proviessem de um ponto situado no prolongamento de

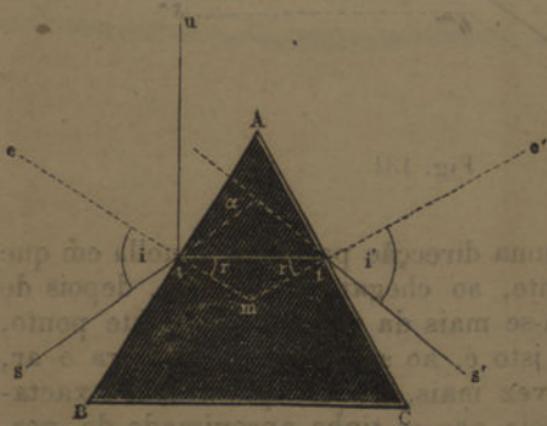


Fig. 132

st'. O mesmo é dizer que os objectos vistos atravez do prisma parecem sempre desviados para o seu vertice.

O angulo *sas'*, formado pelo raio incidente e pelo raio emergente, sufficientemente prolongados, tem o nome de *angulo de desvio*, ou simplesmente, *desvio* do prisma.

O que acabamos de vêr succede nos prismas mais refringentes que o ar; nos que o forem menos, os raios, em vez de serem desviados para o vertice, sel-o-hão para a base.

E' o que acontece se empregarmos um prisma de vidro oco, em cujo interior se haja feito o vacuo ou enchido d'um gaz menos refringente que o ar, como é o hydrogenio. O desvio dos prismas augmenta com o angulo refringente, e com o indice de refracção da sua substancia.

Quando a luz é dirigida por tal fórma que os raios, depois de terem atravessado o prisma, fazem um angulo superior ao angulo limite, observa-se o phenomeno da *reflexão total*.

392. LENTES. — Chamam-se *lentes* meios refringentes, terminados por superficies curvas esfericas, ou por uma superficie plana e outra curva. As lentes são ordinariamente construidas de *flint-glass* e *crown glass*, especies de vidro que teem grande transparencia e pureza.



Fig. 133

Os raios de luz, atravessando estes meios, desviam-se. Segundo este desvio torna os raios divergentes ou convergentes, assim as lentes se dividem em *convergentes* e *divergentes*.

As primeiras são aquellas que têm maior espessura no centro que nos bordos; as segundas aquellas que pelo contrario são mais espessas nos bordos que no centro.

As lentes convergentes podem ser *biconvexas*, como a que está representada em a; *planoconvexas*, como em a' e *convexo-concavas* ou *meniscos convergentes*, como em a'',

As divergentes são: *biconcavas* como se figura em *b*, *plano-concavas* como em *b'* e *concavo-convexas* ou *meniscos divergentes* como em *b''*.

393. LENTES CONVERGENTES. EIXO PRINCIPAL. CENTRO OPTICO, EIXOS SECUNDARIOS. — Tomemos uma lente biconvexa *AB*; a linha *MM'* que junta os centros de curvatura das duas superficies é o *eixo principal* a lente. Tracemos dois raios de curvatura paralelos *Mb* e *M'b'*; juntando por uma recta os pontos em que tocam as respectivas superficies, esta interceptará o eixo principal n'um ponto *C* que se chama *centro optico* da lente (fig. 134).

Se suppozermos dois planos tangentes aos pontos em que o eixo principal corta a lente, é facil vêr que elles serão paralelos; é por isso que *todo o raio luminoso que passa pelo centro optico* sáe com uma direcção paralela á que levava antes de penetrar. Toda a recta que passa pelo centro optico, distincta do eixo principal, chama-se *eixo secundario*.

394. FOCOS DAS LENTES CONVERGENTES. — As lentes convergentes apresentam, como os espelhos concavos, tres especies de focos: *foco principal*, *conjugados* e *virtuaes*.

1.º *Foco principal*. Chama-se assim ao ponto em que

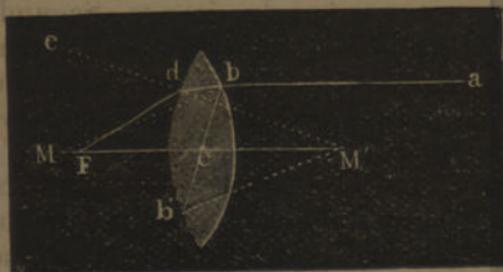


Fig. 134

se reúnem todos os raios luminosos paralelos ao eixo principal antes de atravessarem a lente.

Seja *ab* um raio luminoso paralelo ao eixo principal *MM'*. Este raio, atravessando a lente, aproximar-se-ha da normal *Mb* e tomará a direcção *bd*. Chegando ao ponto *d* afastar-se-ha da normal *M'd* e irá cortar o eixo principal em *F*. Todos os raios que forem paralelos ao eixo serão fractados da mesma maneira, e irão convergir sen-

do. Chegando ao ponto *d* afastar-se-ha da normal *M'd* e irá cortar o eixo principal em *F*. Todos os raios que forem paralelos ao eixo serão fractados da mesma maneira, e irão convergir sen-

sivelmente no foco principal. A distancia que vae do fóco á superficie da lente é chamada *distancia focal principal*.

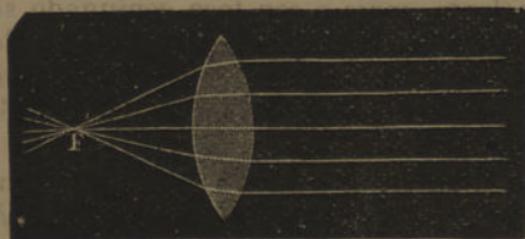


Fig. 135

Note-se que apenas os raios paralelos visinhos do eixo são assim refractados; os outros encontram o eixo um pouco mais cedo, em virtude d'um effeito chamado *aberraçãõ de esphericidade*.

Reciprocamente, um ponto luminoso collocado no foco principal d'uma lente convergente enviará os seus raios, depois de refractos, n'uma direcção paralela ao eixo principal, como se vê na fig. 135.

395. FOCOS CONJUGADOS. — Consideremos agora um ponto luminoso *a*, collocado no eixo principal da lente, além do foco principal *F*. Todo o raio emanado d'este ponto, tendo um angulo d'incidencia maior que o formado

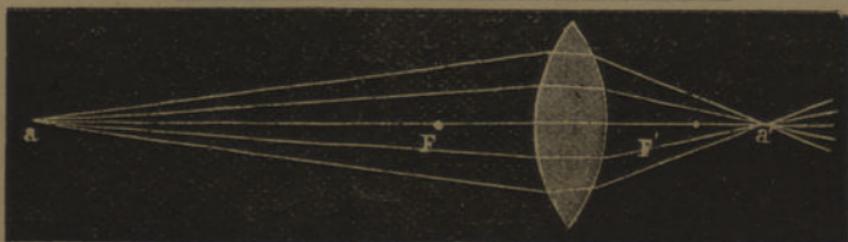


Fig. 136

ha pouco pelo raio incidente, dará tambem logar a um angulo de refraçãõ maior do que o formado no caso precedente. D'aqui resulta que os raios, depois de refractos, irão tambem encontrar o eixo principal n'um ponto, mas mais affastado que o foco principal. Este ponto representado na fig. 136 por *a'* tem o nome de *foco conjugado* do ponto *a*, porque se os raios partidos de *a* vão

formar foco em  $a'$ , os que emanem de  $a'$  irão formar um foco em  $a$ . Facil é vêr que, quanto mais o ponto luminoso se aproximar da lente, mais o seu foco conjugado se affastará. Demonstra-se pela experiencia e pelo calculo que, quando o objecto luminoso estiver collocado a uma distancia dupla da *distancia focal principal*, o seu foco ficará á mesma distancia da lente.

3.º *Focos virtuaes*. Imaginemos agora que o foco luminoso está collocado entre a lente e o *foco principal*. Seja  $a$  o objecto luminoso; o angulo d'incidencia é sempre maior que o formado por qualquer raio partido do foco principal. D'aqui resulta que o angulo de refração tambem será maior, e, como os raios partidos do foco saem pa-

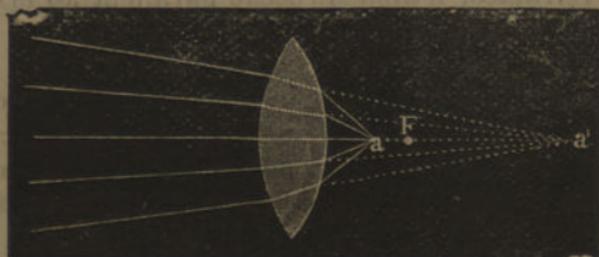


Fig. 137

rallelos depois de refractos, o raio sairá n'uma direcção divergente. Este ponto não poderá ter foco do outro lado da lente, mas, prolongando os raios depois de refractos, encontrar-se-hão no ponto  $a'$ , d'onde parecerão provir; é este ponto que tem o nome de *foco virtual*.

Em tudo quanto fica dito, tem-se supposto o ponto luminoso collocado no eixo principal. O mesmo succederia com pontos luminosos collocados fóra d'elle, formando-se então os focos nos eixos secundarios.

396. FORMAÇÃO DAS IMAGENS NAS LENTES CONVERGENTES. — N'esta especie de lentes temos a considerar, como nos espelhos concavos, duas especies de imagens: reaes e virtuaes.

1.º *Imagens reaes.* Formam-se sempre que o objecto luminoso está collocado para além do foco principal da lente.

Seja o objecto  $ab$  (fig. 138) collocado além do foco principal da lente  $ll'$ . Passemos pelo centro optico dois eixos secundarios  $aa'$  e  $bb'$  dos pontos extremos  $a$  e  $b$  do objecto. O ponto  $a$  fará o seu foco conjugado em  $a'$ , no ponto em que o seu eixo secundario é cortado por um raio qualquer  $am$  partido de  $a$ , depois de refracto. O ponto  $b$  fará da mesma sorte o foco em  $b'$  no ponto em que o seu eixo secundario é cortado por um raio qualquer  $bn$  emanado de  $b$ .

Como todos os pontos collocados entre  $a$  e  $b$  terão a sua imagem entre  $a'$  e  $b'$ , segue-se que vêr-se-ha em  $b'a$ , uma imagem de  $ab$  *real* e *invertida*.

Demonstra a experiencia e o calculo que, quando o objecto  $ab$  estiver collocado a uma distancia dupla da distancia focal principal, a imagem será das mesmas dimensões do objecto. Quando estiver a uma distancia menor, a imagem será maior; quando estiver a maior distancia, a imagem será menor.

2.º *Imagens virtuaes.* Produzem-se sempre que o objecto está collocado entre a lente e o seu foco principal. Seja  $ab$  um objecto collocado diante da lente  $ll'$  e collocado entre esta e o foco

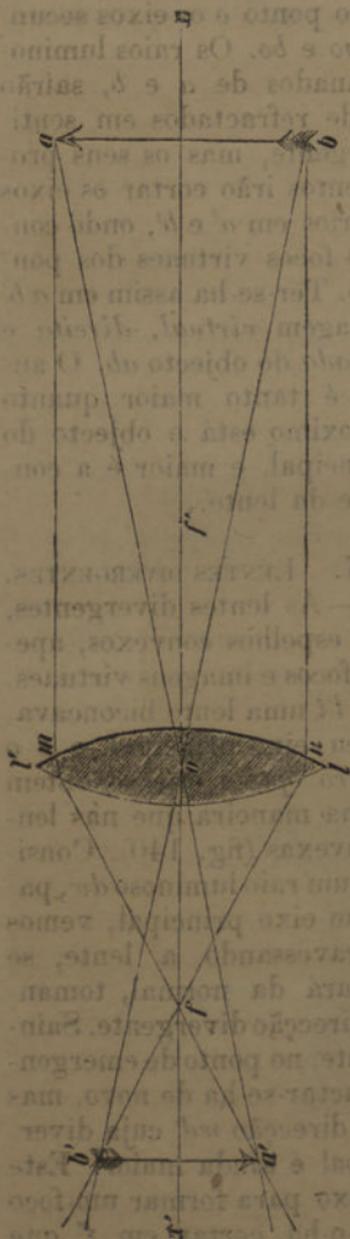


Fig. 138

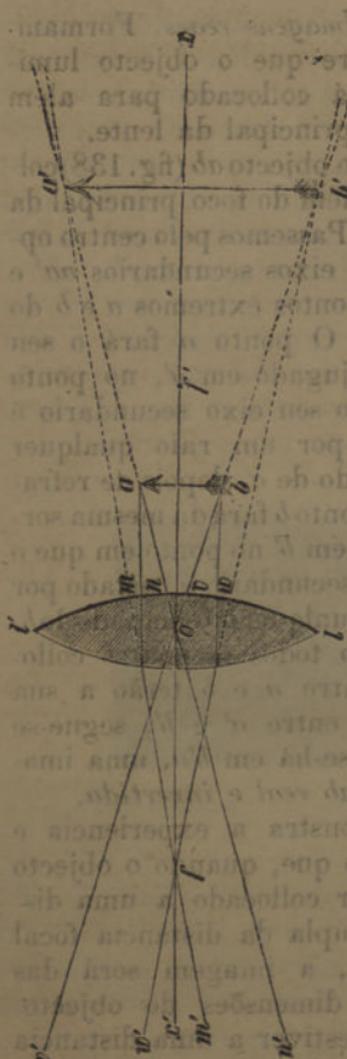


Fig. 139

principal  $f$  (fig. 139). Conduzamos pelo ponto  $o$  os eixos secundarios  $ao$  e  $bo$ . Os raios luminosos emanados de  $a$  e  $b$ , sairão depois de refractados em sentido divergente, mas os seus prolongamentos irão cortar os eixos secundarios em  $a'$  e  $b'$ , onde constituirão focos virtuaes dos pontos  $a$  e  $b$ . Ter-se-ha assim em  $a'b'$  uma imagem *virtual, direita e ampliada* do objecto  $ab$ . O augmento é tanto maior quanto mais proximo está o objecto do foco principal, e maior é a convexidade da lente.

## 397. LENTES DIVERGENTES.

Focos. — As lentes divergentes, como os espelhos convexos, apenas dão focos e imagens virtuaes.

Seja  $ll$  uma lente biconcava,  $xx'$  o seu eixo principal, e  $o$  o seu *centro optico* que se obtem da mesma maneira que nas lentes biconvexas (fig. 140). Considerando um raio luminoso  $dw$ , paralelo ao eixo principal, vemos que, atravessando a lente, se aproximará da normal, tomando uma direcção divergente. Saído da lente, no ponto de emergencia, refractar-se-ha de novo, mas afastando-se da normal. Tomará a direcção  $wd'$  cuja divergencia em relação ao eixo principal é ainda maior. Este raio não poderá pois encontrar o eixo para formar um foco real, mas o seu prolongamento il-o-ha cortar em  $f'$  que será o *foco virtual principal* da lente.

Succederia o mesmo com qualquer outro raio que fosse

paralelo ao eixo principal e pouco distante d'esse eixo. Qualquer ponto luminoso collocado no eixo principal, de

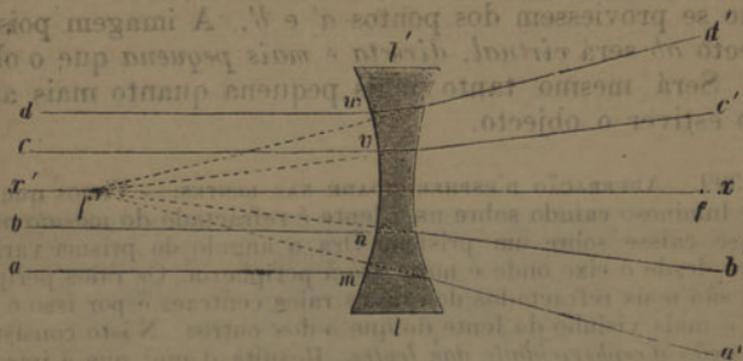


Fig. 140

maneira a enviar sobre a lente um feixe divergente, formaria ainda um foco virtual mais aproximado d'ella.

398. FORMAÇÃO DAS IMAGENS NAS LENTES DIVERGENTES.

— Seja  $ab$  um objecto collocado diante d'uma lente bicon-

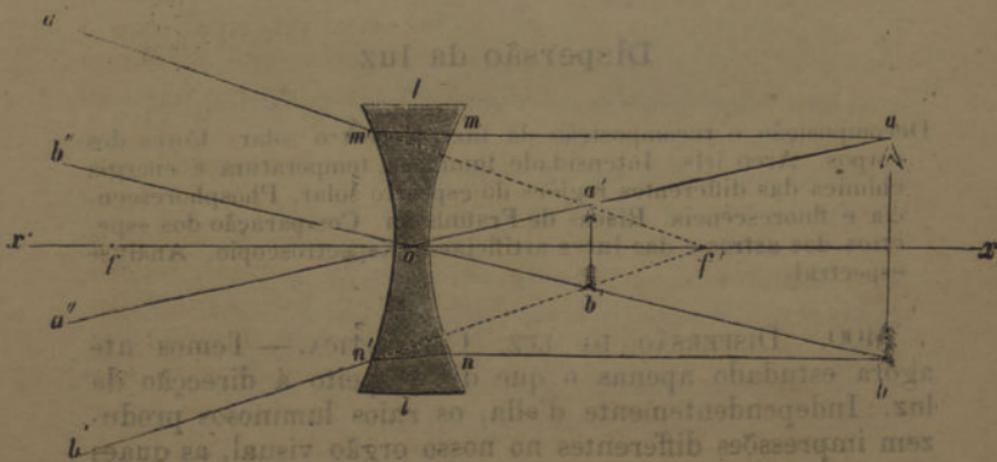


Fig. 141

vexa  $ll'$ . Tiremos pelo centro optico  $o$  os eixos secundarios  $aa''$  e  $bb''$ , dos pontos extremos  $a$  e  $b$  do objecto. Todos os

raios, taes como  $am$  e  $bn$  emanados d'estes pontos afastar-se-hão dos seus respectivos eixos, ao atravessarem a lente, de modo que o observador receberá os raios luminosos como se proviessem dos pontos  $a'$  e  $b'$ . A imagem pois do objecto  $ab$  será *virtual, directa e mais pequena* que o objecto. Será mesmo tanto mais pequena quanto mais afastado estiver o objecto.

399. ABERRAÇÃO D'ESFERICIDADE NAS LENTES. — Vimos que um feixe luminoso caindo sobre uma lente é refractado do mesmo modo que se caísse sobre um prisma. Ora o angulo do prisma varia e cresce desde o eixo onde é nullo até á periphèria. Os raios periphèricos são mais refractados do que os raios centraes e por isso o seu foco é mais visinho da lente do que o dos outros. N'isto consiste a *aberração d'esphericidade das lentes*. Resulta d'aquí que a imagem d'um ponto luminoso collocado a distancia nunca é simples, formando-se um circulo luminoso com prejuizo da nitidez da imagem. A aberração d'esphericidade póde ser, como nos espelhos, *longitudinal e lateral*.

## CAPITULO IV

### Dispersão da luz

Decomposição e recomposição da luz. Espectro solar. Cores dos corpos. Arco iris. Intensidade luminosa, temperatura e energia chimica das diferentes regiões do espectro solar. Phosphorescencia e fluorescencia. Riscas de Fraunhofer. Comparação dos espectros dos astros e das luzes artificiaes. Espectroscopio. Analyse espectral.

400. DISPERSÃO DA LUZ. CHROMATICA. — Temos até agora estudado apenas o que diz respeito á direcção da luz. Independentemente d'ella, os raios luminosos produzem impressões differentes no nosso orgão visual, as quaes são attribuidas a differentes qualidades, a que chamamos *cores*.

A parte da optica que se occupa das cores recebe o nome de *chromatica*.

401. ESPECTRO SOLAR. — Recebendo n'uma camara escura, por uma abertura circular, um feixe de raios sobre um prisma, vemos na parede opposta uma imagem do sol alongada, na direcção perpendicular ás arestas do prisma, e córada com todas as cores do arco iris.

Esta imagem recebeu o nome de *espectro solar*, e o phenomeno o de *dispersão*.

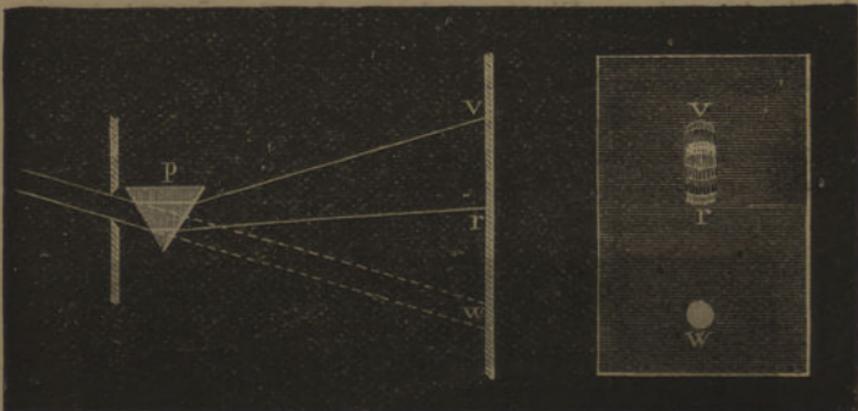


Fig. 142

A dispersão da luz assenta em tres principios que convem reter:

1.º *A luz branca é composta d'uma infinidade de raios, diversamente corados, mas entre os quaes se contam sete cores principaes.*

As cores que mais se destacam são na realidade sete, a saber: indo de cima para baixo, o *vermelho*, o *alaranjado*, o *amarello*, o *verde*, o *azul*, o *anilado* e o *violeta*. Estas cores não occupam todas a mesma extensão do espectro; é o violeta que occupa maior espaço, e o alaranjado o que o occupa menor.

2.º *As cores elementares do espectro são simples ou inalteraveis.*

Para a demonstração d'este principio, basta receber o espectro n'um alvo que tenha uma abertura, por onde

passem só os raios d'uma côr e recebel-os depois n'um novo prisma. Os raios são refractados, mas não se decompõem.

3.º Os raios diversamente corados do espectro solar não são igualmente refrangiveis.

A fórma alongada do espectro é de per si uma prova d'este principio. E' evidente que os raios vermelhos, que experimentam o menor desvio, são os menos refrangiveis e que esta refrangibilidade augmenta até ao violeta, cujo desvio é maximo. E' a esta desigual refrangibilidade que é devida a decomposição da luz branca, porque, se todos os raios que a compõem fossem igualmente refrangiveis, não poderiam separar-se para apparecerem com as suas cores respectivas. A luz conservar-se-hia branca, como ao atravessar um meio de faces parallelas.

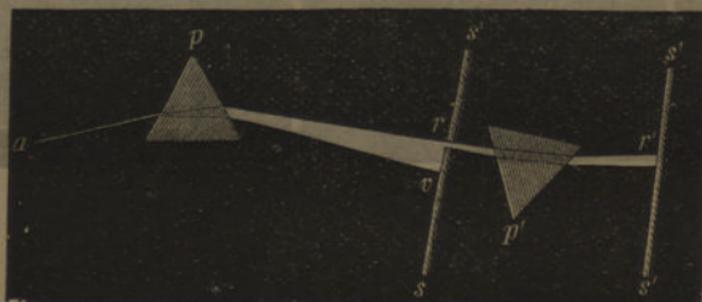


Fig. 143

D'entre a serie de demonstrações experimentaes d'este principio, ha uma extremamente simples. Se collocarmos n'um cartão preto duas tiras de papel, uma vermelha e outra violeta, ao lado uma da outra, e as observarmos, atravez d'um prisma, reconheceremos que estão separadas e mais desviada a violeta.

402. RECOMPOSIÇÃO DA LUZ. — São numerosissimos os modos por que se póde recompor a luz, demonstando assim o principio que Newton estabeleceu de que as diversas cores reunidas dão a luz branca.

Todos se reduzem fundamentalmente a dois: ou fazendo *parallelos os raios luminosos divergentes*, ou *concentrando-os todos n'um ponto*.

Poz-se em pratica o primeiro meio, recebendo o espectro sobre um outro prisma de igual angulo refringente mas voltado em sentido contrario. O segundo prisma torna outra vez parallelos os raios separados pelo primeiro, de modo que o feixe emergente é de luz branca, como o era o incidente (fig. 143).

Para fazer convergir os raios do espectro, empregam-se varios meios, com qualquer dos quaes se consegue demonstrar que a reunião das sete cores dá a luz branca.

Recebendo o espectro sobre uma lente biconvexa, e collocando no seu focum anteparo qualquer, obtem-se n'elle uma imagem branca do sol (fig. 144).

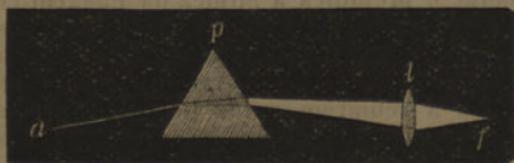


Fig. 144

Dirigindo os raios do espectro para um espelho

concavo, e collocando no seu foco um pedaço de vidro despolido, vem-se a formar um ponto de luz branca.

Recebendo os raios do espectro sobre sete espelhos moveis, e dando-lhes uma inclinação tal que os raios, depois de reflectidos, converjam n'um só ponto, temos n'elle uma imagem do sol de cor branca.

Ha ainda um outro meio de demonstrar este principio que se não baseia em nenhum d'estes

processos mas na rapidez com que as successivas cores se veem pintar no orgão visual. E' por meio d'um pequeno aparelho, chamado *disco de Newton*, que isto se consegue. Compõe-se elle d'um disco circular de cartão, tendo 30 a 40 centimetros de diametro, e movel em torno d'um eixo horizontal. No centro e na peripheria, ha duas zonas pintadas de negro, no

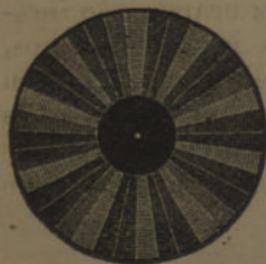


Fig. 145

intervallo das quaes estão collocadas tiras de papel das cores do espectro, collocadas na sua ordem respectiva e occupando espaços semelhantemente relacionados. Se se imprimir a este disco um movimento de rotação rapido, todas as cores virão pintar-se simultaneamente na retina e o disco, no intervallo das zonas, parecerá branco.

403. ABERRAÇÃO DE REFRANGIBILIDADE. LENTES ACHROMATICAS. — Da desigual refrangibilidade dos raios do espectro resultá que quando a luz branca atravessa uma lente convergente, os diferentes raios que a compõem não vão concorrer exactamente no mesmo ponto, indo cruzar-se no eixo os diferentes raios corados, sendo em primeiro logar os violetás e em último os vermelhos. Este cruzamento tem o nome de *aberração de refrangibilidade* e prejudica a nitidez da imagem cujos bordos apparecem com cores variadas. Remedeia-se a este inconveniente pela sobreposição de duas ou mais lentes de substancias desigualmente refringentes combinadas de maneira a reunirem a luz proxmamente no mesmo ponto. A essas lentes dá-se o nome de *lentes achromaticas*.



Fig. 146

404. CORES DOS CORPOS. — Se um corpo opaco, illuminado pelo sol ou qualquer outra origem de luz branca, reflecte todos os raios do espectro nas suas proporções naturaes, esse corpo parece branco; se não reflecte nenhuns, é negro. Se o corpo reflecte em maior proporção os raios vermelhos, verdes ou azues, egualmente o corpo parecerá vermelho, verde ou azul.

Succede o mesmo com os corpos transparentes; a sua côr depende dos raios que deixam passar. Os que se deixam atravessar por todos os raios da luz branca, são *incolors*, os que deixam passar apenas os raios vermelhos, amarells ou azues, serão tambem vermelhos, amarells ou azues. Os corpos transparentes absorvem uns certos raios e reflectem outros; d'aqui resulta que um corpo transparente pôde apresentar diferentes corpos segundo é visto por transparencia ou por reflexão.

405. CORES COMPLEMENTARES. CORES SIMPLES E COMPOSTAS. — As cores que se podem observar n'um espectro

bem puro; tem o nome de *simples*; a reunião d'estas, dá em resultado *cores compostas*.

Cores ha cuja reunião dá em resultado uma luz mais ou menos branca; por isso recebem o nome de *complementares*. Assim, o vermelho e o verde; o alaranjado e o azul; o amarello e o violeta são complementares uma da outra.

406. CÔR DO AR. — O ar atmospherico, apesar de parecer, n'uma pequena espessura, perfeitamente incolor, tem a propriedade de reflectir os raios azues, absorvendo os restantes, e esse é o motivo porque o ceu nos apresenta essa côr.

Se os raios do sol atravessam, porém, muito obliquamente uma grande espessura de atmospherica, os proprios raios azues são absorvidos, de modo que o sol, proximo do occaso, parece emittir raios purpureos ou amarellados.

E' a grande intensidade de luz diffundida pela atmospherica que nos não permite ver os astros durante o dia; nas altas montanhas ou em balão, é possível avistal-os, porque nas regiões elevadas da atmospherica a diffusão é pequena, parecendo o ceu todo negro.



Fig. 147

407. ARCO IRIS. — O arco iris é um meteoro luminoso muito conhecido que se produz quando uma nuvem, fortemente illuminada pelo sol se resolve em chuva. Para se apreciar o phenomeno, é necessario que o observador esteja collocado entre a nuvem e o sol, com as costas voltadas para este astro. Umaz vezes apenas se observa um arco iris; mas outras observam-se dois sobrepostos, e n'esse caso as cores d'um estão collocadas em sentido inverso das do outro, sendo o arco interior mais intenso do que o externo que é desmaiado e pouco claro. O phenomeno é devido á decomposição da luz solar atravez das gottas de chuva, e á reflexão dos raios corados na superficie interna das mesmas gottas.

408. RISCAS DO ESPECTRO. — Quando se examina com um oculo um espectro solar, observa-se uma serie de riscas negras dirigidas perpendicularmente ao seu comprimento. Estas riscas, desegualmente distantes umas das outras, são na realidade pontos em que a luz falta completamente. Estas riscas foram pela primeira vez observadas por Wollaston, em 1802, mas constituiram o objecto de estudos posteriores de Fraunhöfer que tornaram bem conhecida a sua disposição. As principaes são oito, que se distribuem assim: no vermelho, ha tres marcadas pelas letras ABC; a quarta, D está collocada no ponto mais brilhante do espectro entre o alaranjado e o amarello. No amarello ha una, marcada pela letra E; ha tres na côr verde, das quaes a mais saliente é representada por F; ha uma G entre o azul e o anilado, e finalmente outra H no extremo violeta do espectro.

Multiplicando as refrações em varios prismas e observando os espectros com oculos bem construidos, tem-se chegado a observar mais de 3:000 riscas. O desenho do espectro solar publicado por Thollon tem 15 metros de comprido e 4:000 riscas.

409. ESPECTROS DOS ASTROS. — Os astros que, como a lua e os planetas, não tem luz propria mas são illuminados pelo sol, cuja luz nós reflectem, emittem uma luz que, analysada com um prisma, dá logar a um espectro analogo ao do sol. Não assim as estrellas fixas, cuja luz produz espectros em que as riscas obscuras têm disposições variaveis para cada estrella.

410. LUZES ARTIFICIAES. — As luzes artificiaes, produzidas pela combustão de substancias diversas, dão tambem, quando refractadas, logar a espectros que differem do solar. Distinguem-se usualmente pela presença de traços luminosos caracteristicos. N'isto repousa um meio de analyse que tem nos ultimos tempos tomado uma importancia consideravel, e a que se dá o nome de *analyse espectral*.

411. PROPRIEDADES DAS DIVERSAS PARTES DO ESPECTRO SOLAR.— O espectro solar apresenta tres propriedades distinctas, a *luminosa*, a *calorifica* e a *chimica*, cuja intensidade varia nos diferentes pontos.

A intensidade *luminosa*, maxima no amarello e no alaranjado, é pelo contrario quasi nulla no vermelho e violeta

A intensidade *calorifica* é quasi nulla no violeta, e vae crescendo gradualmente até ao vermelho, e além ainda d'este ponto, n'um comprimento egual ao do proprio espectro. Varia o maximo d'intensidade com a substancia de que é formado o prisma.

A intensidade da *acção chimica* que a luz exerce em varias composições e decomposições varia igualmente nas diversas partes do espectro. E' accentuada principalmente no violeta, e estende-se além d'este limite para o lado d'esta côr do espectro.

E' esta propriedade que determina a acção da luz sobre certos corpos, acção muito interessante e complexa. Assim, umas vezes decompõe certos corpos, como o chloreto de prata, que ennegrece exposto á luz, em virtude de ser abandonada uma parte do metal. Outras, produz combinações, como acontece misturando o hydrogenio e o chloro, mistura que se conserva indefinidamente nas trevas, mas que exposta á luz determina uma violenta detonação, acompanhada da combustão dos dois gazes, etc. A luz preside ainda a um grande numero de phenomenos vitaes, como a respiração das plantas, a formação da sua materia corante, etc.

412. ANALYSE ESPECTRAL.— As differenças manifestas que apresentam os espectros das diversas substancias, e que por si só bastam para caracterisal-os, deram logar á descoberta d'um methodo d'analyse chimica extremamente rigoroso — a *analyse espectral*.

Introduzindo n'uma chamma muito quente e pouco luminosa, tal como a do hydrogenio, um fio de platina que previamente haja sido mergulhado n'uma solução salina, vêem-se apparecer no espectro *riscas brilhantes caracteristicas do metal que entra na composição do sal*. Assim, por exemplo, a presença de sódio é revelada por uma risca amarella muito brilhante que occupa o lugar da risca D. de Fraunhoffer; o potassio por duas riscas, uma no extremo vermelho correspondente á risca A e outra no violeta, etc. E' tão sensível este processo d'analyse que permite reconhecer, pelos espectros, metaes representados por millionesimos de miligramma.

Graças á analyse espectral foram descobertos e isolados cinco metaes novos, a saber: o *cesio* e o *rubidio*, encontrados por Kirchhoff e Bunsen, caracterisados o primeiro por uma risca azul, e o outro por uma risca vermelha; o *thalio*, descoberto ao mesmo tempo por Crookes na Inglaterra e Lamy em França, que se distingue por uma risca verde; o *indio*, obtido por Reich e Richter, que se assignala por uma risca no anilado; e finalmente o *gallio*, descoberto por Le-coq de Boisbandran, que se reconhece por duas riscas violetas.

A analyse espectral ainda conseguiu mais: pelo estudo do espectro fornecido pela luz dos corpos celestes, pôde descobrir-se quaes

eram os elementos que entravam na sua constituição. Eis os factos em que assenta este conhecimento.

1.º Se compararmos as riscas brilhantes de diferentes côres dos diferentes espectros produzidos pelos vapores incandescentes com as riscas obscuras do espectro solar, reconhecer-se-ha que ellas occupam exactamente o mesmo lugar d'algumas d'essas riscas.

2.º Se collocarmos entre um corpo solido aquecido até ao rubro branco e o instrumento com que se procede á analyse espectral, o *espectroscópio*, a chamma produzida por um vapor incandescente, de maneira que a luz emanada do corpo solido seja obrigada a atravessar a chamma, antes de penetrar no instrumento, reconhecer-se-ha que o espectro continuo que teria dado o corpo solido, se fosse o unico a actuar, apresenta *riscas obscuras que correspondem ás riscas brilhantes* que daria a chamma se fosse a unica que se analysasse. Assim, se a chamma fosse produzida pelo alcool, tendo em solução chlorreto de sódio, a risca amarella que caracteriza este metal seria substituida por uma risca obscura que occuparia exactamente o seu lugar.

Prova isto que um vapor incandescente que emite raios d'uma certa côr absorve na passagem as radiações da mesma côr ou da mesma refrangibilidade provenientes d'outra origem, o que não passa d'uma applicação á luz do principio d'egualdade entre o poder emissivo e absorvente dos corpos para o calor. Os raios absorvidos são pois substituidos no espectro por riscas ou fachas obscuras, cuja posição varia com a natureza do corpo absorvente. Este phenomeno recebeu o nome de *reversão das riscas*.

Ora todos os astrónomos estão hoje d'accordo em considerar o sol como formado d'um nucleo central incandescente, envolvido por uma immensa atmospherá gazosa ou *photospherá*. Se só existisse o nucleo central, o espectro seria continuo, como succede com qualquer substancia solida ou liquida, mas a presença da photospherá, menos quente e luminosa do que elle, impede que assim succeda. Esta atmospherá actua sobre a luz emittida pelo nucleo da mesma fórma que actua qualquer vapor incandescente, absorvendo na passagem os raios cuja côr ou refrangibilidade corresponde aos que ella propria emittie. Assim no espectro solar as partes brilhantes são formadas pela luz do nucleo que atravessou a atmospherá de sol, ao passo que as riscas obscuras occupam o lugar dos raios absorvidos pelos vapores que formam essa atmospherá.

Em conclusão, o espectro solar não passa do *espectro invertido* da atmospherá do sol. D'aqui se segue que, para analysar a atmospherá solar, basta investigar quaes são os corpos brilhantes que, introduzidos n'uma chamma, dão riscas brilhantes que coincidam com as riscas obscuras do espectro solar. Por este processo d'investigação reconheceram Kirchhoff e Bunsen a existencia do ferro, do chromo, do nickel, do magnésio e do sodio nos elementos da atmospherá do sol.

413. ESPECTROSCÓPIOS. — Chamam-se *espectroscópios* todos os aparelhos que servem para estudar o espectro. O de Fraunhofer, o

primeiro em data e que serviu de modelo e typo para estes instrumentos, compõe-se de quatro peças montadas n'um supporte common. Estas peças são tres tubos de metal, dispostos de modo que os seus eixos converjam para um prisma de *flint glass* que occupa a parte central do aparelho.

Um dos tubos é destinado a enviar sobre o prisma um feixe de raios parallellos: é fechado na sua extremidade por uma chapa de metal em que ha uma fenda que é illuminada pela origem de luz que se pretende analysar. No tubo ha uma lente biconvexa; e estando collocada no seu fóco principal a origem luminosa, os raios emittidos por ella são parallellos ao eixo principal que coincide com o eixo geometrico do tubo.

O outro tubo é um oculo cujo eixo optico está disposto de modo a receber os raios emergentes do prisma. Dispõe d'uma pequena ampliação.

Finalmente, o terceiro tubo tem um *micrometro*, isto é, uma photographia em vidro de divisões muito finas e equidistantes collocada no fóco principal d'uma lente, de modo que os raios emittidos por esse micrometro são parallellos, depois d'atravessarem a lente, indo reflectir-se sobre a face correspondente do prisma, e entrando pelo oculo n'uma direcção parallellela ao seu eixo.

Para comprehender bem o funcionamento do instrumento, vejamos qual é a marcha dos raios luminosos dentro d'elle. Os raios provenientes da origem luminosa que se quer analysar, depois d'atravessarem a lente que os torna parallellos, vão incidir sobre o prisma, e decompondo-se e desviando-se, são na direcção do eixo do oculo destinado a analysar o espectro. Por outro lado, os raios emittidos pelo micrometro vivamente illuminado, reflectindo-se sobre a mesma face do prisma por onde são os raios emergentes, desenha superiormente ao espectro uma escala graduada que permite medir a posição e o comprimento occupado pelas differentes côres e riscas.

414. PHOSPHORESCENCIA. — Designa-se com o nome de *phosphorescencia* a propriedade que têm certos corpos d'emittirem luz sem desenvolvimento de calor. Em geral, a phosphorescencia resulta d'uma combustão lenta, determinada pelos raios chimicos do espectro. O phosphoro é o corpo que apresenta esta propriedade em mais alto gráu, mas certas madeiras em decomposição, o peixe em principio de putrefacção, etc., apresentam-n'o tambem. Como dissemos precedentemente (351), ha tambem corpos que, não sendo de sua natureza phosphorescentes, adquirem esta propriedade, quando submettidos a uma forte insolação: taes são o sulfato de cal, o fluoreto de calcio, as escamas d'ostras calcinadas, o diamante, etc. Ha insectos, como é por exemplo o pyrilampo e os pyrophoros do Brazil que tambem são phosphorescentes, e o brilho que apresenta por vezes o mar nas regiões tropicæes, e menos frequentemente nos climas temperados, é devido a animalculos phosphorescentes.

415. FLUORESCENCIA. — Chama-se *fluorescencia* uma especie de

phosphorescencia instantanea que desaparece muito rapidamente. Observa-se nas soluções de quinina, d'esculina, de chlorophylla, nos vidros d'urano e em alguns crystaes de espatho fluor. Quando estas substancias são expostas aos raios extremos do violeta do espectro e até aos raios invisiveis que ficam para além d'esta côr, tomam uma côr violacea muito accentuada, como se os raios invisiveis, ultra-violetas, se tivessem transformado em raios menos refrangiveis. O que distingue principalmente a phosphorescencia da fluorescencia, é que a primeira persiste algum tempo depois do desaparecimento da luz que a excitou, ao passo que a fluorescencia cessa com a illuminação.

## CAPITULO V

### Estructura do olho e visão

Mechanismo da visão. Defeitos da vista. Correção da myopia e do presbytismo por meio de lentes

416. **ESTRUCTURA DO OLHO.**—O olho é um órgão de fôrma espheroidal composto na sua essencia de diversas membranas envolventes e meios transparentes, atravez dos quaes a luz se refracta.

Os involucros do olho são, indo de fóra para dentro, a *esclerotica* e a *cornea transparente*, a *choroidea* e a *retina*.

Os meios transparentes são, indo tambem de fóra para dentro, o *humor aquoso*, o *cristallino* e o *humor vitreo*. O humor aquoso occupa o espaço comprehendido entre a face posterior da cornea e a anterior do cristallino, espaço que está dividido em dois compartimentos, a *camara anterior* e a *camara posterior*, por um diaphragma circular chamado *iris*, que tem uma abertura central chamada *pupilla*. O humor vitreo occupa todo o espaço que fica entre a face posterior do cristallino e a retina.

417. **MECHANISMO DA VISÃO.**—O olho póde ser perfeitamente comparado com o instrumento optico chamado *camara escura*. A pupilla é a abertura por onde entram

os raios luminosos; a cornea e o crystallino representam a lente que produz a imagem; a retina fórma o plano em

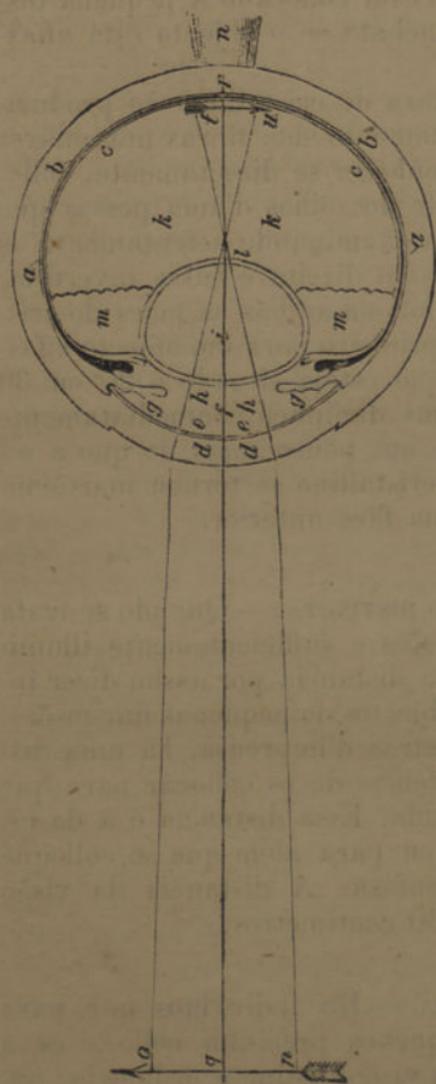


Fig. 148

que se vêem desenhar os objectos. O systema formado pela cornea e pelo crystallino determina o mesmo effeito que uma só lente biconvexa. Ora nós sabemos que todo e qualquer objecto observado por uma lente convergente, a maior distancia do que a distancia focal principal, fórma uma imagem real e invertida. O mesmo succede com a luz que atravessa os meios do olho. A imagem vae formar-se sobre a retina e é mais pequena e invertida. O objecto *op* fórma a sua imagem em *tu* que será sempre mais pequena do que o objecto. A impressão recebida pela retina é transmittida ao cerebro, por intermedio do nervo optico, dando-lhe a sensação do objecto.

Para que a visão seja nitida, é necessario que a retina esteja collocada exactamente á distancia focal da imagem. Ora, esta varia, como é sabido, com o affastamento a que se acha o objecto; mas ainda assim

o olho tem a possibilidade de nos fazer vêr distinctamente os objectos collocados a distancias muito variaveis. E' isso resultado da *accommodação do olho ás distancias*,

*dependente de mudanças de curvatura* das duas faces do cristallino, das quaes principalmente a face anterior se arqueia mais quando o objecto está collocado a pequena distancia, e pelo contrario se achata se o objecto está affastado.

As differenças de curvatura do cristallino são produzidas pela contracção e relaxamento das fibras musculares que o rodeiam. Podem reconhecer-se directamente, collocando uma vela accesa diante dos olhos d'uma pessoa que tenha as pupillas dilatadas e examinando attentamente as duas imagens da chamma, uma direita e outra invertida, produzidas pela reflexão da luz em ambas as faces do cristallino. Se essa pessoa olhar primeiro para um objecto affastado e depois para outro que esteja situado a 20 ou 30 centimetros, as duas imagens diminuem immediatamente de comprimento, a primeira um pouco mais do que a segunda, o que prova que o cristallino se tornou mais convexo, principalmente pela sua face anterior.

418. DISTANCIA DA VISÃO DISTINCTA. — Quando se trata d'objectos de grandes dimensões e sufficientemente illuminados, podemos vel-os a uma distancia por assim dizer infinita. Mas, referindo-nos a objectos de pequenas dimensões, como são por exemplo as letras d'imprensa, ha uma distancia determinada, a que temos de os collocar para que tenhamos uma percepção nitida. Essa distancia é a da *visão distincta*; para áquem ou para além que se colloque o objecto, a percepção é confusa. A distancia da visão distincta oscilla entre 25 a 30 centimetros.

419. DEFEITOS DA VISTA. — Ha individuos que para verem bem os objectos pequenos precisam collocar-os a menos distancia do que a da visão distincta ordinaria; outros ha que só os distinguem bem quando estejam mais affastados do que essa distancia. São dois defeitos da vista, ao primeiro dos quaes se chama *myopia* e ao segundo *presbytia*.

A *myopia* é assim chamada porque os individuos que

soffrem d'esta doença são obrigados a piscar os olhos, quando examinam objectos distantes, não os distinguindo bem senão quando collocados a menos de 20 centímetros, e algumas vezes a menos de 2 e 3 centímetros. Depende a myopia d'um excesso de curvatura da cornea ou do crystallino, d'onde resulta uma grande convergencia dos feixes luminosos que atravessam os meios do olho. Traz isto como consequencia formarem-se as imagens dos objectos mais affastados do que a distancia de visão distincta, não na retina, mas para áquem d'esta membrana. O myope vê-se pois na necessidade de os collocar a menor distancia ou aproximar-se d'elles para que a imagem se forme na retina. Corrige-se a myopia com o uso de *lentes concavas*, que, dispersando a luz, diminuem a convergencia dos raios luminosos.

A *presbytia* tem este nome porque se manifesta ordinariamente nos velhos, e resulta d'um enfraquecimento do musculo da accommodação, o que traz como consequencia não poder tomar o crystallino a convexidade necessaria para que os objectos proximos se venham desenhar na retina, tendendo a imagem a formar-se atraz d'esta membrana, e tanto mais longe quando mais proximo do olho está o objecto. Remedeia-se este inconveniente com o uso de *lentes convergentes* que augmentam o poder refringente do órgão da vista.

420. VISÃO BINOCULAR. — Quando fixamos simultaneamente ambos os olhos n'um mesmo ponto luminoso, só vemos um só ponto, apesar da formação de duas imagens. Para que se dê esta unidade d'impressão, é necessario que ambos os olhos convirjam exactamente para o ponto luminoso, para que as imagens occupem nas duas retinas posições rigorosamente correspondentes. No caso contrario, a sensação é *dupla*, como é facil reconhecer exercendo sobre um dos olhos uma ligeira pressão, de modo a mudar momentaneamente a direcção do seu eixo.

A impressão produzida na retina não é instantanea; persiste durante um certo tempo depois de ter cessado o contacto da luz. E' por esse motivo que os raios d'uma

roda que gire com velocidade se confundem e dão a sensação d'um disco.

Emfim, nós não vemos os objectos invertidos, isto é, como as suas imagens se vêm pintar na retina. Depende isso de que não fitamos a imagem retiniana, mas sim o objecto na direcção dos raios luminosos que o objecto nos envia.

## CAPITULO VI

### Instrumentos opticos

Camara escura composta. Camara clara. Lente de Fresnel. Pharoes. Microscopio composto. Oculo de longa vista. Binoculo de theatro. Oculo astronomico. Telescopios.

421. INSTRUMENTOS OPTICOS. — Estudamos os espelhos e as lentes e os phenomenos que n'uns e outras se produzem. Estas, por assim dizer, machinas simples da optica reunem-se e os aggregados a que dão origem chamam-se *instrumentos d'optica*. Se fosse possivel estabelecer uma classificação rasoavel entre elles, dividil-os-iamos em tres classes. A primeira seria constituida pelos *instrumentos de projecção*, que têm por fim dirigir para um alvo imagens reduzidas ou amplificadas, com o fim de as tornar bem visiveis, ou seja para as desenhar, ou para as tornar apreciaveis por muitos observadores. A segunda seria constituida pelos instrumentos destinados a tornar visiveis os objectos muito pequenos e comprehenderia unicamente os *microscopios*. Finalmente, a terceira seria formada pelos que se destinam a observar objectos distantes e abrangeiria os *oculos e telescopios*.

422. INSTRUMENTOS DE PROJECCÃO. — Os mais importantes instrumentos opticos de projecção são a *camara escura* e a *camara clara*. Tambem n'este grupo podem ser incluidos os *pharoes*.

1.º *Camara escura composta.* Já dissemos atraz em que consiste este instrumento d'optica, e os elementos fundamentaes que eram necessarios para a sua constituição. Costumam juntar-se-lhe, todavia, para maior nitidez das imagens produzidas, diferentes accessorios que tornam necessaria uma nova descripção. Como dissemos, o apparelho tem por fim produzir n'um anteparo qualquer uma imagem reduzida dos objectos exteriores.

A mais frequentemente empregada compõe-se d'uma grande caixa de madeira, cuja parte superior tem uma abertura em que está encaixada horisontalmente uma lente biconvexa. Por cima, está collocado um espelho plano, cuja inclinação se póde fazer variar á vontade. O espelho reflecte os raios luminosos emanados dos objectos exteriores, e fal-os atravessar a lente, depois de reflectidos, vindo a pintar-se com fidelidade n'um quadro, onde um desenhador póde seguir os contornos da imagem.

Substitue-se muita vez o espelho e a lente por um prisma triangular, uma das faces do qual, voltada para os objectos que se desejam reproduzir, é levemente convexa; a parte opposta plana e a terceira concava. Os raios emitidos por um objecto qualquer, depois de terem atravessado o prisma e soffrido na face opposta á d'entrada a reflexão total, saem pela face inferior com a convergencia necessaria para formarem uma imagem real sobre um plano. O prisma é montado n'uma caixa metallica, e sustentado por um tripé, ao qual se liga a prancha destinada a servir de assento á folha de papel sobre a qual se desenha.

2.º *Camara clara.* A camara clara, inventada por Wolleston, tem, com a camara escura, por fim obter uma imagem nitida dos objectos visinhos. Compõe-se d'um prisma quadrangular de vidro, montado n'um suporte vertical e cujos angulos estão dispostos de modo a produzirem uma dupla reflexão total que projecta a imagem sobre um plano horisontal. Basta seguir com um lapis os contornos d'esta imagem, para se obter o desenho exacto.

3.º *Pharoes.* Chamam-se *pharoes* luzes que se accendem nas costas maritimas para servirem de guia aos navegantes. Para projectar essa luz a grande distancia, em-

pregavam-se antigamente reflectores parabolicos que hoje são substituidos pelas lentes de Fresnel que em breve descreveremos.

A luz é produzida por uma lampada de 4 ou 5 torci-

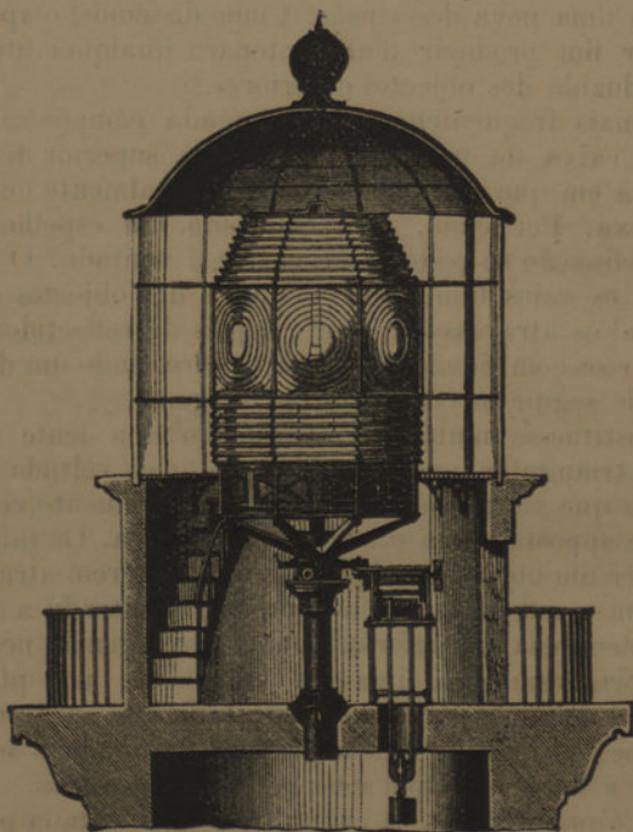


Fig. 149

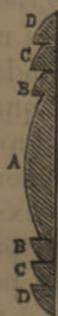
das concentricas ou então pela electricidade. Está collocada no fóco principal d'uma lente de Fresnel, de maneira que os raios emergentes saem parallellos ao seu eixo principal. Para que todos os pontos do horisonte sejam successivamente illuminados por um mesmo pharol, a lente move-se em torno da lampada por meio d'um movimento de relojoaria, de modo que para todos os logares ha, successivamente e com intervallos eguaes, apparição e desap-

parição da claridade, o que permite differençar a luz do pharol de qualquer outra accidental.

Em alguns pharoes, em vez d'uma lente, ha um systema de lentes collocadas em torno do fóco de luz, o que permite encurtar consideravelmente o tempo dos eclipses (fig. 149.)

Em rigor poderia servir para um pharol qualquer lente convergente, mas para obviar aos inconvenientes das lentes de grande abertura, empregam-se vidros especiaes, a que se dá, como dissemos, o nome de lentes de Fresnel.

Estas lentes, cuja secção é representada na fig. 150, são formadas no centro por uma lente planoconvexa A, cercada d'uma serie d'anneis concentricos B C e D, cujas superficies convexas estão calculadas de modo que o fóco de cada annel coincide com o da lente central. D'aqui resulta que, collocada a luz no fóco principal d'este systema, os raios emittidos, depois de terem atravessado a lente, formam um largo feixe paralelo que póde illuminar a grandes distancias.



Nem todos os pharoes adoptam a disposição que temos descripto. Os que estão situados nas fôzes dos rios têm geralmente luz fixa. N'este caso, a luz em vez de ter em roda diferentes lentes, tem uma só collocada no meio d'um cylindro lenticular d'onde sae um feixe de luz que illumina ao mesmo tempo todos os pontos do horisonte.

423. MICROSCOPIOS. — São assim chamados, como dissemos, os instrumentos destinados a tornar bem visiveis os objectos muito pequenos. Segundo são formados por uma ou mais lentes, assim se denominam *simples* ou *compostos*.

1.º *Microscopios simples*. O *microscopio simples* ou *lupa* é uma lente biconvexa de fóco curto, com a qual se observa o objecto que se pretende estudar, collocando-o entre a lente e o fóco principal. Conservando-se o objecto dentro d'estes limites, será tanto maior a imagem quanto mais proximo estiver da lente e mais curto fôr o fóco d'esta. A imagem produzida será sempre virtual e direita.

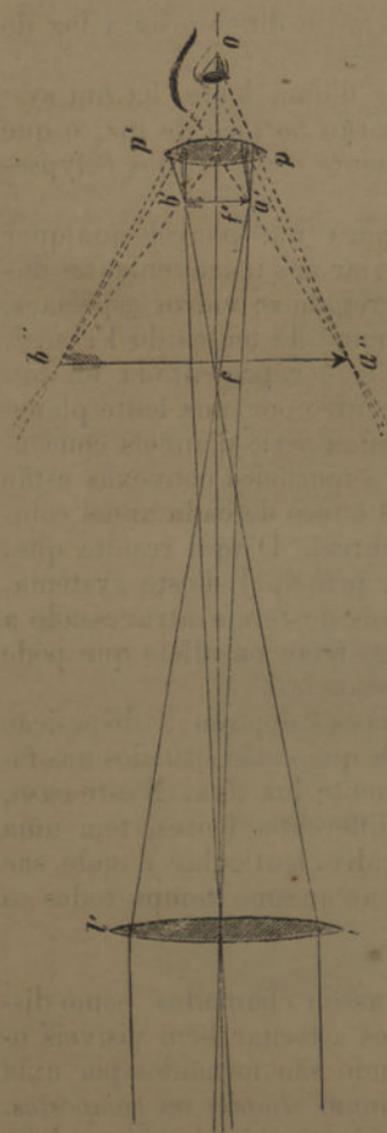


Fig. 151

2.<sup>o</sup> *Microscopio composto.*  
 O microscopio composto é destinado a tornar visíveis objectos que não se poderiam apreciar nitidamente com uma simples *lupa*. Compõe-se, como se vê da inspecção da figura, de duas lentes convergentes, das quaes um *ll'* tem um fóco muito curto e está voltada para o objecto a examinar, motivo pelo qual recebe o nome de *objectiva*. A' outra, representada na figura por *pp'*, é que se adapta o olho, razão pela qual recebeu o nome de *ocular*. Para nos servirmos d'este instrumento, colloca-se o objecto a examinar *além do fóco* principal da *objectiva*, mas a muito pequena distancia d'elle; d'esta fórma se obtém em *b'a'* uma imagem real invertida, que é depois observada com a *ocular* que representa o papel de uma *lupa*. Para isso é necessario que a imagem *b'a'* se venha formar áquem do fóco principal da *ocular*, para se produzir uma nova imagem virtual *b''a''*. O augmento do microscopio composto é egual ao producto da ampliação da *objectiva* e da *ocular*.

424. **OCULOS E TELESCOPIOS.**— Tanto uns como outros d'estes instrumentos são destinados para *vêr ao longe*; differem em que os oculos são apenas constituídos por lentes, ao passo que os telescopios são formados por estas e por

espelhos concavos. Demais, os ultimos são unicamente applicados a estudar os phenomenos astronomicos.

425. OCULO ASTRONOMICO.— Compõe-se este oculo, destinado a observar os phenomenos celestes, de duas lentes convergentes: a *objectiva* e a *ocular*. A *objectiva* tem uma distancia focal bastante grande e fórma no seu fóco principal uma imagem  $B'A'$  invertida e muito pequena do astro  $AB$  sujeito á observação. Esta imagem

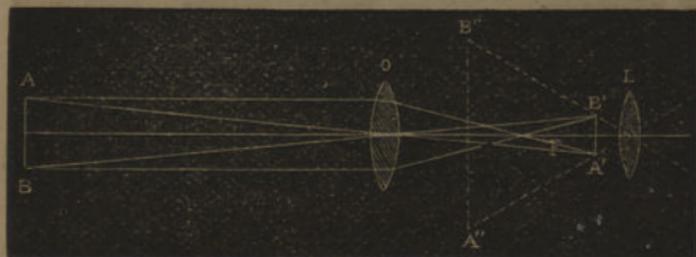


Fig. 152

deve cair para áquem do fóco da ocular  $L$ , cuja distancia focal é mais pequena que a da *objectiva*. Este ocular faz, como no microscopio composto, o effeito d'uma lupa e por isso se obtem em  $B''A''$  uma imagem virtual e ampliada da imagem real obtida em  $B'A'$ . Como se vê, a disposição do oculo astronomico é pouco mais ou menos a do microscopio, e apenas differe em que, podendo variar a distancia do objecto ao instrumento, é necessario que a ocular se possa aproximar ou affastar da *objectiva*, para que se possa accommodar ás diferentes vistas.

Um bom oculo dá uma ampliação de 1:000 a 1:200 vezes; o astro é visto invertido, mas isso não constitue inconveniente d'importancia.

426. OCULO DE LONGA VISTA.— Este instrumento tem essencialmente a mesma disposição que o microscopio composto, e differe apenas em ter no interior, entre a *objectiva* e a *ocular*, duas lentes convergentes com o fim de tornarem directa a imagem.

Este oculo tem o inconveniente de absorver uma grande quantidade de luz, em virtude de ter esta a atravessar quatro lentes.

427. OCULO DE GALILEU. BINOCULO DE THEATRO.— Compõe-se este instrumento, extremamente usado, d'uma

objectiva convergente  $M$  e d'uma ocular divergente  $L$ , collocada entre a objectiva e o seu fóco principal. Se a ocular não perturbasse a marcha dos raios luminosos que atravessaram a objectiva, formar-se-hia uma imagem real do objecto  $AB$  que se observa em  $B'A'$ , a qual scria inver-

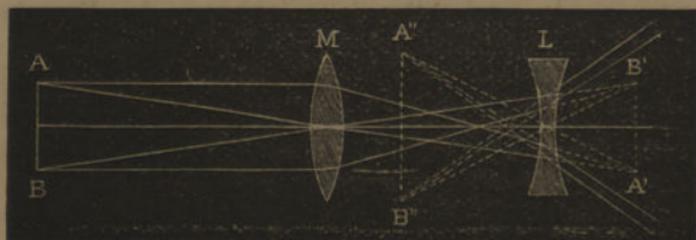


Fig. 153

tida. Mas, atravessando a ocular, os raios luminosos afiam-se e tomam uma direcção tal que, prolongados em sentido contrario ao da sua direcção, vão formar em  $A'B'$  uma imagem virtual e direita. Para que a imagem seja vista nitidamente, é necessario que se forme á distancia da visão distincta e por isso o objecto parece mais aproximado e levemente ampliado.

O *binoculo de theatro* é um ocular de Galileu duplo, para que as imagens se venham formar em ambos os olhos.

428. TELESCOPIOS.— Os telescópios são instrumentos destinados, como dissemos, a observações astronomicas e em que se aproveita, ao mesmo tempo, a refração e a reflexão.

O mais empregado é o telescópio de Newton (fig. 154), e por isso será o unico que descreveremos.

E' constituído por um longo tubo de cobre, no fundo do qual está um grande espelho concavo  $ss'$  de metal. Em frente d'este reflector, e para áquem do seu fóco principal, está um pequeno espelho plano  $p$ , inclinado  $45^\circ$  sobre o seu eixo, que envia os raios luminosos para uma lente ocular  $l$  encaixada horizontalmente n'um pequeno tubo lateral. A imagem real  $a'b'$  que tenderia a formar-se no fóco do espelho concavo, é reflectida pelo espelho plano em  $a''b''$  entre a ocular  $l$  e o seu fóco principal. Esta lente funcionará pois como uma verdadeira lupa para dar em  $a'''b'''$  uma imagem invertida e muito ampliada do astro que se observa.

Foucault modificou muito este telescópio, substituindo o espe-

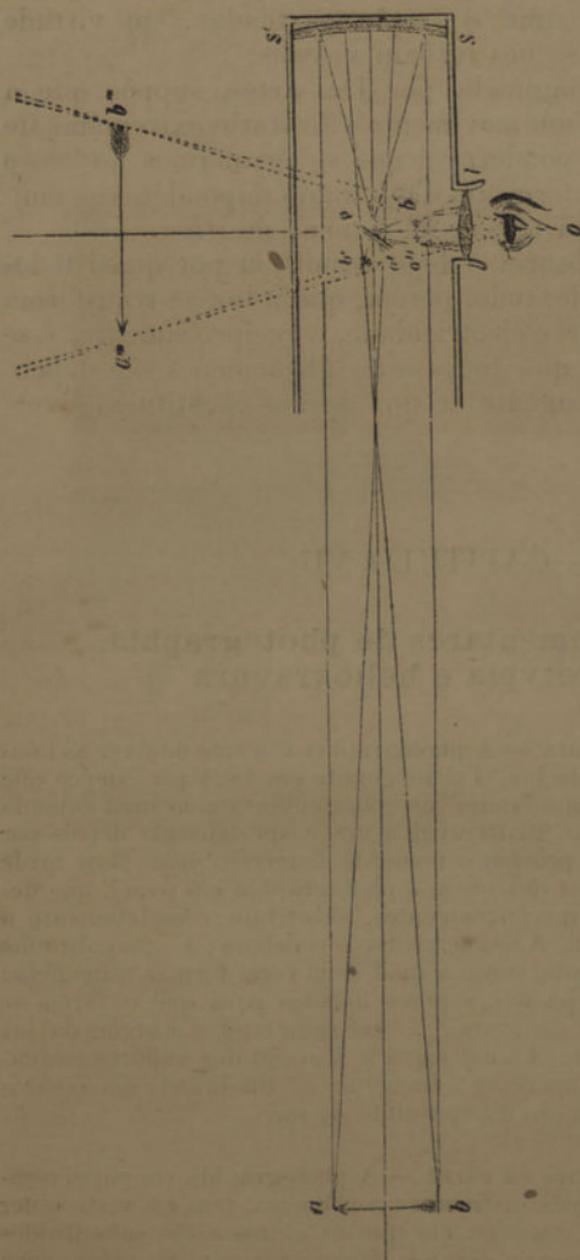


Fig. 154

lho metálico por um de vidro prateado por um processo especial e dando-lhe a fôrma parabólica. Substituiu a ocular simples por um microscópio composto, que permite obter uma ampliação mais considerável.

429. NATUREZA DA LUZ. — Duas hypotheses principaes correm na physica sobre a natureza do agente que em nós determina o phenomeno da visão.

Estas theorias, cuja analogia com as do calor são manifestas, chamam-se respectivamente da *emissão* e das *ondulações*.

A primeira, devida a Newton, admite que os corpos luminosos projectam continuamente no espaço uma substancia imponderavel que atravessa os corpos transparentes e é detida pelos opa-

cos. Esta substancia, chegando ao fundo do nosso globo ocular, determina uma sensação particular, em virtude da qual os corpos se nos tornam visiveis.

A segunda, imaginada por Descartes, suppõe que a luz é o resultado d'um movimento vibratorio extremamente rapido da matéria ponderavel que se communica ao nosso orgão visual por intermedio d'um fluido imponderavel eminentemente subtil, a que se dá o nome de *ether*.

Esta ultima theoria é hoje admittida por quasi todos os physicos. Considerando, porém, que a luz se transforma muita vez em calor e electricidade, e reciprocamente, é-se levado a admittir que todos estes phenomenos são dependentes d'um unico agente de que apenas constituem diversas modalidades.

## CAPITULO VII

### Noções elementares de photographia, phototypia e heliogravura

430. PHOTOGRAPHIA. — A photographia é a arte de fixar as imagens por intermedio da luz. Foi inventada em 1824 por Niepce que conseguiu formar n'uma lamina de cobre coberta com uma camada de prata uma imagem inalteravel á luz, e aperfeiçoada depois por Daguerre, d'onde lhe provem o nome de *daguerreotypia*. Mais tarde o physico inglez Talbot descobriu a photographia em papel, que depois de successivos aperfeiçoamentos, substituiu completamente a photographia em metal. A daguerreotypia consistia : 1.º em polir uma chapa de cobre prateado, sobre a qual se deveria formar a imagem ; 2.º em expor esta chapa aos vapores iodados para que se formasse uma camada d'iodeto de prata ; 3.º em submettel-a á acção da luz n'uma camara escura ; 4.º em expol-a á acção dos vapores mercuriaes para se fazer apparecer a imagem ; 5.º finalmente em lavar a placa com uma dissolução d'hyposulfito de soda.

431. PHOTOGRAPHIA EM PAPEL. — A photographia em papel comprehende duas operações distinctas : a primeira, tem em vista obter uma prova chamada *negativa*, em que os claros estão substituidos por sombras e vice-versa ; a segunda, fornar com esta primeira prova uma segunda imagem chamada *positiva*.

*Prova negativa.* Para se obter uma prova negativa, toma-se

uma placa de vidro bem polida, sobre a qual se estende uma camada pouco espessa de collodio ou d'albumina, tendo em solução iodeto e brometo d'ammonio ou de potassio e iodeto de cadmio; colloca-se verticalmente para perder a agua em excesso, e mergulha se depois n'um banho de nitrato de prata, para se obter, por meio de dobrada decomposição, uma camada de brometo e iodeto de prata. Depois de preparada assim a chapa, é levada para uma camara escura de fórma especial, a que se dá o nome de *daguerreotypo*.

Compõe-se este instrumento d'uma caixa rectangular de madeira A, que é fixa, e d'uma gaveta movel B. No centro da face anterior da caixa está assente um largo tubo de latão G, terminado por uma objectiva convergente e achromatiza- que se affasta ou appro-

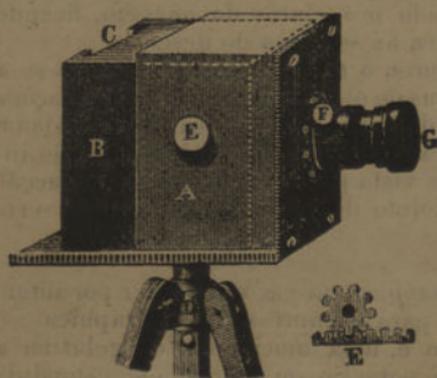


fig. 155

xima por intermedio do botão F. Esta objectiva é composta de duas lentes convergentes cuja distancia se pôde fazer variar á vontade por meio d'uma haste dentada que está em relação com o botão F, disposição esta que está indicada ao lado da figura. A maior ou menor proximidade das duas lentes permite, ou augmentar o campo do instrumento, ou concentrar mais ou menos a luz. Na face posterior da gaveta existe um caixilho com um vidro fosco C que se pôde tirar á vontade.

Colloca-se na frente da *machina* o objecto cuja imagem se deseja obter e que se deve collocar de modo a ser bem illuminado. Faz-se depois coincidir o foco da objectiva com o vidro fosco, de modo que a imagem alli se forme com toda a nitidez, o que se consegue por intermedio do botão F e da gaveta que tambem é movida por um botão E. Feito isto, retira-se o vidro fosco e colloca-se em seu lugar um caixilho fechado em que está encerrada a placa de vidro iodetada. Levanta-se então a tampa do caixilho e a imagem que ainda ha pouco se formava no vidro fosco vem agora desenhar se na placa iodetada, decompondo o iodeto de prata nos pontos a que correspondem os claros. Não é porém visivel essa alteração e para se tornar evidente é necessario mergulhar a chapa n'um banho constituido por uma solução d'ácido pyrogallico que forma com o iodeto de prata decomposto um precipitado negro: a esta solução chama-se *revelador*. Finalmente a chapa é introduzida n'outro banho chamado *fixador*, composto d'uma solução d'hyposulfito de soda, o qual decompõe o iodeto de prata que não foi alterado.

A escolha da albumina ou do collodio para formar a chapa impressionavel é subordinada ao tempo por que deve actuar a luz. Com o collodio, a impressão luminosa é muito rapida, motivo porque

é empregado de preferencia para tirar retratos. A albumina exige pelo contrario maior exposição á luz, e essa é a razão porque só se emprega para tirar vistas, paysagens, etc. Os vidros preparados com albumina teem, porém, a vantagem de se poderem conservar por muito tempo antes de serem submettidos á acção da luz, ao passo que os preparados com o collodio teem de servir immediatamente.

*Prova positiva.* São variados os processos empregados para se obterem provas positivas. O mais geralmente adoptado é o seguinte: Toma-se uma folha de papel albuminado, previamente impregnado d'uma solução de chloreto de prata; colloca-se n'uma prensa em contacto com a prova negativa, expondo-se á acção do sol ou da luz diffusa; a prova negativa deixa passar a luz em todos os claros do desenho e intercepta-a nas partes escuras; e d'aquí resulta que o chloreto de prata é impressionado nos claros da imagem, ficando branco nos pontos correspondentes ás sombras do desenho.

Quando a exposição á luz durou o tempo necessario, retira-se a prova, em que os claros e sombras do objecto estão nas suas relações naturaes, e submete-se á acção d'um banho d'hyposulfito de soda ou de sal commum que dissolve o excesso de chloreto de prata não influenciado. Esta operação tem em vista preservar a imagem da acção ulterior da luz, visto que o chloreto de prata não atacado o seria tambem em seguida.

432. *PHOTOTYPIA.* — A *phototypia* tem em vista obter por intermedio da luz *clichés* que sirvam para a impressão lithographica.

A gelatina bichromada, isto é, uma mucilagem de gelatina a que se addicione bichromato de potassio ou d'ammonio, estendida em camada delgada sobre uma superficie qualquer, adquire depois de secca e exposta á luz uma dureza maior, ao mesmo tempo que se torna insolúvel na agua. E' sobre esta propriedade da gelatina bichromada que assenta a phototypia.

N'uma pedra lithographica bem polida estende-se uma camada pouco espessa de gelatina bi-chromada a 3 ou 5 por 100. Logo que a camada está completamente secca, esfrega-se de vagar com um panno, para a polir, aquecendo-a depois ligeiramente para se lhe tirar toda a humidade.

Preparada assim a pedra, é exposta á acção da luz coada atravez d'uma prova negativa. Depois d'uma insolação prolongada por tempo conveniente, leva-se, ao abrigo da luz, para o laboratorio onde se cobre d'uma camada de tinta lithographica. Mergulha-se depois n'uma bacia com agua e succede que nos pontos em que a camada bi-chromada não se tornou impermeavel pela acção da luz, a tinta lithographica não adhere, sendo tirada pelo rolo. Assim se obtém um verdadeiro desenho lithographico susceptivel de fornecer uma grande tiragem.

433. *HELIOGRAVURA.* — A *heliogravura* ou *photo-gravura* tem em vista obter, por meio da luz, placas gravadas que possam servir para se imprimirem como qualquer outra gravura.

Estende-se sobre um vidro, previamente limpo com um panno molhado em cera solvida na benzina, uma camada pouco espessa de collodio, depois do que se cobre d'outra camada bastante espessa de gelatina bichromada, collocando-se ao depois dentro d'uma caixa que contenha chloro de calcio, para se seccar o mais completamente possivel. Depois d'isto expõe-se á luz coada atravez d'um cliché photographico. Em seguida a uma insolação considerada como bastante, destaca-se do vidro a placa de gelatina e collodio, e por meio d'uma colla formada de cautechouc e benzina applica-se sobre outro vidro para a submeter n'uma tina de zinco á acção d'uma corrente d'agua a 60°. Ao cabo d'algumas horas, a gelatina que não soffreu a acção da luz tem-se dissolvido, ao passo que a que foi atacada se conserva insolavel, formando uma imagem em relevo sensivel ao tacto.

Destaca-se a placa de gelatina do seu supporte provisorio e colloca-se entre uma placa d'aço perfeitamente plana e uma folha de chumbo de cinco a seis millimetros d'espessura. Submette-se depois á acção d'uma forte prensa hydraulica e obtem-se assim no chumbo uma imagem invertida do relevo da gelatina, que permite obter pela galvanoplastia gravuras em cobre, com as quaes se póde proceder á tiragem.

Outro processo de photo-gravura, mais geralmente empregado, porque permite obter directamente o relevo dos desenhos, consiste em fixar a imagem pela luz, por meio d'uma prova negativa, n'uma lamina de zinco coberta de betume da Judeia, e submetter-a á acção do acido azotico, que ataca as partes não impressionadas pela luz, e assim forma em relevo os traços de desenho.

## LIVRO NONO

### ELECTRICIDADE ESTÁTICA

---

#### CAPITULO I

#### Attracções e repulsões electricas

Desenvolvimento da electricidade pela fricção. Corpos bons e maus conductores. Electricidade positiva e negativa. Leis das attracções e repulsões electricas. Demonstração das leis das attracções e repulsões electricas pela balança de torsão. Distribuição da electricidade á superficie dos conductores. Poder das pontas.

434. ELECTRICIDADE. — Se tomarmos um bocado de lacre, de resina ou de vidro, e o esfregarmos com lã repetidas vezes, observaremos que, approximando-o de corpos muito leves, como bocados de papel, borlas de pennas, etc., estes objectos são attrahidos e, logo que chegam ao contacto, repellidos.

Estes phenomenos foram pela primeira vez observados no ambar amarello, de cujo nome grego se tirou a palavra *electricidade*, que se emprega indistinctamente para designar estes phenomenos, o agente que os determina e ainda a parte da physica que os estuda.

Os corpos que apresentam os phenomenos que indicamos, dizem-se *electrisados*. Os não electrisados, dizem-se no estado *neutro* ou *natural*.

435. ELECTROSCOPIOS. PENDULO E AGULHA ELECTRICAS. Já dissemos que se reconhecia a presença da electricidade nos corpos pela attracção e repulsão d'objectos leves. Para se reconhecer mais facilmente este phenomeno, empregam-se pequenos instrumentos chamados *electroscopios*, dos dos quaes o mais simples é o *pendulo electrico*.

Este instrumento (fig. 156) compõe-se d'uma haste de

vidro a que está preso um fio de seda, sustentando uma

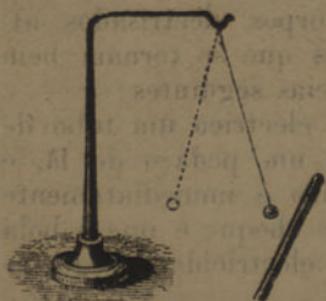


Fig. 156

pequena esphera de medulla de sabugueiro. Quando d'elle se aproxima um corpo electrizado, immediatamente esta é desviada da sua posição d'equilibrio.

A *agulha electrica* é formada d'um arame de cobre terminado em duas espheras ôcas do mesmo metal. E' tambem um electroscopio muito sensivel.

436. CORPOS BONS E MAUS CONDUCTORES. — O phenomeno da electrisação por meio do attrito é constante em todos os corpos, mas apenas em alguns se torna evidente. Isto depende de que taes corpos propagam essa propriedade ao organismo humano e esta a communica á terra, porque se os ligarmos a um pedaço de vidro, o phenomeno apparece em toda a sua nitidez.

Com relação á propagação da electricidade, os corpos dividem-se, da mesma que em relação ao calor, em corpos *bons conductores*, e *maus conductores*. Como exemplo dos primeiros, temos os metaes, o carvão calcinado, a agua e os acidos; o vidro, a resina, a seda, etc., são substancias *más conductoras*.

437. RESERVATORIO COMMUN: ISOLADORES. — Como a terra é constituida por substancias conductoras da electricidade, quando um corpo conductor é posto em communicação com ella, espalha-se o agente no sólo, a que por esse motivo se dá o nome de *reservatorio commum*. Para que um corpo conductor conserve a sua electricidade é necessario que esteja separado do sólo por um corpo máu conductor, como o vidro, a resina, etc., que o *isole* da massa terrestre. E' este o motivo porque se dá tambem aos corpos máus conductores o nome de *isoladores*.

Os isoladores mais empregados são o vidro, a seda e as resinas. O ar secco tambem é isolador, mas quando está humido, perde immediatamente essa propriedade.

438. ATTRAÇÕES E REPULSÕES ELECTRICAS: ELECTRICIDADE POSITIVA E NEGATIVA. — Os corpos electrizados attraem-se e repellem-se em condições que se tornam bem sensiveis por meio das tres experiencias seguintes :

1.º Approxima-se d'um pendulo electrico um tubo de vidro que se tenha electrizado com um pedaço de lã, e observa-se que a bola de sabugueiro é immediatamente attraida. Logo, porém, que se dá o choque e que a bola rouba ao vidro uma parte da sua electricidade, segue-se uma viva repulsão.

2.º Apresenta-se a um segundo pendulo uma haste de resina electrizada da mesma sorte. Ao principio ha attracção, a que se segue repulsão, logo em seguida ao contacto.

3.º Se agora approximarmos do primeiro pendulo a haste de resina, aquelle, apesar de ter sido repellido pelo vidro, é attraido. Se ao segundo se apresentar a haste de vidro, elle, apesar de ter sido repellido pela resina, é attraído novamente.

D'estas tres experiencias tiram-se as seguintes conclusões:

1.º *A electricidade desenvolvida pelo attrito da lã sobre o vidro não é igual á que o mesmo attrito produz na resina.* Dá-se á primeira o nome de electricidade *vitrea* ou *positiva*, indicando-se pelo signal  $+$ ; a segunda recebe o nome de *resinosa* ou *negativa* e é representada pelo signal  $-$ .

2.º *Dois corpos carregados da mesma electricidade repellem-se.*

3.º *Dois corpos carregados de electricidade contraria attraem-se.*

439. THEORIA DE SYMMER. — Teem-se apresentado diferentes theorias para a explicação d'estes factos. Mais tarde, depois de conhecerem bem os phenomenos electricos, as saberão. Torna-se todavia necessario, por causa da terminologia, dar ideia da mais insustentavel d'essas theorias — a de Symmer. Segundo este, os phenomenos electricos dependem de duas especies d'electricidade: a *positiva* e a *negativa*. Todo o corpo as encerra ambas combinadas no *estado neutro*, mas o attrito separa-as, uma para um lado e outra para o outro.

Esta theoria recebeu, por isso, o nome de *hypothese dos dois fluidos*.

440. ELECTRICIDADE ESTÁTICA E DYNAMICA. — Os phenomenos electricos, que nos vão occupar a attenção durante esta parte do nosso curso, dependem da maneira como a electricidade se apresenta nos corpos. Umavez está em repouso, ou accumulada na sua superficie, e constitue então a chamada *electricidade estatica*; outras vezes apresenta-se nos em movimento, atravessando os corpos sob a fórma de correntes, e recebe então o nome de *dynamica*. A primeira é determinada principalmente pelo attrito, a segunda pelas acções chemicas.

441. ORIGENS DA ELECTRICIDADE ESTÁTICA. — As origens da electricidade podem ser divididas em mechanicas, physicas e chemicas.

1.º *Origens mechanicas*. O attrito é seguramente a fonte mais copiosa d'electricidade estatica. Sempre que esfregamos dois corpos um contra o outro, um adquire electricidade positiva e outro negativa.

E' este um facto que se póde demonstrar com dois discos de igual superficie, um de vidro e outro de metal revestido de lã, e ligados ambos a cabos isoladores. Esfregando os corpos um contra o outro, e approximando-os conjunctamente do pendulo electrico, este não denuncia a existencia da electricidade. Approximando-os, porém, separadamente d'um pendulo d'electricidade conhecida, um dos corpos attrae-o e outro repelle-o.

A especie d'electricidade de que um corpo se carrega depende do corpo com que se fricciona, assim como da temperatura e estado da superficie. Assim o calor determina nos corpos a tendencia para adquirirem a electricidade negativa. Reconhece-se a influencia da superficie, sabendo que o vidro polido, depois d'esfregado com lã, adquire electricidade positiva, ao passo que despolido, torna-se negativo.

Tambem são origens mechanicas d'electricidade estatica a *pressão* e a *separação das faces cristallinas* nos solidos, ao que se dá o nome de *lascado*.

2.<sup>o</sup> *Origens physicas.* De todas estas origens, certamente a mais importante é o calor. Desenvolve-se a electricidade em alguns solidos pelo aquecimento; a tormalina e o topasio são os que mais se prestam a esta experiencia. Um cristal, aquecido em todo o comprimento, apresenta nas suas extremidades oppostas electricidades differentes.

3.<sup>o</sup> *Origens chemicas.* Em todo o phenomeno chimico se produz electricidade estatica, mas esta fonte é sobretudo muito copiosa no que diz respeito á electricidade dynamica.

442. LEIS DAS ATTRACÇÕES E REPULSÕES ELECTRICAS. — A experiencia demonstra que as attracções e repulsões electricas estão sujeitas a duas leis que se approximam muito das da attracção universal. Podem enunciar-se d'este modo :

1.<sup>o</sup> *As attracções e repulsões electricas variam na razão inversa do quadrado das distancias.*

2.<sup>o</sup> *As attracções e repulsões electricas são proporcionaes ás quantidades d'electricidade de que os corpos estão animados.*

Estas duas leis foram descobertas por Coulomb, que imaginou para a sua demonstração um apparelho representado na figura 157, a que se dá o nome de *balança electrica*.

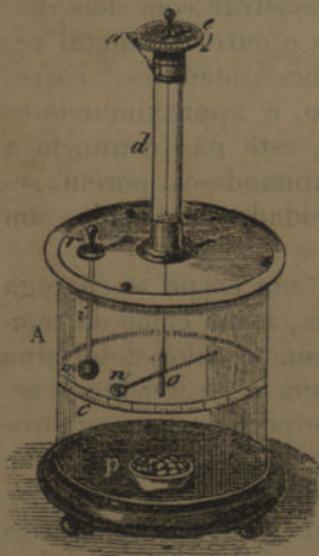


Fig. 157

Compõe-se esta d'uma caixa de vidro A, a que está annexo superiormente um tubo vertical *d*. No eixo d'este tubo está suspenso um fio de prata extremamente delgado, fixo na parte superior a uma haste de cobre que permite modificar o seu comprimento, e terminado na parte inferior por uma agulha horizontal de gomma laca *o* que tem n'uma das extremidades um disco *n* de ouro ou papel dourado. A haste de cobre está ligada em cima a um tambor metallico *ae*, podendo girar na parte superior do tubo vertical, de maneira a torcer o fio, n'um ou outro sentido. Este tambor é graduado na circunferencia, o que permite medir o gráu de torsão do fio.

A caixa cylindrica tem em torno e ao nivel do disco que a termina, uma tira de papel *c*, em que estão marcadas

as divisões do circulo. De mais, o prato superior é atravessado por uma abertura circular  $r$  que serve para introduzir na caixa uma esphera de metal  $m$  sustentada por um tubo  $z$ . A bola de cobre  $m$  deve ficar em frente do centro do disco  $n$ , e estes dois corpos a igual distancia do fio metallico que sustenta a agulha.

**DEMONSTRAÇÃO DA 1.<sup>a</sup> LEI.**— Para demonstrar qualquer d'estas leis é necessario começar por tornar bem secco o ar contido no apparelho, o que se consegue, deixando ficar dentro d'elle durante dias uma porção de chloreto de cal, que é muito avido d'agua. Feito isto, faz-se girar o tambor  $ae$ , de modo a trazer o disco d'ouropel em contacto com a bola  $m$ , cujo centro corresponde ao  $0^\circ$  da escala marcada na tira de papel  $c$ . Retira-se então a bola  $m$ , e depois de a electrizarmos, collocamol-a de novo no apparelho. O disco de ouropel, electrizando-se logo depois do contacto, é repellido e pára depois d'algumas oscillações, por exemplo, em  $40$  gráus. Quer isto dizer que a força de repulsão electrica á distancia de  $40$  gráus é igual á força de torsão do fio que deve ser igual tambem a  $40^\circ$ .

Procuremos agora qual será a força repulsiva para uma distancia metade menor. Para isso faremos girar o tambor  $ae$ , de maneira a que o disco d'ouropel fique na divisão  $20^\circ$  da tira de papel. Acha-se que esta se compõe da torsão correspondente a  $20^\circ$ , e mais do numero que foi necessario fazer girar o tambor movel  $ae$ , a qual se vem a achar ter sido de  $140$  grans. O que dá uma distancia de  $160^\circ$  para medida da repulsão. A distancia precedente, dupla da actual, apenas correspondiam  $40^\circ$ , isto é, a intensidade electrica era quatro vezes menor. Ver-se-ia da mesma maneira, que para uma distancia tripla, a força da repulsão seria igualmente nove vezes menor. D'aqui se conclue que as *repulsões electricas estão em razão inversa do quadrado das distancias*. Como as repulsões têm uma intima ligação com as attracções, a lei fica tambem provada para estas.

**DEMONSTRAÇÃO DA 2.<sup>a</sup> LEI.**— Para demonstrar a segunda lei electriza-se ainda a bola  $m$  e nota-se a repulsão que ella faz executar á agulha. Retira-se então e toca-se com outra esphera de metal das mesmas dimensões, fazendo-se lhe assim perder proxima-mente metade da sua electricidade. Tornando a collocal-a no apparelho, observa-se que a repulsão diminuiu metade do que era. Se a aproximarmos d'uma outra esphera, do mesmo diametro e isolada, fazendo-lhe perder novamente metade da sua electricidade, observa-se que a repulsão apenas é d'um quarto da distancia primitiva. Isto prova que *as repulsões dos corpos electricos são proporcionaes ás quantidades d'electricidade de que estão animados*.

443. **DISTRIBUIÇÃO DA ELECTRICIDADE NOS CORPOS.**— Se tomarmos uma esphera oca, de latão, sustentada por um corpo isolador, observaremos que, se a tocarmos com um pequeno disco d'ouropel, sustentado por uma haste de

gomma laca, a que se chama *plano de prova*, e que serve para recolher a electricidade, e a approximarmos d'um electroscopio, este dará signal da existencia de fluido electrico. Mas, se em vez de tocarmos a sua face externa, o fizermos á interna, e approximarmos o *plano de prova* do electroscopio, este não accusará modificação alguma.



Fig. 158

A experiencia pôde ainda ser modificada de maneira a tornar mais evidente este facto. Tomemos uma esphera de metal massiça e assente n'um supporte isolador. Tomemos tambem dois hemispherios de metal igualmente isolados e podendo adaptar-se exactamente sobre a esphera. Electrizando e collocando immediatamente os hemispherios, observamos que, retirando estes rapidamente, a esphera perdeu a sua electricidade, estando toda accumulada n'elles.

Estas experiencias provam que a *electricidade se accumula sempre á superficie dos corpos*.

Ha uma experiencia de Faraday, realmente convincente, e simplicissima. O apparelho instrumental consiste n'um sacco de cassa, a cujo vertice está preso um fio de seda. Se o electrizarmos, reconhece-se com o plano de prova que a electricidade apenas existe na superficie externa. Voltando então o sacco, para o que não ha mais do que puxar pelo fio de seda, reconhece-se que a electricidade passou d'uma face para a outra, ficando ainda do lado exterior.

444. DENSIDADE ELECTRICA. TENSÃO. — A electricidade é retida á superficie dos corpos e não se irradia como o calor, em virtude da pouca conductibilidade do ar secco. Podem considerar-se os corpos como cobertos d'uma camada d'electricidade que, sendo novamente accrescentada, ou a torna *mais espessa* ou *mais densa*. E' o que se exprime indistinctamente quando dizemos *espessura* ou *densidade electricas*.

Considerando a electricidade como um fluido cujas moleculas estejam n'um estado continuo de repulsão, devemos

suppor que, quando está accumulada nos corpos, se esforça por abandonal-os, o que não consegue em virtude da resistencia do ar secco. E' isto o que se chama *tensão electrica*.

445. ACCUMULAÇÃO DA ELECTRICIDADE NAS PONTAS. — Se



Fig. 159

tocarmos todos os pontos da superficie d'uma esfera com um plano de prova, e depois o approximarmos da balança de Coulomb, reconheceremos que a electricidade se distribuiu homogeneamente em toda a sua superficie. Não succederá assim se, em vez d'uma esfera, tomarmos um ellypsoide (fig. 159), porque, em virtude da repulsão das moleculas electricas, estas accumulam-se nas extremidades do diametro maior, como se reconhecerá tocando differentes pontos da sua superficie com o plano de prova, e approximando-o da balança de Coulomb.

446. PODER DAS PONTAS. VENTO ELECTRICO. — Quanto



Fig. 160

mais alongado for o ellypsoide, maior será a quantidade d'electricidade accumulada nas extremidades do maior diametro. D'aqui resulta que, se o corpo electrizado terminar em ponta (fig. 160), a electricidade adquirirá n'elle a tensão sufficiente para vencer a resistencia do ar e escapar-se. Effectivamente é o que a experiencia demonstra.

Se approximarmos a mão d'uma ponta, reconheceremos um sopro ligeiro capaz d'inclinar a luz d'uma vella e mesmo de a apagar. E' o que se chama *vento electrico*, e depende da repulsão que a electricidade exerce sobre as moleculas do ar, carregadas de fluido egual. Na obscuridade vê-se uma luz pallida acompanhar o escoamento da electricidade.

## CAPITULO II

## Inducção electrostatica

Inducção electrostatica. Explicação das attracções dos corpos electrizados — Machinas electricas: Electrophoro; theoria do electrophoro. Machinas de Ramsden e de Nairne; de Holtz e de Carré. Electroscopios. Experiencias usuaes com a machina electrica.

447. INDUÇÃO ELECTROSTATICA. — Dá-se este nome, ou ainda o de *influencia*, á acção exercida a distancia pelos corpos electrizados. Os corpos que exercem esta acção chamam-se *inductores*; aquelles que a experimentam *induzidos*.

448. DEMONSTRAÇÃO EXPERIMENTAL. — Para reconhecer bem esta acção, toma-se um cylindro de cobre AB, isolado sobre supports de vidro e tendo nas extremidades dois pendulos electricos.

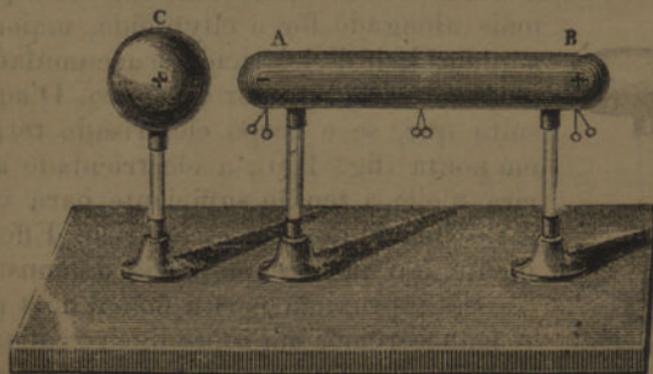


Fig. 161

Se approximarmos d'elle um corpo isolado C, carregado d'electricidade conhecida, ver-se-ha immediatamente que os pendulos se affastam, o que demonstra que as suas extremidades estão electrizadas.

Se a electricidade de que o corpo conductor estiver carregado fôr positiva, pôde reconhecer-se que a extremidade do corpo induzido mais proxima A, se carrega d'electricidade negativa, e a mais distante B de fluido positivo. Reconhece-se tambem que ha uma linha de separação, a qual não corresponde ao meio do cylindro, mas é mais proxima do corpo electrizado e varia com a distancia a que está.

O estado electrico do cylindro cessa logo que termina a influencia do corpo electrizado.

Fazendo communicar o corpo induzido com o sólo, perde a electricidade de nome contrario ao do inductor, e fica carregado apenas do fluido contrario, que se espalha em toda a sua superficie.

449. INTERPRETAÇÃO DO FACTO. — Os factos apresentados são uma consequencia da lei das attracções e repulsões electricas. O corpo electrizado C, cujo fluido é positivo, decompõe por influencia o fluido neutro do corpo cylindrico, attráe para si a electricidade do nome contrario e repelle para a outra extremidade a do mesmo nome. As electricidades separam-se pela influencia do corpo inductor. Logo que o façamos communicar com o solo, as duas electricidades recompõem-se e o corpo volta ao estado neutro.

Esta theoria, bastante commoda, não é hoje acceite; é, porém, empregada nos cursos, pela facilidade com que se presta á interpretação dos phenomenos.

450. COMMUNICAÇÃO DA ELECTRICIDADE A DISTANCIA: FAISCA ELECTRICA. — Quando um corpo electrizado é posto em presença d'outro que o não está, attráe para si a electricidade de nome differente, repellindo para a extremidade a do mesmo nome. As duas electricidades tendem então a reunir-se e fazem esforços sobre o ar que as cerca, para se reconstituirem. Se a tensão é superior á resistencia do ar, esta é vencida, e os fluidos reúnem-se com explosão, dando logar a uma luz viva, a que chamam *faisca electrica*.

A distancia, atravez da qual se dá a recomposição dos fluidos, depende de quantidade d'electricidade, da forma

dos corpos e do seu poder conductor, e ainda da resistencia do meio.

451. DESCARGA SILENCIOSA. — Todas as vezes que, para descarregar um corpo conductor, o faremos commu-  
nicar directamente com o solo, diz-se que a descarga é *silenciosa*. Como fica dito, este facto depende da conductibilidade das substancias de que se compõe o solo.

452. ATTRACÇÕES E REPULSÕES ELECTRICAS. — A theoria da electrisação por influencia explica com facilidade o phenomeno das attracções e repulsões electricas. Imagine-mos um conductor electrizado positivamente, em presença d'uma esphera de medulla de sabugueiro collocada a pequena distancia. A electricidade positiva do conductor decompõe por influencia o fluido neutro da bola de sabugueiro, chamando para o lado que está mais proximo o fluido contrario e repellindo para maior distancia o do mesmo nome. D'aqui resulta a attracção, mas logo que haja contacto a electricidade positiva do conductor neutralisa o fluido negativo da esphera, e como ella então só tem fluido positivo, é repellida.

453. MACHINAS ELECTRICAS. — Chamam-se assim osapparelhos destinados a produzir uma grande quantidade de electricidade estatica. As mais importantes são o electrophoro e as machinas de Ramsden, de Carré e de Holtz.

454. ELECTROPHORO. — De todas as machinas electricas a mais simples e mais portatil é o *electrophoro*, cuja invenção se deve a Volta. Compõe-se d'um bolo de resina R, encerrado n'um estojo de madeira ou de metal, e d'um disco de madeira P, coberto com uma folha d'estanho e munido d'um cabo isolador de vidro M.

Para se obter electricidade com este apparelho, começa-se por esfregar fortemente o prato de resina com uma pelle de

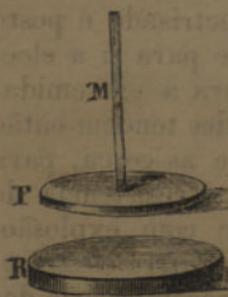


Fig. 163

gato, collocando-se depois por cima o disco de madeira coberto d'estanho.

Pelo attrito, desenvolve-se na resina o fluido negativo que não se propaga ao prato superior em virtude da sua não conductibilidade. Este decompõe por influencia o fluido neutro do disco, attrai para a face inferior a electricidade positiva e repelle para a superior a negativa. Se n'estas condições levantássemos o prato, este voltaria immediatamente ao estado neutro e não teríamos electricidade. Mas se, antes de o levantarmos, o tocarmos com o dedo, a electricidade negativa escôa-se para o solo e o prato fica apenas carregado de electricidade positiva. Se depois lhe aproximarmos a mão, immediatamente se produz uma nova fiação.

Tornando a collocar o prato, tocando-o com o dedo, e levantando-o depois, o electrophoro fica outra vez carregado, porquanto o prato de resina conserva muito tempo a sua electricidade.

Não é indifferente que o estojo do bolo de resina esteja isolado ou em communicação com o solo. No segundo caso o desenvolvimento d'electricidade é muito maior.

455. MACHINA ELECTRICA ORDINARIA OU DE RAMSDEN. — Esta machina compõe-se d'um prato circular de vidro FF' que póde girar, por intermedio da manivella M, entre dois pares de almofadas *a* e *c*, montadas n'um suporte de madeira.

Estas almofadas são de crina, forradas de couro e cobertas por uma camada de bi-sulfureto de estanho ou d'uma amalgama de zinco e estanho, com o fim de augmentar o desenvolvimento d'electricidade.

Por diante do prato estão collocados parallelamente dois cylindros ôcos de latão CC, a que se dá o nome de *conductores*, e que estão assentes em pés de vidro. Os dois conductores communicam entre si por meio d'uma haste transversal, e terminam do lado do prato por dois ramos em fórma de ferradura, que abraçam o prato, tendo voltadas para elle um certo numero de pontas metallicas.

A theoria d'esta machina é muito simples e funda-se

ao mesmo tempo no desenvolvimento da electricidade pelo attricto e por influencia. O prato de vidro electriza-se positivamente, enquanto as almofadas se electrizam negativamente. Mas estas, estando em comunicação com o solo por meio dos montantes de madeira, e, se tanto fôra ne-

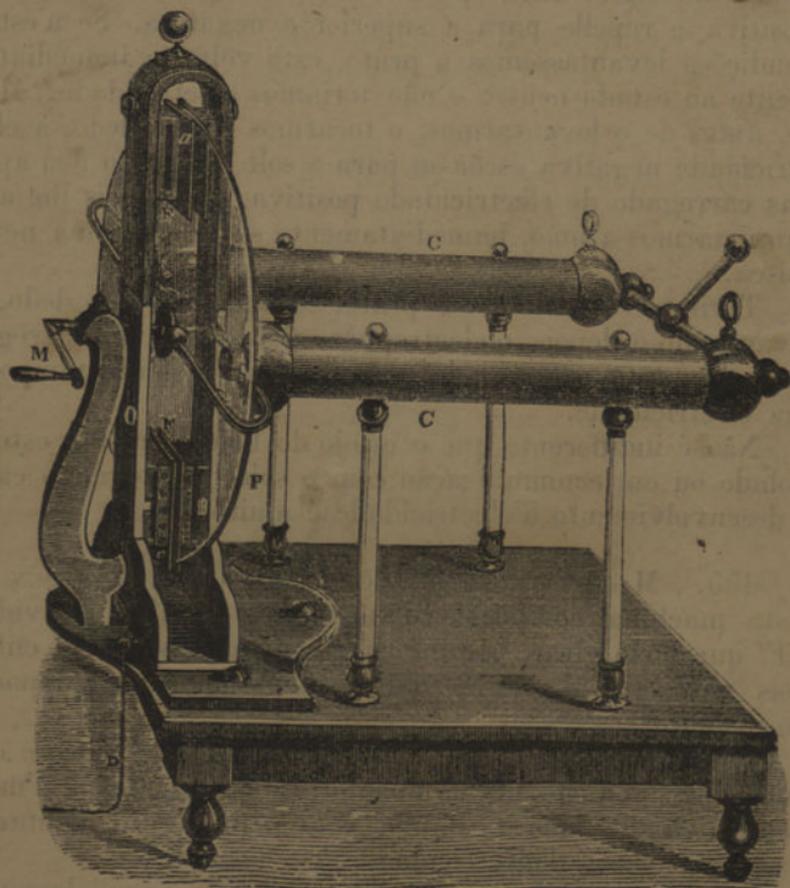


Fig. 163

cessario, por uma cadeia metallica D, a cada momento perdem a electricidade. Apenas, pois, nos resta o fluido positivo, desenvolvido no prato, que decompõe por influencia o fluido neutro dos conductores, chama a si a electricidade negativa que se escôa pelas pontas, neutralizando-se

à superficie do prato, de modo que os conductores ficam carregados d'electricidade positiva.

456. MACHINA ELECTRICA DE NAIRNE. — Esta machina electrica é destinada á producção das duas especies d'electricidade. Compõe-se de dois conductores isolados que não communicam entre si, e n'um dos quaes estão as almofadas, ao passo que o outro é armado de pontas. Entre os dois conductores está collocado um grande cylindro de vidro, que se faz girar sobre o seu eixo por meio d'uma manivella e que d'um lado roça contra as almofadas e do outro passa diante das pontas do outro conductor. D'aqui resulta que dos dois conductores o que tem as almofadas electriza-se negativamente, ao passo que o que tem as pontas se carrega, como a machina electrica ordinaria, d'electricidade positiva.

457. MACHINA DIELECTRICA DE CARRÉ. — A machina de Carré

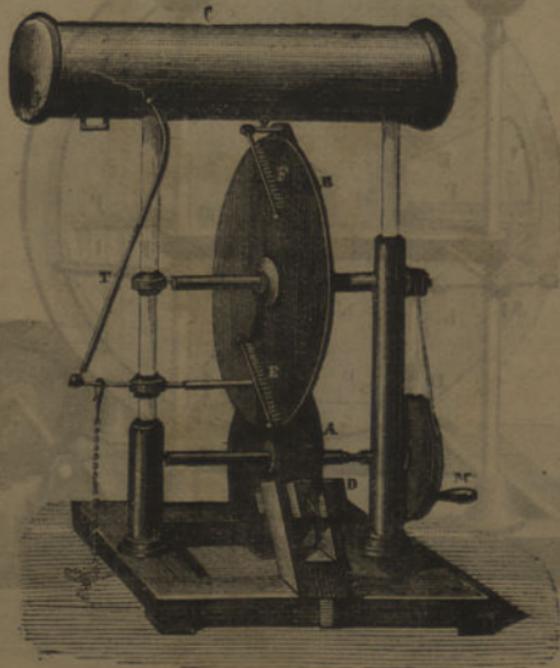


Fig. 161

*Jose Matt*

produz tambem as duas especies d'electricidade. Compõe-se d'um prato de vidro A ou de cautchouc endurecido que se faz girar por intermedio d'uma manivella M entre duas almofadas D cobertas de bi-sulfureto d'estanho. Este prato electriza-se positivamente e vae actuar por inducção sobre um prato maior B tambem de cautchouc, que gira dez vezes mais depressa. O primeiro prato A induz positivamente o sector do prato B que passa por diante d'elle; mas como este decompõe por influencia o fluido neutro do conductor inferior T, em communicação com o solo por meio d'uma corrente, carrega-se immediatamente d'electricidade negativa que lhe traz o pente E, enquanto a electricidade positiva se espalha pelo solo. O prato B continua a girar carregado d'electricidade negativa até chegar ao pente F do conductor superior que se acha isolado, o qual se carrega por influencia da mesma especie d'electricidade. A machina Carré produz grande quantidade d'electricidade com grande tensão. Com uma de grande modelo podem tirar-se faiscas de 15 a 25 centimetros de comprimento.

458. MACHINA ELECTRICA DE HOLTZ. — Esta machina compõe se

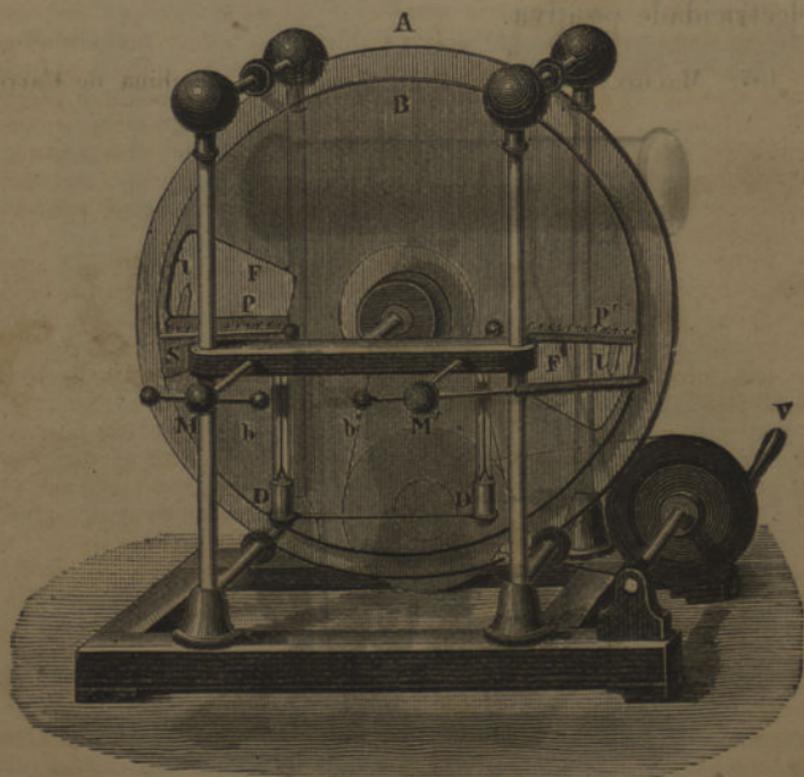


Fig. 165

de dois pratos de vidro A e B, collocados verticalmente em frente um do outro, a pequena distancia, um dos quaes, A é fixo e d'um diametro maior, ao passo que o outro, mais pequeno, é movel em torno do seu eixo e pôde ser posto em movimento por meio d'uma manivella V e d'um systema de rodas reunidas entre si por meio de correias sem fim.

No prato A estão abertas, em fórma de sectores circulares, duas janellas F e F' que se vêem por transparencia atravez do prato B. Na face posterior do prato, estão colladas tiras de cartão delgado, collocadas uma no bordo superior d'uma janella e outra no bordo inferior da outra, que terminam cada uma em sua lingueta ll, ambas as quaes passam por cima do bordo da janella. Dá-se a estas tiras de cartão o nome de *armaduras* e estão cobertas, assim como as linguetas, de verniz de gomma laca.

Em frente do prato B, á altura das armaduras, estão collocados horisontalmente dois pentes metallicos P e P', sustentados por dois conductores que terminam anteriormente por duas esferas M e M' atravessadas com attrito por duas hastes metallicas munidas de cabos isoladores que terminam em duas pequenas bolas b e b'.

Para fazer funcionar a machina, começa-se por pôr em contacto as duas pequenas bolas b e b', de modo a que communicem entre si os dois pentes. Aproxima-se depois, a pequena distancia d'uma das tiras de cartão um corpo fortemente electrizado, e põe-se em movimento o prato B. Ao cabo d'um certo tempo ouve-se uma crepitação ao nivel dos pentes metallicos, e se se afastarem as duas pequenas bolas b e b' vêem-se faiscas electricas que continuam, se o ar está secco, durante todo o tempo que dura o funcionamento da machina.

Para comprehendemos o funcionamento da machina, supponhamos uma placa d'ebonite electrizada negativamente em presença d'uma das armaduras; essa placa decompõe o fluido neutro da armadura, chama para si o fluido positivo que se escapa pela lingueta e carrega a tira de cartão d'electricidade negativa. Essa armadura, induzindo da mesma maneira, atravez do prato B, os dois conductores metallicos M e M', chama a si a electricidade positiva que se espalha na face anterior do prato movel por intermédio d'um dos pentes, ao passo que a electricidade negativa, recalçada para o outro pente, vae tambem espalhar-se na face anterior do prato movel. D'aqui resulta que sendo arrastadas as duas electricidades com a rotação do prato B, todo o seu contorno superior está electrizado positivamente, e todo o contorno inferior negativamente. Ora as duas electricidades contrarias actuam no mesmo sentido para decomporem o fluido neutro da outra armadura que fica carregada d'electricidade positiva, escapando-se a negativa pela lingueta e indo-se espalhar na face interna do prato B, onde, em vista da sua pequena espessura, neutralisa quasi completamente a electricidade positiva distribuida na face anterior. Desde então o movimento da machina vae determinando cada vez maiores quantidades d'electricidade que se vão espalhar nos dois conductores M e M'. A theoria

d'esta machina não está ainda definitivamente assente; o que é certo é que com ella se obtem quantidades d'electricidade muito superiores ás que se podem obter com as machinas ordinarias.

459. ELECTROSCOPIOS. — Para reconhecer se existe electricidade nos corpos, empregam-se uns instrumentos a que se dá o nome de *electroscopios*. O pendulo electrico que já fizemos conhecer (435), é o mais simples de todos. Emprega-se mais o *electroscopio de folhas d'ouro*, que é muito mais sensivel, e o de *Henley* ou de *quadrante*. A estesapparelhos chama-se tambem *electrometros*, mas a designação é impropria, porque elles não medem a quantidade d'electricidade existente nos corpos, limitando-se apenas a fazel-a reconhecer.

460. ELECTROSCOPIO ORDINARIO OU DE FOLHAS D'OURO. — Compõe-se este instrumento d'uma campanula de vidro B, assente n'um fundo metallico, em communicação com o solo e cuja parte superior é atravessada por uma haste



Fig. 166

metallica, que termina exteriormente n'uma esphera C e interiormente por duas pequenas laminas ou folhas d'ouro *nn*. Para nos servirmos d'este aparelho, começamos por communicar-lhe uma electricidade conhecida, approximando do botão exterior um cylindro de resina, electrificado negativamente. A electricidade negativa decomporá por influencia o fluido neutro do conductor C, chamará o positivo para a esphera, enquanto

que o negativo se espalhará nas folhas d'ouro, em virtude do que se afastarão uma da outra. Toca-se então o botão exterior, com o dedo, a electricidade negativa que manti-

nha afastadas as duas folhas d'ouro, escoa-se e as folhas de novo voltam a approximar-se.

Se agora se retirar *primeiro* o dedo e *depois* o cylindro, o electroscopio ficará carregado d'electricidade positiva e as folhas de novo divergirão.

Carregado assim o instrumento, se approximarmos do botão exterior um corpo electrizado tambem positivamente, este repellirá a electricidade positiva do electroscopio para as folhas d'ouro, cuja divergencia augmentará.

O contrario se produzirá se o corpo estiver electrizado negativamente.

Note-se que um corpo, no estado neutro, produziria da mesma maneira a approximação das laminas. E' por isso preciso todas as vezes que tal effeito se produzir, verificar que o corpo está realmente electrizado, o que se reconhece approximando-o de novo do electroscopio, que se terá feito voltar ao estado natural, tocando com o dedo o botão exterior. Se se afastam de novo as folhas, é porque realmente o corpo está electrizado positivamente.

Ha no interior da campanula duas pequenas hastes *a*, em que se vão descarregar as folhas na sua maxima divergencia. Por esta maneira se evitam os erros que resultariam se esses conductores communicassem ao vidro a sua electricidade.

#### 461. ELECTROSCOPIO DE HENLEY OU DE QUADRANTE. —

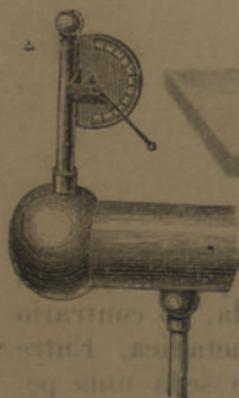


Fig. 167

Este electroscopio emprega-se principalmente para reconhecer a tensão da machina electrica. Compõe-se d'uma haste de madeira que se fixa n'um dos conductores e que tem um mostrador de marfim, ao centro do qual está preso um pequeno pendulo, feito d'um fio de barba de baleia e uma bola de medulla de sabugueiro. Quando a machina está em repouso o pendulo fica vertical, mas, logo que começa a funcionar, affasta-se d'essa linha fazendo com ella um angulo tanto maior quanto maior é a tensão electrica.

462. USOS DA MACHINA ELECTRICA. — A machina electrica serve para fazer numerosas experiencias, cuja explicação se baseia em principios já conhecidos. Algumas d'ellas são muito interessantes e por isso merecem ser conhecidas: taes são o *carrilhão electrico*, a *saraiva* e a *dança dos bonecos*.

O *carrilhão electrico* compõe-se d'uma haste metallica, suspensa por um anel ao conductor da machina electrica ou isolado sobre um pé de vidro e em communição com ella. Prendem-se a esta haste duas campainhas, uma das

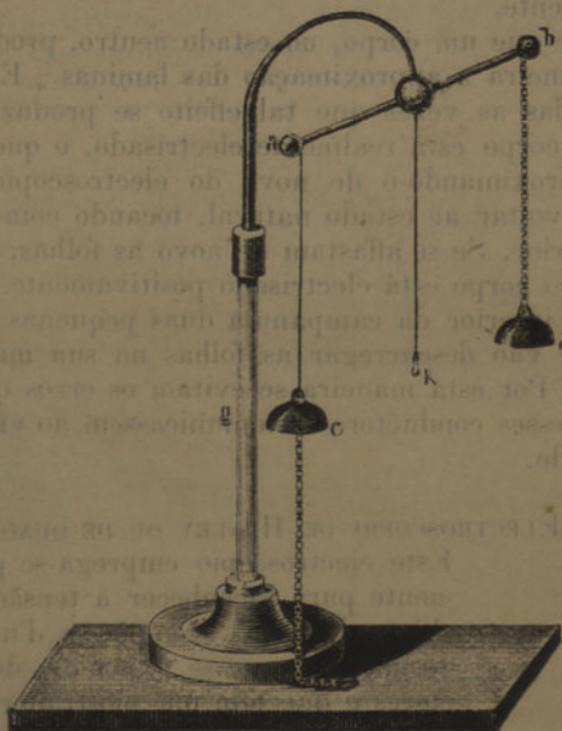


Fig. 168

quaes está em communição com o solo por intermedio d'uma cadeia e suspensa por um fio de seda, ao contrario da outra que está presa por uma cadeia metallica. Entre as campainhas está suspensa por um fio de seda uma pequena esphera metallica. Quando a machina é posta em

actividade, a campainha *d* electriza-se por estar ligada por uma haste conductora, ao passo que a *c*, isolada pelo fio de seda, fica no estado neutro. A espherula metallica é attraída pela campainha *d* e logo depois do choque repellida, indo tocar a *c* onde perde a sua electricidade, passando ao estado neutro. Então é novamente attraída e recomeça a mesma serie de phenomenos.

A experiencia da *saraiva* faz-se por meio d'uma campanula de vidro, ligada a um prato metallico e cuja parte superior é atravessada por uma haste da mesma natureza. Esta termina em cima por um annel e inferiormente por um largo prato de cobre. No interior da campanula são collocadas numerosas bolas de medulla de sabugueiro. Fazendo communicar por meio d'uma cadeia o annel superior com a machina electrica, logo que esta é posta em movimento, electriza-se o prato de cobre que attráe a si as pequenas esferas. Estas são depois repellidas e postas em contacto com o prato inferior, passando assim ao estado neutro e voltando a ser attraídas depois. Esta experiencia foi pela primeira vez executada por Volta, que suppunha que assim se produzia a saraiva entre as nuvens electrizadas.

Substituindo as bolas de sabugueiro por pequenas figuras de sabugo ou cortiça, sustentadas por fios de seda, estas são attraídas e repellidas entre o prato superior e o inferior. E' isto o que se chama a *dança dos bonecos*.

### CAPITULO III

#### Condensação electrica

Condensação da electricidade: sua theoria. Condensadores. Garrafa de Leyde. Baterias. Electrometro condensador.

463. CONDENSAÇÃO ELECTRICÁ: CONDENSADORES.— Em virtude da influencia electrica, podemos accumular nos

corpos maiores quantidades d'electricidade do que as que ordinariamente podem receber. A este phenomeno dá-se o nome de *condensação electrica* e aos apparatus que o realisam, *condensadores*.

464. EXPLICAÇÃO. — Imaginemos duas laminas metallicas C e C', separadas por uma outra maior B, de vidro. Punhamos a lamina C em communicação com uma origem constante d'electricidade, e outra C' em relação com o solo, por intermedio d'uma cadeia metallica. A lamina C carregar-se-ha da quantidade maxima d'electricidade, o que variará com a energia da origem e com a extensão da superficie. Esta electricidade que suppremos positiva, actuando por influencia, atravez da lamina de vidro, sobre a da lamina C', decomporá o seu fluido neutro, chamará

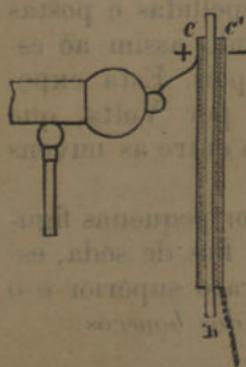


Fig. 169

a si a electricidade de nome contrario, ao passo que a do mesmo nome se escoará. Esta electricidade negativa, desenvolvida na lamina C', deixará d'estar livre, a tensão estará destruida e a acção neutralizada: diz-se então que está *dissimulada*. Actuará tambem sobre a electricidade positiva, desenvolvida em C, tendendo a dissimulal-a da mesma maneira. A neutralisação tornar-se-hia completa se a distancia das duas laminas fosse nulla; como o não é, apenas uma parte do fluido positivo da lamina C é attraida e fixa na face interna. Deixará, pois, esta parte de ser livre e passará ao estado d'electricidade dissimulada, e a lamina C poderá receber uma nova quantidade d'electricidade, a qual actuará da mesma maneira sobre a lamina C', e assim por diante.

465. CONDENSADOR DE LAMINA DE VIDRO. — O instrumento que realisa as condições precedentemente expostas, é um *condensador*. Compõe-se de duas laminas delgadas d'estanho, colladas sobre uma e outra face d'um quadrado de vidro maior que ellas, de maneira a deixarem um re-

bordo de cinco a seis centímetros de largura. A carga será tanto maior quanto mais extensa fôr a superfície, a origem d'electricidade mais intensa e a lamina de vidro mais delgada. Cumpre, todavia, que esta não seja reduzida a dimensões tão exiguas que possa ser partida pela violenta recomposição das duas electricidades.

466. GARRAFA DE LEYDE. — A garrafa de Leyde (fig. 170), assim chamada do nome da cidade em que foi inventada, é um condensador capaz de accumular grandes quantidades d'electricidade. Compõe-se d'um frasco de vidro de paredes delgadas, coberto até certa altura por uma folha d'estanho que tem o nome de *armadura externa*, e contendo no seu interior folhas de cobre ou ouro, que constituem a *armadura interior*. A rolha do frasco é atravessada por uma haste metallica, que externamente termina em botão e internamente se perde entre as folhas de cobre. Carrega-se a garrafa, tomando-a pela armadura exterior e pondo em comunicação a haste metallica, e



Fig. 170

por conseguinte, a armadura interna, com a machina electrica. D'este modo a electricidade positiva, communicada á armadura interior, decompõe por influencia o fluido neutro da armadura externa, attráe a electricidade negativa e repelle a positiva que se perde no solo.

Mostra-se que a electricidade se accumula sobre o vidro com uma garrafa d'armaduras moveis, que por isso se póde desmontar, como se vê na fig. 171. Consta o instrumento d'um vaso de folha de Flandres ou cobre A, de fórma conica, dentro do qual se póde ajustar um vaso de vidro B, que recebe um terceiro vaso metallico C, terminado n'um gancho.



Fig. 171

Carregando esta garrafa pelo processo ordinario, e assentando-a n'uma mesa isolada, reconhecemos que, levantando com um cilindro de vidro o copo interior C, e com os dedos o copo A, estas armaduras não teem electricidade, emquanto que,

tocando com as mãos as duas faces do vidro, se recebem choques e se veem faíscas.

467. JARRAS E BATERIAS ELECTRICAS. — Dá-se o nome de *jarra* a uma grande garrafa de Leyde, de gargalo extremamente largo, para que se possa colar internamente uma folha d'estanho que constitue a armadura interior. A haste que atravessa a rolha é recta, e termina inferiormente n'uma cadeia metalleca, em comunicação com aquella armadura.

Dá-se o nome de *bacteria electrica* á reunião de muitas jarras, dentro d'uma mesma caixa de madeira. Esta é internamente forrada por uma lamina d'estanho que põe em comunicação as armaduras externas. As hastes metalli-

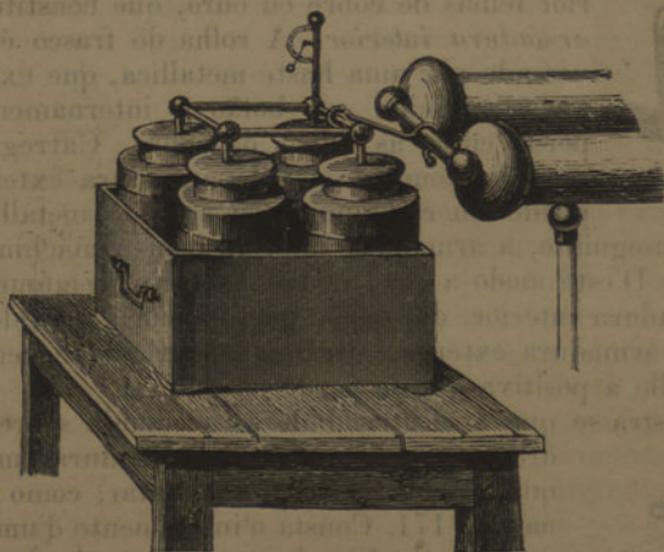


Fig. 172

cas que atravessam as rolhas das jarras são ligadas entre si por conductores metallecos, como se vê da fig. 172.

Carrega-se a bacteria, pondo as armaduras internas em comunicação com a machina electrica, por meio d'uma cadeia metalleca e as externas com o solo, por meio da propria caixa, e ainda por cadeias tambem de metal.

Costuma-se juntar á bacteria electrica um pequeno electroscopio de quadrante que permite saber approximadamente a carga do apparelho.

468. ELECTROMETRO CONDENSADOR. — Este instrumento, devido a Volta, compõe-se d'um electroscopio ordinario de folhas d'ouro, que, em vez de terminar em botão, tem superiormente um disco de cobre P coberto d'uma camada muito delgada de verniz de gomma laca: é o disco *condensador*. Sobre o condensador está assente um outro disco metalleo do mesmo diametro, chamado *collector*, cuja face inferior está tambem coberta de gomma laca. O collector tem um cabo isolador de vidro M. Para nos servirmos do apparelho põe-se o corpo electrizado em contacto com o disco superior e toca-se com o dedo no prato inferior. A electricidade do collector decompõe por influencia o fluido neutro do disco inferior, repelle para o solo o fluido do mesmo nome e chama a si o de nome contrario.



Fig. 173

Assim se accumulam as duas electricidades nos dois pratos, como no condensador ordinario, e ficam dissimuladas em virtude da acção que exercem uma sobre a outra atravez da gomma laca, motivo pelo qual as duas laminas não divergem. Mas se se retira primeiro o dedo que estava em contacto com o prato inferior, e depois se levanta o prato superior, os dois fluidos ficam livres e as laminas d'ouro affastam-se immediatamente.

469. DESCARGA DOS CONDENSADORES. — Podem-se descarregar os condensadores lenta ou rapidamente.

1.<sup>o</sup> *Descarga lenta*. O condensador descarrega-se tocando alternativamente cada uma das suas armaduras, depois de se ter isolado. Demonstra o calculo que seria necessario repetir a operação um numero infinito de vezes para que ficasse totalmente descarregado.

2.<sup>o</sup> *Descarga instantanea*. Quando se quer descarregar instantaneamente o condensador, basta fazer communicar as duas armaduras por um corpo conductor. Emprega-se para esse fim um instrumento chamado *excitador* (fig. 174) que se compõe de dois ramos, terminados cada um por uma bola do mesmo metal e reunidos por uma charneira. Para fazer uso do excitador, por exemplo, com uma garrafa de

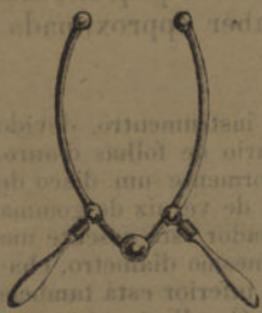


Fig. 174

Leyde, encosta-se uma das suas extremidades á armadura externa e aproxima-se a outra da haste em que termina a armadura interna.

As duas electricidades combinam-se então com desenvolvimento d'uma viva faísca. Quando se quer empregar este instrumento para descarregar uma bateria, é conveniente accrescentar-lhe cabos de vidro como representa a figura, para se não sentir um violento abalo.

A descarga nunca é rigorosamente instantanea e é necessario empregar o excitador mais de uma vez. Isto depende de que uma parte da electricidade se espalha pela espessura do vidro.

488. EFFEITOS DA DESCARGA ELECTRICA. — Os effeitos da descarga electrica são de differentes ordens, mas podem reduzir-se a tres cathegorias: *physicos*, *chimicos* e *physiologicos*.

1.º *Effeitos physicos*. Os effeitos physicos da descarga instantanea são principalmente luminosos e calorificos. Sabemos já que, quando se aproxima um corpo conductor communicando com o solo, se desenvolvem faíscas extremamente luminosas.

A faísca é rectilinea quando tem pequena extensão, mas é sinuosa e em zig-zag quando tem a vencer maior distancia, assimilhando-se então completamente ao raio.

No ar rarefeito, a faísca electrica tem uma côr purpura, affecta a fôrma ovoide e é tanto mais fraca quanto maior é a rarefacção do ar. No vasio barometrico manifesta-se por uma luz esverdeada, o que é devido aos vapores mercuriaes que este espaço contém sempre. Julga-se que a electricidade não pôde atravessar o vacuo absoluto, mas esse factio ainda não está provado.

Os phenômenos calorificos consistem no desenvolvimento d'um calor extremamente elevado e capaz de determinar a fusão e volatilisação dos metaes, a inflamma-

ção do ether, do alcool e da polvora, bem como a expansão subita dos gazes e a perfuração de substancias pouco conductoras.

2.<sup>o</sup> *Effeitos chimicos.* São estes a composição ou a decomposição dos corpos. Assim a faísca electrica é capaz de determinar a combinação rapida de certos gazes, como o oxygenio e hydrogenio, este e o chloro, etc.; e ao contrario determina a decomposição do gaz ammoniaco, dos acidos sulphydrico e carbonico, etc., nos seus elementos.

3.<sup>o</sup> *Effeitos physiologicos.* Os effeitos physiologicos produzidos pela descarga electrica são commoções e contracções musculares. Estes phenomenos são mais pronunciados com a garrafa de Leyde do que com a machina electrica que produz uma sensação muito menor. Estas descargas podem communicar-se a muitas pessoas que estejam de mãos dadas. A descarga d'uma bateria é sempre perigosa e capaz de fulminar animaes muito robustos e pôr em perigo a vida do homem.

## CAPITULO IV

### Electricidade atmospherica

Electricidade atmospherica. Relampago, trovão, raio; choque reflexo. Pára-raios. Aurora boreal

489. **ELECTRICIDADE ATMOSPHERICA.** — O ar atmosphérico está continuamente carregado d'electricidade. Facilmente se reconhece isto com o *electrometro de Saussure* que não é mais do que um electroscopio ordinario de folhas d'ouro, cuja haste tem um comprimento de 5 a 6 decimetros e termina n'uma espherula ou em ponta. Elevando este instrumento verticalmente na atmospherica, as folhas d'ouro divergem sensivelmente.

Demonstrou Saussure, por meio do seu aparelho, que quando o tempo está sereno ha no ar *electricidade posi-*

*tiva* livre, cuja tensão é tanto maior quanto mais puro e secco é o ar; e que n'estas mesmas condições a superficie está electrificada negativamente.

As nuvens estão sempre electrificadas, mas com electricidades variaveis. Actuando por influencia sobre os corpos visinhos, a sua electricidade dá logar a phenomenos a que se dá o nome de *electricos*.

Tem sido attribuida a differentes causas a existencia d'electricidade no ar. A principal ou, pelo menos, a que está bem averiguada é a evaporação da agua, tendo em dissolução substancias salinas. Effectivamente Pouillet demonstrou que n'este phenomeno se produz electricidade positiva que é arrastada com o vapor, ao passo que a electricidade negativa se espalha no solo.

490. RELAMPAGO E TROVÃO. — Quando duas nuvens carregadas d'electricidades differentes se approximam, estas combinam-se, produzindo luz que constitue o *relampago*, acompanhada d'um ruido que recebeu o nome de *trovão*.

O *trovão* é produzido pela expansão subita da camada d'ar e vapor d'agua que é atravessada pelo relampago.

E' simultanea a producção do relampago e do trovão; a razão porque os nossos sentidos recebem com um certo intervallo as impressões correspondentes a um e outro é a desigual velocidade do som e da luz.

Como esta é extremamente grande em relação á do som, calcula-se aproximadamente a distancia que nos separa das nuvens electrificadas, contando o numero de segundos decorrido entre a appareção dos dois phenomenos, e multiplicando-o por 340 metros, que é a velocidade média do som.

491. RAIOS. — Póde estabelecer-se a descarga electrica entre uma nuvem e o solo. Este carrega-se por influencia da nuvem e quando a tensão é sufficiente apparece o raio, isto é, a descarga electrica entre uma e outro.

O raio *cáe* de preferencia sobre os melhores conductores. Em occasião de tempestade são máus abrigos as arvo-

res que, impregnadas de liquidos, são boas conductoras, as egrejas e os edificios elevados. Dentro de casa deve fugir-se das peças metallicas, das janellas e chaminés e de quaesquer outras aberturas que tornem facil a passagem da electricidade.

492. **EFFEITOS DO RAIOS.** — Os phenomenos produzidos pelo raio são exactamente semelhantes aos que nós produzimos com a descarga das nossas baterias, mas differem pela sua maior intensidade.

Assim o raio fulmina o homem e os animaes, funde e volatilisa os metaes, dilacera e fura os corpos máus conductores, etc. Penetrando n'um solo argiloso, cava tubos de muitos metros de comprimento que tem o nome de *fulgurites* ou *tubos fulminarios*. Magnetisa barras de ferro, troca os polos dos magnetes, e finalmente deixa na sua passagem muita vez um forte cheiro de enxofre que se deve a uma modificação que soffre o oxygenio, transformando-se em *ozone*.

493. **CHOQUE REFLEXO.** — Muita vez os animaes e o proprio homem são fulminados a grandes distancias do sitio em que cae o raio. Este facto é proveniente do *choque reflexo*, cuja explicação é a seguinte. Imaginemos que uma nuvem, actuando por influencia sobre um animal, o faz carregar d'electricidade contraria á sua. Se, n'estas condições, a nuvem se descarregar, cessa a influencia sobre o animal, e a electricidade recompõe-se bruscamente atravez do corpo do animal, que é fulminado indirectamente.

494. **PA'RA-RAIOS.** — Os pára-raios são instrumentos destinados a preservar os edificios dos effeitos do raio. Estes instrumentos, inventados por Franklin, compõem-se principalmente d'uma haste metallica de 7 a 8 metros de altura, terminada em ponta e collocada verticalmente no tecto dos edificios, e d'um conductor formado por uma corda d'arame que desce ao longo das paredes até ao solo, com o qual deve communicar bem, o que se consegue di-

rigindo a extremidade para um poço ou valla cheia de carvão.

O emprego do pára-raios funda-se no poder das pontas e na electrificação por influencia. Imaginemos uma nuvem que influenceie um edificio qualquer; decompõe por influencia o seu fluido neutro e attráe a si a electricidade de nome opposto á sua, que, escoando-se pela ponta, irá neutralisar a electricidade da nuvem. Caso, porém, a quantidade d'electricidade distribuida no edificio seja tal que a descarga se produza, ainda assim o pára-raios protegerá efficaçzmente o edificio, porque, sendo o melhor conductor, será o unico a receber a descarga.

A experiencia tem demonstrado que a acção d'um pára-raios se exerce n'um circulo cujo raio é egual ao duplo do seu comprimento. Um pára-raios, cujo comprimento seja de 10 metros, protegerá um espaço circular de 20 metros de raio. Isto é importante, para se saber o numero de pára-raios que se devem collocar n'um edificio grande.

495. AURORAS POLARES.—As auroras polares são meteoros luminosos brilhantissimos que se observam principalmente nas regiões polares. São mais frequentes no polo norte, mas tambem se observam no polo opposto, motivo porque se designam com o nome de *boreaes* e *austraes*. Quando completas as auroras polares constam de tres partes: arco, raios e coroa. O arco é a primeira parte que se manifesta; os extremos apoiam-se no horisonte e vão-se gradualmente elevando, emittindo raios luminosos que constituem muita vez uma coroa de fogo que indica a terminação do phenomeno.

As *auroras polares* são um phenomeno electrico, produzido, segundo se suppõe, por descargas lentas da electricidade do solo que neutralisam a derramada na atmospherá.

# LIVRO DECIMO

## MAGNETISMO

### CAPITULO I

#### Propriedades dos magnetes

Propriedades do iman. Magnetes artificiaes. Polos; linha neutra; pontos consequentes. Substancias magneticas. Magnetisação por influencia. Força coerciva. Theoria do magnetismo: hypothese de dois fluidos. Corpos dia-magneticos.

496. MAGNETISMO.—Ha uma especie d'oxydo de ferro, vulgar em todas as minas d'este metal, mas muito abundante na Suecia e Noruega, que gosa da propriedade de attrair o ferro, o nickel, o cobalto, etc. Dá-se-lhe o nome de *iman* ou *magnete natural*.

Esta propriedade póde ser adquirida pelo aço temperado, por meio de processos de que adiante nos occuparemos. A estas barras ou agulhas d'aço que gosam das propriedades dos magnetes naturaes, dá-se o nome de *magnetes artificiaes*.

A parte da physica que estuda taes phenomenos recebe o nome de *magnetismo*, mas esta palavra serve tambem para designar a sua causa.

497. DISTRIBUIÇÃO DO MAGNETISMO. POLOS E LINHA NEUTRA.—A força magnetica não está regularmente distribuida por toda a superficie do iman. Se tomarmos uma barra d'aço magnetizada e a cercarmos de limalha de ferro, observaremos que esta é attraida e fica adhe-



Fig. 175

rente aos topos d'essa barra, ao passo que na parte mediana a adherencia é nulla. Chama-se aos pontos em que a attracção é mais pronunciada *polos*, e á linha mediana, em que a attracção é quasi nulla, dá-se a denominação de *linha neutra*.

Os magnetes naturaes apresentam tambem o mesmo phenomeno, mas, em virtude da irregularidade da sua superficie e d'outras causas, formam-se entre os seus polos extremos, outros intermediarios que se chamam *pontos consequentes*.

498. ATTRACÇÃO EXERCIDA PELOS MAGNETES SOBRE O FERRO. — Já sabem que o ferro é attraído por qualquer magnete. A singela experiencia feita ha pouco bem o demonstrou. Completem essa noção, aprendendo que esta attracção se exerce, não só quando os dois corpos estão em contacto, mas ainda a distancia, atravez mesmo de corpos não magneticos, como a madeira, o papel, o cartão, etc. A sua intensidade diminue rapidamente com a distancia, e varia com a temperatura. Quando, effectivamente, se aquece uma barra magnetisada, a sua força magnetica vae diminuindo cada vez mais, retomando-a logo que arrefece, se não tiver sido levada até ao rubro, temperatura á qual a perde completamente.

499. ACCÃO MUTUA DOS MAGNETES. — Se tomarmos uma agulha magnetica e a suspendermos pela sua parte mediana, observamos que, approximando um dos extremos d'uma barra magnetisada, d'ambos os seus polos, ha da parte d'um, attracção e da do outro, repulsão.

Fazendo a mesma experiencia com o outro extremo da barra magnetisada, reconhecemos que a parte da agulha que na primeira experiencia se affastara do magnete, é agora attraída, e que a que foi attraída da primeira vez soffre agora uma repulsão.

Os polos dos magnetes receberam o nome de *austral* e *boreal*. A lei que preside a estas attracções e repulsões enuncia-se pela fórmula seguinte: *Os polos do mesmo nome repellem-se, e os de nomes contrarios attráem-se.*

500. FORÇA COERCIVA. — Chama-se *força coerciva* á força mais ou menos intensa que se oppõe á orientação dos fluidos n'uma substancia magnetica ou á sua recomposição, quando separados. Esta força é nulla ou muito pouco intensa no ferro macio que se magnetisa rapidamente sob a acção d'um iman. O contrario succede no aço temperado, que só com muita lentidão adquire propriedades magneticas, e que tambem só ao cabo de muito tempo e com difficuldade as perde, quando as haja adquirido. O ferro macio póde, pela torsão, pela oxydação ou pela pressão, adquirir uma certa força coerciva que aliás tem pequena duração.

501. SUBSTANCIAS MAGNETICAS. — Chamam-se assim todas aquellas que os magnetes attraem com mais ou menos energia. Taes são o ferro, o aço, o nickel, o cobalto e o chromo.

Estas substancias differem dos magnetes em que não exercem, no seu estado ordinario, acção alguma, e em que, apresentadas successivamente aos polos d'um magnete, são indifferentemente attraídas por um e por outro.

502. HYPOTHESE DOS DOIS FLUIDOS MAGNETICOS. — Os phenomenos d'attracção e repulsão que acabamos de relatar fizeram suppôr aos physicos a existencia de dois fluidos magneticos contrarios, attraíndo-se mutuamente, e cujas moleculas estariam n'um estado continuo de repulsão. Estes fluidos receberam o nome de *fluido austral* e *fluido boreal*, e estariam combinados nos corpos magneticos no estado de *fluido neutro*. Conservaremos estas denominações que tornam facil a explicação dos phenomenos magneticos, mas observamos, ainda assim, que é provavel que elles dependam apenas da electricidade dinamica.

503. MAGNETISAÇÃO POR INFLUENCIA. — Se tomarmos um magnete e d'elle approximarmos um pequeno cylindro de ferro macio, observamos que elle é attraído e fica suspenso da barra. O que, porém, ha de notavel é que, se approximarmos d'este pequeno cylindro um outro, será

tambem attraído e successivamente outros. E' isto o que se chama *magnetisação por influencia*, visto que cada um dos pequenos cylindros se constitue n'um magnete temporario. Admitte-se que o fluido existente na extremidade da barra decompõe o fluido neutro do primeiro cylindro, chama a si o fluido de nome contrario, e repelle para a outra extremidade o do mesmo nome. Transforma-se assim n'um verdadeiro magnete com os seus dois polos, e como tal se comporta para decompôr o fluido neutro d'um novo cylindro, etc.

504. CONSTITUIÇÃO DOS MAGNETES. — Se magnetisarmos uma grande agulha d'aço, reconheceremos a existencia dos polos nas suas extremidades. Se a partirmos, ainda obteremos dois magnetes, cada um dos quaes terá os seus dois polos *austral e boreal*.

Para explicar este facto suppõe-se que os fluidos magneticos existem separados em cada molecula, em duas direcções constantes e oppostas uma á outra, o que dá logar a duas resultantes contrarias, cujos pontos d'applicação estão nas extremidades do corpo, constituindo os polos, e cujo plano de separação fórma a linha neutra.

505. ACÇÃO DOS MAGNETES SOBRE OS CORPOS: CORPOS DIA-MAGNETICOS. — Coulomb, em 1802, observou que os magnetes actuam com mais ou menos intensidade sobre todos os corpos, fazendo oscillar primeiro entre os polos oppostos de dois fortes magnetes e depois livremente barras de differentes substancias. A comparação do numero d'oscillações executadas punha em evidencia a acção magnetica. Mais tarde Lebailliff, Faraday, e Becquerel demonstraram que essa acção, primeiro attribuida a impurezas existentes nas differentes barras, era real e que umas vezes era attractiva e outras repulsiva.

Os corpos attraídos receberam o nome de *magneticos* e os repellidos o de *dia-magneticos*. Entre estes ultimos figuram o bismutho, o chumbo, o enxofre, a cera, a agua, etc. O cobre é umas vezes magnetico, outras dia-magnetico, o que depende naturalmente do seu gráu de pureza.

## CAPITULO II

## Magnetismo terrestre

Magnetismo terrestre. Direcção da agulha magnetica. Declinação e inclinação. Meridiano, equador e polos magneticos da terra. Agulha de marear. Descripção e uso das bussolas de declinação. Variações da declinação e da inclinação magnetica. Valor actual da declinação. Agulhas astaticas.

506. AGULHA MAGNETICA.— Quando uma agulha magnetica repousa pelo seu centro de gravidade sobre um eixo vertical, em torno do qual póde girar livremente, observa-se que ella toma por si mesma uma posição invariavel, a que volta ainda que d'ella seja affastada. Verifica-se que um dos seus polos fica voltado para o norte, e o outro para o sul. Foi d'este phenomeno que se tiraram os nomes de *austral* e *boreal* dados aos polos da agulha, chamando-se *austral* ao que está voltado para o norte e *boreal* ao que está voltado para o sul.

507. MAGNETISMO TERRESTRE.— A força magnetica que actua sobre a agulha exerce-se em todos os logares da terra. Tem pois por causa a acção do proprio globo que póde ser considerado como um verdadeiro magnete, cuja linha neutra está collocada proximo do equador e cujos polos magneticos ficam proximo dos de rotação. O que fica situado no polo norte chama-se *boreal* e o que existe no polo sul *austral*. E como os polos de nome contrario se attráem e os do mesmo nome se repellem, é por isso que as extremidades da agulha recebem os nomes inversos.

Note-se que a acção da terra não é propriamente attractiva, mas simplesmente directriz. Demonstra-se isto collocando uma agulha magnetica n'um fluctuador; observa-se então que esta agulha gira de maneira a collocar-se sempre n'uma direcção norte-sul, mas não se vê executar movimento algum de translacção para qualquer ponto.

508. MERIDIANO MAGNETICO. DECLINAÇÃO. — Chama-se *meridiano magnetico* d'um logar o plano vertical que passa pela linha que junta os dois polos d'uma agulha magnetica, collocada horizontalmente, em equilibrio, n'um eixo vertical. O angulo formado pela direcção da agulha com o meridiano astronomico que passa pelo seu centro de movimento chama-se *declinação magnetica*.

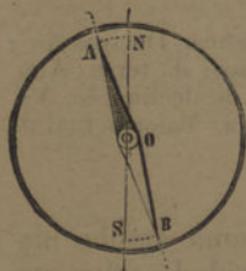


Fig. 176

Assim, na figura, o angulo AON, formado pelo meridiano NS com a agulha AB, movel em torno do ponto O, representa a *declinação*. Diz-se que é *oriental* ou *occidental*, segundo o polo austral da agulha se dirige para leste ou oeste do meridiano.

509. INCLINAÇÃO. EQUADOR E POLOS MAGNETICOS. — Quando se suspende uma agulha magnetica pelo seu centro de gravidade n'um eixo horizontal, em torno do qual pôde girar n'um plano vertical, observa-se que toma uma direcção fixa que depende do plano vertical em que se move. Quando este plano coincide com o meridiano magnetico, o mais pequeno dos dois angulos que faz a metade austral da agulha com o horizonte chama-se *inclinação da agulha*. Assim, na figura, a inclinação é representada pelo angulo DOA, formado pela metade austral da agulha AB com o horizonte CD.

Proximo do equador encontra-se uma serie de pontos

em que a inclinação é nulla, ficando a agulha perfeitamente horizontal. A linha que junta esses pontos fórma uma curva sinuosa que recebeu o nome de *equador magnetico*. Se, partindo do equador terrestre, nos vamos aproximando de cada um dos polos, vêmos que o polo opposto da agulha se vae inclinando cada vez mais sobre o horizonte, acabando por tomar uma direcção vertical. A in-

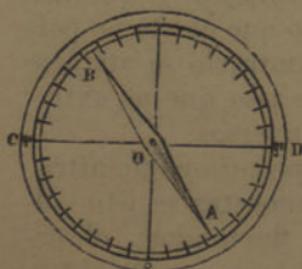


Fig. 177

clinação é então de  $90^\circ$ , e indica para cada hemispherio a situação do *polo magnetico* correspondente.

510. BUSSOLAS. — Dá-se este nome aos instrumentos destinados a medirem a inclinação ou a declinação magneticas. D'aqui, duas especies de bussolas: de *declinação* e de *inclinação*.

511. BUSSOLA DE DECLINAÇÃO. — Consiste esta bussola n'um quadrante horisontal, no centro do qual está um eixo vertical d'aço, sobre o qual repousa, por uma lamina de agatha, uma agulha magnetica muito leve, que, assim, póde mover-se á volta do quadrante cujo limbo, como fica dito, está graduado. Dois diametros perpendiculares NS e OE servem para orientar a bussola. Este instrumento tem dois fins; medir a declinação d'um logar, cujo meridiano é conhecido, e achar o meridiano, quando é conhecida a declinação.

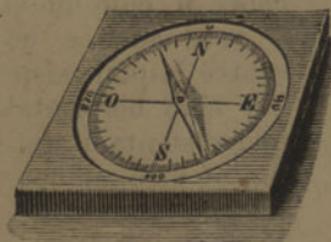


Fig. 178

1.º Para medir a declinação, basta orientar a bussola, isto é, collocar a linha NS no plano do meridiano terrestre com a extre-

midade N voltada para o norte. Lê-se então o angulo que faz a agulha com o diametro NS, e é esse angulo que representa o valor da declinação.

2.º Para achar o meridiano d'um logar cuja declinação se conhece, volta-se a bussola, de modo a que o angulo formado pela agulha NS seja igual á declinação do logar. O diametro NS estará então no plano do meridiano astronomico.

512. BUSSOLA MARITIMA. — Esta especie de bussola tambem chamada *agulha de marear*, serve para dirigir a marcha dos navios. Costuma estar mettida n'uma caixa, chamada *bitacula* e collocada á ré, suspensa de maneira a conservar sempre a posição horisontal, apesar das oscillações do navio.

O quadrante é formado por uma folha de talco coberta de papel, onde está impressa a *rosa dos ventos*. Esta está collocada sobre a agulha e gira com ella diante d'uma linha, chamada *linha de fé*, cuja direcção, parallelá á da quilha do navio, é indicada por dois pontos marcados na caixa. Para dirigir o navio, procura-se primeiro n'uma carta qual o rumo que se deve seguir, e move-se o leme de maneira a que a *linha de fé* faça com a agulha um angulo que se obtem sommando ou subtraindo do rumo o valor da declinação, conforme esta fôr occidental ou oriental.

513. BUSSOLA D'INCLINAÇÃO. — Esta bussola compõe-se

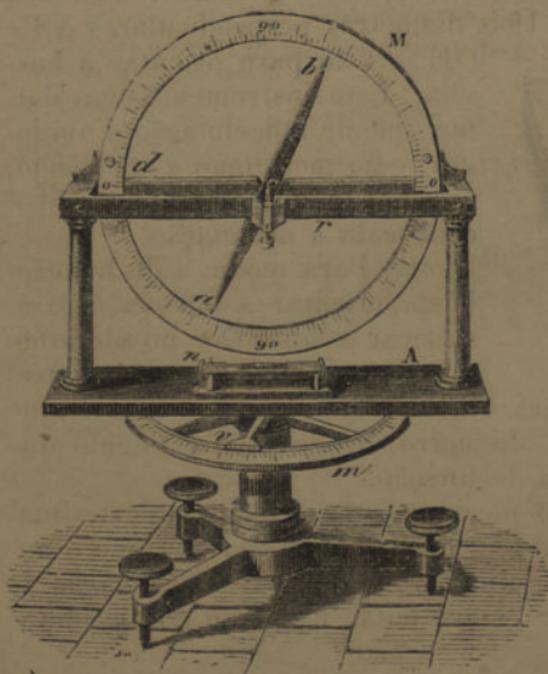


Fig. 179

essencialmente d'um circulo vertical de cobre M, cujo limbo é graduado, e no centro do qual existe um eixo horizontal que sustenta a agulha *ab* pelo seu centro de gravidade. Este circulo move-se sobre um outro horizontal que serve para dar posição ao primeiro e permite collocar-o no plano do meridiano magnetico.

514. VARIAÇÕES DA DECLINAÇÃO E DA INCLINAÇÃO. — A *declinação* varia, segundo os diferentes logares da terra,

com a latitude e a longitude; mas, n'um mesmo logar, se apresentam notaveis variações que podem ser regulares ou irregulares.

As regulares dividem-se em *seculares* quando são no mesmo sentido durante muitos annos, e *periodicas* quando se dão em sentidos contrarios durante o espaço d'um anno ou d'um dia, recebendo o nome de *annuaes* e *diurnas*.

Em cada logar da terra a agulha oscilla para cada lado da linha norte sul, de modo que, apresentando durante muitos annos uma declinação oriental, passa a tel-a occidental durante outro periodo. Actualmente a declinação em Portugal é occidental.

As variações periodicas consistem em pequenas oscillações da agulha, apresentadas durante o anno ou no espaço d'um dia, e dependentes, ao que parece, da marcha apparente do sol. As diurnas são mais apparentes do que as annuaes.

As variações irregulares ou perturbações são desvios accidentaes da agulha, apresentados simultaneamente em muitos logares da terra, durante as tempestades e acompanhadas geralmente nas altas latitudes de *auroras polares*.

A inclinação tambem varia de logar para logar, segundo uma lei que não está bem determinada. No nosso hemispherio é a metade austral da agulha que fica para baixo do horisonte; nas visinhanças do polo norte encontram-se pontos em que a inclinação é de  $90^\circ$ ; no equador ha logares que não teem inclinação, etc.

N'um mesmo logar se dão variações da inclinação. Em 1671, era em Paris de  $75^\circ$ ; hoje é de  $65^\circ$ . Ha vinte e cinco annos diminue  $3\frac{3}{8}''$  por anno.

#### 515. AGULHAS ASTATICAS. — Para algumas experiencias

de physica necessitam-se agulhas magneticas subtraídas á acção directriz da terra. Consegue-se isto, associando duas agulhas das mesmas dimensões e força, de maneira que os polos contrarios se correspondam. Uma agulha movel em torno d'um eixo collocado no plano do meridiano magnetico e paralelo á agulha d'inclinação é tambem astatica, porque a terra não póde dar-lhe movimento em torno d'aquelle eixo.

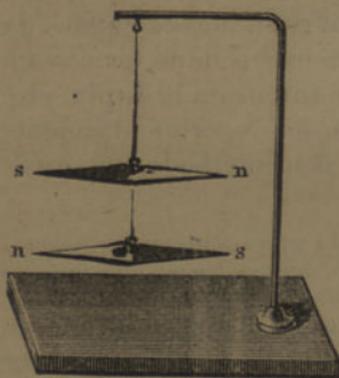


Fig. 180

## CAPITULO III

Leis das attracções e repulsões magneticas  
— Processos de magnetisação

Leis das attracções e repulsões magneticas; sua demonstração pelos methodos da balança de torsão e das oscillações — Processos de magnetisação. Armaduras e feixes magneticos.

516. LEIS DAS ATTRACÇÕES E REPULSÕES MAGNETICAS.— Os phenomenos d'attracção e repulsão magneticas estão sujeitos a duas leis, descobertas por Coulomb, que se podem enunciar assim:

1.<sup>o</sup> *Dois polos magneticos attraem-se ou repellem-se na razão inversa do quadrado das distancias.*

2.<sup>o</sup> *A attracção ou repulsão dá-se na razão do producto das suas massas magneticas.*

Coulomb referia as intensidades magneticas á acção do magnetismo terrestre. Dois polos tinham a mesma intensidade ou massa magnetica quando soffriam acções eguaes da parte da terra; dois polos da mesma intensidade formavam pela sua reunião um polo de massa ou intensidade dupla, etc.

As leis de Coulomb demonstram-se experimentalmente por meio da balança de torsão e pelo methodo das oscillações.

1.<sup>o</sup> *Methodo da balança de torsão.* Já precedentemente descrevemos este apparelho (442). Applicado á demonstração das leis do magnetismo, soffre pequenas modificações. Assim em vez do disco d'ouropel que está suspenso do fio, ha uma agulha magnetica, e em logar do conductor que se introduz dentro da caixa servimo-nos d'uma barra fortemente magnetisada.

Para usarmos d'este instrumento, começa-se por orientar a caixa, de modo que o fio que supporta a agulha e o zero marcado na tira de papel que se acha collada em torno da caixa estejam no meridiano magnetico. Feito isto, retira-se a agulha da chapa em fórma d'estribo em que assenta, e substitue-se por uma agulha semelhante de cobre, fazendo girar o tambor, de modo a que o fio não experimente alguma torsão. Substitue-se então novamente a agulha de cobre pela d'aço que fica no plano do meridiano magnetico, sem torsão alguma da parte do fio.

Introduz-se depois na balança uma barra magnetisada e dispõe-se de modo que um dos seus polos vá occupar dentro da caixa

o mesmo logar do polo do mesmo nome da barra movel. Ha então repulsão até uma distancia variavel com a intensidade do magnetismo da barra, o que demonstra a 2.<sup>a</sup> lei.

2.<sup>o</sup> *Methodo das oscillações.* Se tivermos uma agulha magnetica collocada em equilibrio no plano do meridiano magnetico e a uma certa distancia uma longa barra magnetisada, de maneira que um dos polos da barra esteja no mesmo plano horizontal que a agulha, se a desviarmos da sua posição d'equilibrio, descreve uma serie d'oscillações que se podem comparar ás do pendulo. Comparando a duração das oscillações a uma distancia  $d$  e depois a uma outra distancia  $d'$  reconhece-se que ellas estão na razão do quadrado dos intervallos que separam a agulha da barra magnetisada, o que demonstra á 1.<sup>a</sup> lei.

517. PROCESSOS DE MAGNETISAÇÃO. — A magnetisação faz-se por tres meios differentes: pela acção dos magnetes, pela influencia da terra e pela das correntes electricas. O primeiro e terceiro são os unicos praticos: nós por emquanto apenas estudaremos o primeiro.

518. MAGNETISAÇÃO PELOS MAGNETES. — A magnetisação por meio dos imans póde fazer-se por tres modos: pelo *toque simples*, pelo *toque separado* e pelo *toque duplo*.

1.<sup>o</sup> *Magnetisação pelo toque simples.* Consiste este processo em friccionar repetidas vezes a barra que se quer magnetisar, com o polo d'um iman d'um a outro extremo. Este methodo apenas convem quando se querem magnetisar agulhas ou pequenas barras; tem, demais, o inconveniente de dar logar a pontos consequentes e não poder communicar grande força magnetica.

2.<sup>o</sup> *Magnetisação pelo toque duplo.* Para magnetisar por este processo, começa-se por apoiar as extremidades da barra sobre os polos oppostos de dois fortes magnetes. Depois collocam-se, sobre o meio, outros imans com os polos oppostos e fazendo angulos de  $25^\circ$  com a barra que se fricciona com elles desde o meio até á extremidade, repetindo-se a operação frequentes vezes. Os polos em relação com as metades da barra devem ser do mesmo nome d'aquelles sobre que assentam.

Comquanto seja este o meio mais poderoso de magnetisação, tem, todavia, o inconveniente de dar origem algumas vezes a pontos consequentes.

3.º *Methodo do toque separado.* Começa-se n'este processo por collocar a agulha do mesmo modo que precedentemente sobre os polos oppostos de duas barras magneticas.

Tomam-se depois dois magnetes d'egual força que se collocam ainda da mesma maneira com os polos oppostos no meio da barra a magnetisar, fazendo com ella um angulo de 25º. Feito isto, affastam-se os magnetes até á extremidade, levantam-se e tornam-se a applicar no centro, repetindo-se esta operação frequentes vezes. D'esta maneira se consegue uma magnetisação muito regular, não se produzindo pontos consequentes.

519. ARMADURAS DOS MAGNETES. — Todas as vezes que uma barra magnetisada até á saturação é abandonada a si mesma, perde mais ou menos rapidamente esta propriedade. Para evitar este inconveniente, põem-se-lhe as duas extremidades em relação com peças de ferro macio que, sollicitando a acção magnetica, a impedem d'enfraquecer. Dá-se o nome de *armaduras dos magnetes* a estas peças de ferro.

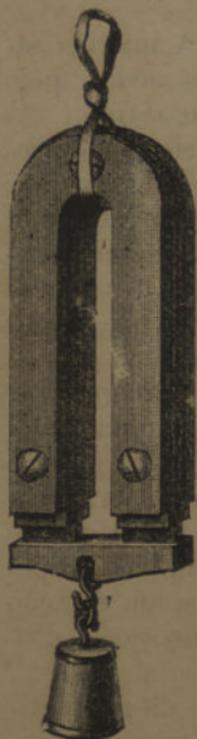


Fig. 181

520. FEIXES MAGNETICOS. — Quando maior volume tiver um magnete maior tambem é a sua força, mas proporcionalmente, os pequenos magnetes teem maior intensidade. D'aqui veio a ideia de os associar, reunindo-os de maneira que os polos do mesmo nome fiquem juntos.

E' essa associação de barras magneticas que recebeu o nome de *feixe magnetico*. Recentemente Jamin conseguiu formar assim magnetes que teem uma força realmente excepcional, podendo levantar um peso dez vezes superior ao seu.

Dá-se muita vez aos magnetes a fórma de ferradura, duplicando assim a attracção e facilitando o augmento do magnetismo pela acção d'um polo sobre o outro.

# LIVRO UNDECIMO

## ELECTRICIDADE DYNAMICA

### CAPITULO I

#### Galvanismo. Pilha de Volta

Descoberta de Galvani. Experiencias de Volta. Descripção e theoria da pilha voltaica. Pilha em actividade: circuito e direcção da corrente. Principaes modificações da pilha de Volta. Enfraquecimento da corrente.

521. EXPERIENCIA DE GALVANI. — Galvani, professor d'anatomia em Bolonha, havendo preparado algumas rãs, e tendo-as suspendido a uma varanda de ferro, por intermedio de ganchos de cobre, passados entre a columna vertebral e os nervos lombares, notou que ellas se agitavam em motos convulsivos todas as vezes que os membros dissecados tocavam o ferro da varanda. Este factó singularissimo impressionou o professor bolonhez, e, tratando de o estudar bem, conseguiu reproduzil-o por um processo muito mais simples. Tomou um arco metallico feito de cobre e zinco, e introduziu um dos ramos entre a columna vertebral e os nervos lombares d'uma rã, recentemente morta, cortada pelo meio do corpo. Tocando com a outra extremidade do arco os musculos da perna ou da coxa, immediatamente viu manifestarem-se as convulsões de que fallamos (fig. 182).

Galvani, para explicar o phenomeno, admittiu a existencia d'um fluido vital inherente ao organismo e analogo á electricidade. Assimilhou os animaes a garrafas de Leyde, cujas armaduras eram formadas pelos nervos e musculos, e cuja descarga se operava logo que se reuniam uns aos outros por intermedio d'um arco conductor. Este fluido recebeu então o nome de *electricidade animal* ou *fluido gal-*

vanico. Posteriormente deu-se o nome de *galvanismo* á parte da electricidade que teve por ponto de partida a

celebrada experiencia do professor bolonhez.

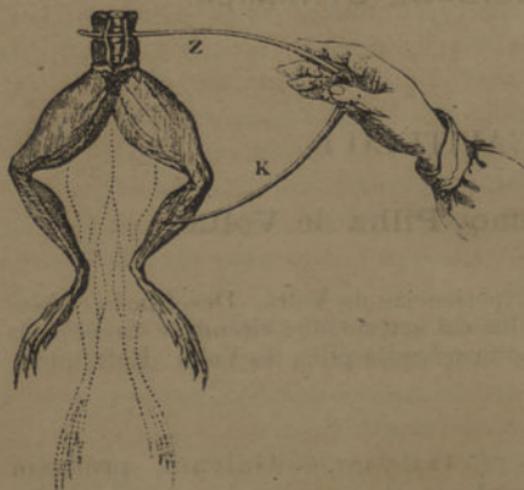


Fig. 182

A theoria de Galvani foi bem acceteite por todos, á excepção de Volta que não viu nos factos apontados mais do que uma questão de desenvolvimento de electricidade pelo contacto de dois metaes diferentes. Enganava-se, visto que os metaes não são indispensaveis á produção do phenom-

no; foi todavia d'este engano que resultou para a sciencia uma grande conquista: a descoberta das pilhas.

522. EXPERIENCIAS DE VOLTA. — Volta, para demonstrar que effectivamente o facto era devido ao contacto de dois metaes, fez varias experiencias por meio d'un rectangulo formado pela soldadura de duas laminas, uma de cobre e outra de zinco, e admitiu que o contacto de dois corpos heterogeneos originava uma *força electro-motriz* que decompunha o fluido neutro dos corpos, ficando um com a electricidade positiva e outro com a negativa. Generalisada a todos os corpos, eram todavia o zinco e cobre aquelles que apresentavam esta propriedade em maior grau.

Está todavia demonstrado hoje que, ao inverso do que Volta suppunha, o contacto dos liquidos com os metaes e a sua acção chimica sobre elles são as principaes origens d'electricidade dinamica, succedendo que dois corpos solidos em presença um do outro, poderão estar assim eterna-

mente, sem darem logar ao desenvolvimento d'electricidade.

523. PILHA DE VOLTA. — Desejando tornar bem evidente a sua theoria, Volta imaginou um instrumento verdadeiramente notavel, cuja descoberta marca um passo agigantado na historia da physica, a *pilha de Volta*, tambem chamada *pilha de columna*. E' composta d'uma serie de discos metallicos, cada um dos quaes se compõe d'uma lamina de zinco e de cobre, a que Volta deu o nome de pares ou elementos, sobrepostos e separados por discos de cartão embebidos d'agua acidulada.

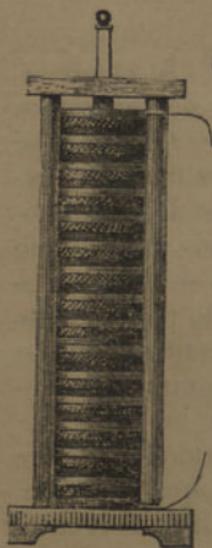


Fig. 183

Eis a maneira como funciona o apparelho: a acção chimica da agua acidulada sobre o zinco electriza o metal negativamente, ao passo que a agua que embebe o disco de cartão se carrega de fluido positivo. Supponhamos a pilha isolada com a extremidade zinco para cima e vejamos o

que se passa nos pares extremos.

O disco de cobre do par superior rouba á rodela de cartão a electricidade que elle tem e transmite-a ao zinco que fórma assim o polo positivo da pilha.

Ao mesmo tempo, o ultimo disco de zinco, electrizado negativamente pela acção da agua acidulada que lhe está immediatamente superior, transmite a sua electricidade á ultima lamina do cobre que a recebe e fórma assim o polo negativo da pilha.

Os mesmos phenomenos se passam em todos os pares, de modo que os fluidos separados vêm accumular-se nas duas extremidades da pilha, o fluido positivo na extremidade zinco e o negativo na extremidade cobre.

524. TENSÃO DA PILHA. — O esforço que as electricidades fazem nos extremos da pilha para se separarem d'ella chama-se *tensão da pilha* e depende do numero de pares

sem que lhe seja rigorosamente proporcional. E' preciso não confundir a *tensão* com a *quantidade* d'electricidade; este é, em egualdade de condições, proporcional á superficie dos *pares* ou *elementos*. Adiante nos referiremos mais detidamente a este objecto.

525. POLOS E REOPHOROS. CORRENTES. — A electricidade desenvolvida n'uma pilha accumula-se nos extremos que por esse motivo recebem o nome de *polos*. Chamam-se *reophoros* ou *fios conductores* os fios metallicos fixos aos extremos das pilhas. Quando se aproximam os dois reophoros, obtem-se sempre uma faisca mais ou menos viva, o que prova que a *acção da pilha é continua*. Se se reúnem os fios, de modo a estabelecer uma communicação permanente entre os dois polos, dá-se uma recomposição continuada dos fluidos que a pilha põe em liberdade. Este movimento continuado recebeu o nome de *corrente electrica*.

E' de crêr que a recomposição dos fluidos se opere egualmente d'um polo a outro, e que o fio que faz communicar os dois polos seja atravessado por duas correntes em sentido contrario, uma do polo positivo para o negativo e outra d'este para aquelle. O mesmo se deve dar na propria pilha, mas acordou-se em não considerar no fio conductor senão na corrente do polo positivo para o negativo, emquanto que a corrente negativa atravessaria a pilha de modo a dirigir-se do polo negativo ao positivo.

526. MODIFICAÇÕES DA PILHA VOLTAICA. — A pilha voltaica tem o inconveniente de não conservar por muito tempo a sua conductibilidade. O peso dos discos metallicos, comprimindo as rodellas humidas, espreme o liquido que se escôa, estabelecendo correntes secundarias que prejudicam a corrente principal, em virtude d'uma recomposição parcial d'electricidade. Note-se tambem que as rodellas seccam promptamente, o que estorva a acção chimica a que é devida a producção d'electricidade. Para obviar a estes inconvenientes, inventaram-se duas modificações da pilha de Volta, a *pilha de tina* e a *pilha de Wollaston*.

1.º *Pilha de tina.* Esta pilha (fig. 184), que não é mais do que uma pilha de columna disposta horisontalmente, é formada por uma caixa rectangular de madeira, coberta interiormente d'um verniz isolador, e dividida n'um grande numero de compartimentos por meio de placas de cobre e zinco soldadas intimamente, formando cada lamina de cobre reunida á correspondente de zinco, um elemento. Nos compartimentos lança-se agua acidulada com acido sulfurico, liquido que substitue as rodelas de panno humido da pilha de Volta.

Duas laminas de cobre, tendo cada uma um fio metalico, mergulham nos ultimos compartimentos da pilha e servem para fazer communicar os dois polos.

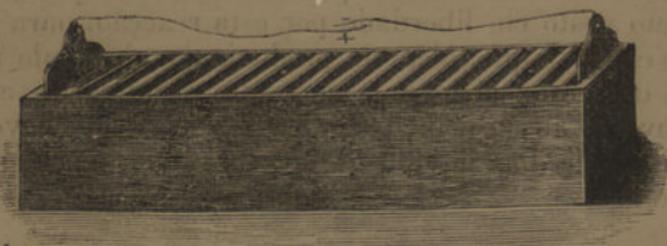


Fig. 184

2.º *Pilha de Wollaston.* A pilha de Wollaston apresenta uma disposição especial da parte dos seus elementos. O primeiro par é formado d'uma lamina de cobre recurvada em angulo recto, sendo a sua parte horisontal fixa a uma travessa de madeira, ligada a dois supportes, ao passo que a parte vertical se solda a uma larga placa de cobre. No seguinte elemento, a lamina de cobre é tres vezes curvada, envolvendo primeiro sem lhe tocar a lamina de zinco, fixando-se depois horisontalmente na travessa de madeira e tendo em seguida uma parte vertical soldada a uma segunda placa de zinco. Os outros elementos são dispostos pela mesma maneira. Por baixo d'estes elementos estão collocados bocaes de vidro em que se lança agua acidulada com acido sulfurico. Para fazer funcção a pilha, basta abaixar a travessa de madeira, de modo que os

elementos mergulhem dentro da agua acidulada. A primeira lamina de cobre, soldada a outra de zinco, representa o polo negativo, ao passo que a ultima que se não acha ligada a zinco nenhum, representa o polo positivo.

Munch, professor de physica em Strasburgo, simplificou esta pilha, substituindo os copos de vidro por uma tina de madeira, envernizada internamente, em que se fazem mergulhar todos os elementos.

527. ENFRAQUECIMENTO DA CORRENTE.— Nas pilhas voltaicas a corrente enfraquece bastante rapidamente. Este phenomeno é devido principalmente a duas causas: por um lado á neutralisação d'uma parte do acido sulfurico pela sua acção sobre o zinco, e por outro ao transporte do hydrogenio posto em liberdade por esta reacção, para as placas de cobre, o que, além de produzir um obstaculo mechnico á corrente, dá logar a correntes secundarias em sentido inverso ao da principal. Obvia-se a este inconveniente nas pilhas de dois liquidos de que passamos a occupar-nos.

## CAPITULO II

### Pilhas de corrente constante

Pilhas de dois liquidos. Theoria chimica das pilhas. Polarisação dos electrodos. Função do corpo despolarisante nas pilhas de corrente constante. Vantagens do emprego do zinco amalgamado.

528. ELECTRICIDADE DESENVOLVIDA NAS ACÇÕES CHIMICAS.— Já dissemos que o desenvolvimento das correntes na pilha de Volta é devido, não ao simples contacto dos metaes, como julgava aquelle illustre physico, mas á *acção chimica* dos liquidos acidulados sobre os metaes.

Se fizermos communicar com um galvanometro, aparelho destinado á medição das correntes que brevemente descreveremos, dois fios de platina que introduzamos em

acido azotico, não se percebe nenhum movimento da agulha do instrumento, porquanto aquelle acido não tem acção sobre o metal. Se, porém, lançarmos n'um dos fios uma gotta d'acido chlorhydrico, immediatamente a agulha se desvia um certo numero de gráus, o que indica a producção d'uma corrente electrica, resultante da acção chimica exercida pelos acidos reunidos sobre a platina.

Em todas as acções chimicas, taes como a oxydação, a acção dos acidos sobre os metaes, duplas decomposições, etc., se dá logar ao desenvolvimento de correntes electricas.

529. LEIS DO DESENVOLVIMENTO DA ELECTRICIDADE NAS ACCÕES CHIMICAS.— O desenvolvimento das correntes electricas nas acções chimicas está sujeito a cinco leis, descobertas por Becquerel e la Rive.

1.º Quando o oxygenio se combina com outro corpo, electriza-se positivamente, ao passo que o corpo combustivel se carrega d'electricidade negativa.

2.º Quando um acido se combina com um metal, o acido carrega-se d'electricidade positiva, e o metal d'electricidade negativa.

3.º Quando um acido actua sobre uma base, o acido electriza-se positivamente e a base negativamente.

4.º Nas decomposições, os phenomenos chimicos são inversos dos precedentes.

5.º Nas duplas decomposições, não é perturbado o equilibrio das forças electricas.

530. THEORIA CHIMICA DA PILHA.— Já precedentemente apresentamos a theoria chimica da pilha de Volta; isso permittirá sermos agora menos desenvolvidos. Em ultima analyse, a pilha de Volta reduz-se a duas laminas, uma de cobre e outra de zinco, mergulhadas em agua acidulada. A reacção d'esta sobre o zinco dá origem a uma força que electriza este metal negativamente, ficando a agua electrisada positivamente. Como o cobre é sensivelmente inatacavel pelo acido sulfurico diluido, só serve para receber como conductor que é, a electricidade positiva do liquido. Se as laminas se não acham reunidas por meio d'um rheophoro, as cargas respectivas augmentam até que a differença de potenciaes faz equilibrio á força electromotriz desenvolvida pela acção chimica, que n'estas circumstancias deixa de se dar. Logo que estejam reunidas

por um conductor, as duas electricidades tornam a combinar-se, continuando a dar-se a acção chimica, e a força electro-motriz re-produz uma nova quantidade d'electricidade. D'ahi resulta uma corrente continua que vae do cobre ao zinco, no *exterior do elemento* e inversamente no *interior*.

O polo positivo corresponde pois ao cobre que é sensivelmente *inactivo* e o negativo ao metal *activo*. Se ambos os metaes são atacaveis, o polo positivo corresponde ao menos atacavel, sendo a força electro-motriz real a differença das que se produzem nos elementos d'um par. E' pois conveniente que, sendo um dos elementos muito atacavel, o outro o seja muito pouco, e tal é a razão porque se substitue em algumas pilhas o cobre pela platina ou pelo coke calcinado.

531. POLARISAÇÃO DA PILHA. CORPO DESPOLORISANTE. — Dissemos precedentemente que a intensidade da corrente na pilha de Volta ia enfraquecendo, sendo uma das causas a formação de correntes secundarias, devida ao transporte do hydrogenio. A esta formação de correntes secundarias chama-se *polarisação da pilha*.

Para remedear este inconveniente, alguns physicos tiveram a ideia de construir pilhas com dois liquidos differentes, um dos quaes tenha em suspensão ou dissolução um corpo oxygenado de facil decomposição, de modo que o oxygenio se apodere do hydrogenio para refazer a agua. A esse corpo dá-se o nome de *corpo despolorisante*. Qualquer que seja, sulfato de cobre, bi-chromato de potassa, bioxydo de manganez, etc., o seu modo de funcionar é exactamente o mesmo.

532. PILHAS DE CORRENTE CONSTANTE. — Chamam-se *pilhas de corrente constante* aquellas em que se empregam dois liquidos, porquanto conservam por muito tempo a sua energia, sendo por isso hoje quasi exclusivamente empregadas. As principaes são as de Daniell, de Bunsen, e a de Leclanché.

533. PILHA DE DANIELL. — Cada um dos elementos da pilha de Daniell (fig. 185), compõe-se d'um vaso de vidro ou louça V, contendo uma dissolução de sulfato de cobre, onde mergulha um cylindro de cobre C, crivado de buracos, e gurnecido superiormente d'uma galeria circular, tambem atravessada por numerosos buracos e contendo alguns crystaes do mesmo sal. Dentro d'este cylindro introduz-se um outro vaso poroso de barro T, cheio d'agua acidulada com acido sulfurico, no interior do qual ainda é introduzido um outro cylindro de zinco Z aberto nas suas duas extremida-

des e amalgamado. Finalmente, aos dois metaes — cobre e zinco — estão presos dois fios de cobre que constituem os reophoros.

*Acção da pilha de Daniell.* Enquanto os fios conductores não communicam, a pilha está inactiva. Logo, porém, que se estabelece a comunicação, observa-se uma corrente que pôde durar muito tempo. Eis em poucas palavras o que se passa: o acido ataca o zinco que se electriza *negativamente*, ao passo que a agua acidulada fica electrizada *positivamente*. O hydrogenio nascente, atravessando o vaso poroso, vaé atacar o sulfato de cobre que decompõe, para formar de novo a agua, em acido sulfurico e cobre metallico. Este cãrrega-se de *electricidade positiva* que transmite ao cylindro de cobre C sobre o qual se deposita. Assim vaé enfraquecendo a dissolução de sulfato de cobre, mas os crystaes collocados na galeria vão-n'a regenerando.



Fig. 185

534. PILHA DA BUNSEN. — Cada um dos elementos

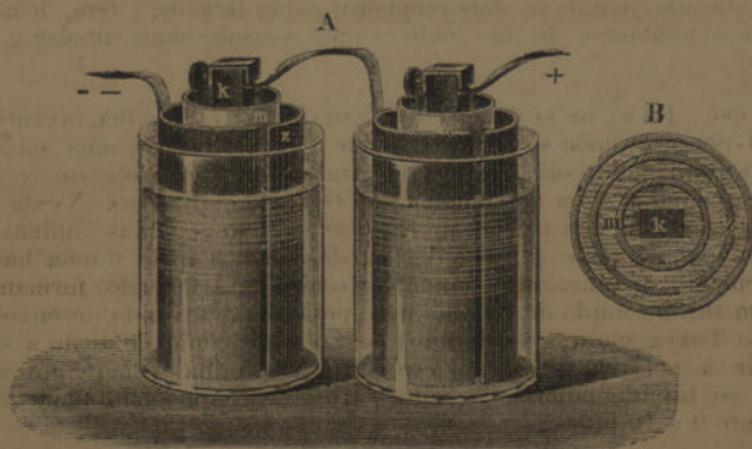


Fig. 186

d'esta pilha, tambem chamada *de carvão*, compõe-se d'um vaso exterior de barro ou vidro, no qual entra um cylindro de zinco amalgamado *z*. Dentro d'este é introduzido um outro vaso de barro poroso *m* que recebe no seu interior um cylindro de carvão *k*. Nos cylindros de carvão e de zinco estão presos dois fios de metal, que são os reophoros. Lança-se no vaso exterior que contem o zinco, agua, contendo um decimo d'acido sulfurico, e no interior, em que está o carvão, acido azotico ordinario.

*Acção da pilha de Bunsen.* A acção d'esta pilha só começa, como na de Daniell, quando os dois polos estão em communicação. O acido sulfurico ataca o zinco que fica electrificado *negativamente*, enquanto a agua fica electrificada *positivamente*, communicando este fluido ao carvão. O hydrogenio, no estado nascente, vae decompôr o acido azotico contido no vaso poroso, para o transformar em acido hypoazotico, com desenvolvimento d'electricidade *positiva* que se propaga tambem ao carvão.

535. VANTAGENS DO ZINCO AMALGAMADO. — O zinco perfeitamente puro não é atacado pelo acido sulfurico, mas com o do commercio, empregado nas pilhas de Daniell e Bunsen, a reacção é rapida e viva. Ora o zinco do commercio pôde deixar de se consumir rapidamente, quando seja amalgamado, isto é, combinado á superficie com uma pequena quantidade de mercurio. N'estas condições o zinco só é atacado quando os dois reophoros estão ligados, e tem, demais, ainda a vantagem de dar logar a uma corrente mais intensa e regular.

536. PILHA DE BI-CHROMATO DE POTASSA. — Esta pilha, inventada por Grenet, compõe-se d'um balão de vidro, contendo uma solução de 50 grammas de bi-chromato de potassa (*corpo despolarisante*) em 900 grammas d'agua acidulada com 50 d'acido sulfurico. N'esta solução, mergulha um prisma de carvão, cercado por duas laminas de zinco, que se pôde fazer subir ou descer por meio d'uma haste. O elemento só funciona quando o circuito está fechado, formando-se um sulfato duplo de chromo e de potassio, e havendo desenvolvimento d'oxygenio que se combina com o hydrogenio de modo a supprimir a polarisação dos electrodos. Esta pilha, comquanto seja d'um só liquido polarisa-se muito lentamente, podendo funcionar durante 9 a 10 horas.

537. PILHA LECLANCHÉ. — Compõe-se esta pilha d'uma lamina

de zinco que mergulha n'uma solução de chloreto d'ammonio, e d'um prisma de carvão analogo ao da pilha de Bunsen. Este prisma está encerrado n'um vaso poroso cheio de fragmentos de coque e de bioxydo de manganez. Logo que se fecha o circuito, reunindo por um fio conductor o zinco ao carvão, o chloreto d'ammonio, em presença do zinco, é decomposto, para se formar chloreto de zinco, ficando livre o ammoniaco e o hydrogenio. Este dirige-se para o carvão onde encontra o bioxydo de manganez, que é o corpo *despolarisante* e vae-o reduzindo a um grau d'oxydção menor, com formação da agua. D'estas acções chimicas resulta electrizar-se o zinco negativamente e o carvão positivamente.

Esta pilha é hoje muito empregada, visto que póde funcionar seis mezes successivos sem que seja necessario mecher-lhe.

### CAPITULO III

#### Grandezas electricas. Associação dos elementos

Força electro-motriz (diferença de potencial), tensão e quantidade d'electricidade. Intensidade da corrente. Resistencia do circuito. Lei de Ohm. Unidades electricas: *Ohm, Volt, Ampère*. Resistencias especificas dos corpos mais empregados. Diferentes meios de dispôr os elementos d'uma pilha, em tensão, ou em quantidade.

538. TENSÃO E FORÇA ELECTRO-MOTRIZ.— Se tomarmos um elemento da pilha de Volta e o mergulharmos em agua acidulada, a lamina de zinco carregar-se-ha d'electricidade negativa e a de cobre d'electricidade positiva que tenderão a reunir-se, a desenvolver-se. Este estado particular, esta tendencia que a electricidade tem para se escapar para fóra do seu gerador é o que se chama *tensão electrica* ou *potencial*.

Se se representar por  $+$  e o potencial positivo e por  $-$  e o negativo, a diferença  $2e$  representa a *força electro-motriz*, sob influencia da qual se estabelecerá a corrente logo que estejam reunidos os polos da pilha.

Esta força electro-motriz que, n'um elemento de pilha, representa o valor effectivo da tensão depende *unicamente*

da intensidade das acções químicas que se dão entre as substancias de que ella é composta, e é a mesma para cada elemento, sejam quaes forem as suas dimensões.

539. QUANTIDADE D'ELECTRICIDADE. — A quantidade d'electricidade exprime a massa ou volume que n'um tempo determinado pôde fornecer uma pilha. Contrariamente ao que succede com a tensão, que é a mesma para uma mesma pilha, a quantidade d'electricidade *varia com as suas dimensões* ou melhor com a extensão das superficies, sobre as quaes se dá a acção chimica. Uma pilha cinco vezes maior em superficie do que outra do mesmo typo, produz no mesmo tempo cinco vezes mais electricidade.

Alguns phenomenos physicos de natureza differente prestam-se a fazer comprehender bem, por analogia, o valor das duas palavras: *tensão e quantidade*.

1.º Vimos, por exemplo, na hydrostatica, que em dois vasos communicantes, cheios de liquido, ainda que um seja de dimensões gigantescas e outro muito exiguo, não ha corrente alguma d'um para outro. A pressão do liquido, a sua tendencia para escapar, o que para frisar a analogia poderíamos chamar a sua *tensão* é a mesma em dois pontos quaesquer dos dois vasos situados na mesma camada horizontal. Se dermos saída ao liquido, a sua quantidade só influirá na duração do escoamento.

2.º Se introduzirmos um thermometro dentro d'um vaso em que haja um litro d'agua, e depois n'outro que comporte mil litros á mesma temperatura, o thermometro elevar-se-ha o mesmo numero de graus. Se podessemos empregar essa palavra, a *tensão* do calor era egual de parte a parte. Só a quantidade era differente, visto que, em egualdade de temperatura, é proporcional á massa do liquido, da mesma maneira que a quantidade d'electricidade é proporcional á extensão das superficies activas da pilha.

As noções de tensão e quantidade não são simples curiosidades scientificas, mas teem na pratica grande utilidade. Como veremos dentro em breve, a intensidade das correntes electricas e os effeitos que produzem variam com a tensão e a quantidade da electricidade produzida pelos differentes geradores.

Assim os effeitos mechanicos e chimicos são principalmente dependentes da tensão; os effeitos calorificos e luminosos derivam principalmente da quantidade; e, quanto aos effeitos physiologicos, a tensão é sobretudo o excitante directo do systema nervoso, ao passo que a quantidade põe em exercicio especialmente a contracção muscular.

540. CORRENTES ELECTRICAS. — A corrente electrica compre-

hende, como dissemos, um transporte d'electricidade do polo positivo ao negativo, exteriormente, e do polo negativo ao positivo, no interior da pilha. No funcionamento da pilha só se aproveita a parte externa da corrente e é a essa que nos referimos. Chama-se *circuito* ao conjuncto formado pela pilha e pelos conductores interpolares; diz-se que está aberto, quando entre os conductores ha um espaço bastante grande para que esteja interrompida a communicacão d'um para outro. N'estas condições não se manifestam effeitos alguns, e só se produzirão quando de novo se ponham em contacto as duas partes separadas do conductor, ao que se chama *fechar o circuito*.

541. INTENSIDADE DAS CORRENTES. — A intensidade d'uma corrente está subordinada á *quantidade d'electricidade*, que passa n'um segundo por *uma secção transversal considerada n'um ponto qualquer do conductor interpolar*.

Demonstra-se isto por meio d'uma singela experiencia devida a Faraday. Reunem-se os polos d'uma pilha por um conductor que se divide em dois ramos do mesmo diametro e do mesmo comprimento. N'um ponto qualquer do conductor, antes da divisão está intercalado um *voltmetro*, apparelho que em breve descreveremos e que serve para a medição das correntes, estando collocado no trajecto dos ramos de divisão outros dois instrumentos analogos. Reconhece-se que a quantidade d'oxygenio fornecido pelos voltmetros collocados nas divisões é a mesma n'um e outro, e que a somma dos volumes d'estes gazes é igual ao produzido pelo voltmetro que está collocado no trajecto da corrente, antes da divisão. Prova isto que a intensidade da corrente no conductor não dividido é dupla da que tem em cada um dos ramos de bifurcação, onde effectivamente só passa metade da corrente total.

542. LEIS DA INTENSIDADE DA CORRENTE. RESISTENCIA. — Já vimos que a quantidade d'electricidade que póde produzir uma pilha é proporcional á extensão das superficies activas; mas o *dispendio*, a quantidade que em cada instante passa no circuito, unico facto de que depende a intensidade da corrente, acha-se subordinada a duas outras condições: a *força electro-motriz*, com a qual a electricidade tende a escapar-se e a *resistencia total* do circuito, isto é, a resistencia que o conductor e a propria pilha offerecem á passagem da electricidade. Succede aqui o mesmo que na hydro-dynamica, em que o volume d'agua a que um tubo dá vasão está subordinado á pressão que impelle o liquido para o exterior e á resistencia que lhe oppõem as paredes d'esse tubo.

Demonstra o calculo e a experiencia que a intensidade das correntes geradas pela pilha, ou por qualquer outro gerador, está sujeita ás duas leis seguintes:

- 1.º *A intensidade d'uma corrente é directamente proporcional á força electro-motriz da pilha;*
- 2.º *E' inversamente proporcional á resistencia total do circuito.*

A *força electro-motriz* depende exclusivamente, como dissemos, da sua actividade chimica.

A *resistencia da pilha* varia na razão inversa da extensão das superficies, do gráu de conductibilidade do liquido empregado, e directa do afastamento d'essas mesmas superficies, isto é, da camada de liquido que as separa.

A *resistencia do conductor* é proporcional ao seu comprimento e está na razão inversa da sua secção transversal e da sua conductibilidade. Será tanto maior quanto mais comprido e fino fôr o fio interpolar; e tanto mais pequena quanto mais curto, mais grosso e melhor conductor fôr o mesmo fio.

543. FORMULA D'OHM.—Resumindo o que levamos dito, se tivermos um elemento de pilha funcionando com um circuito d'um certo comprimento, estabelecer-se-ha uma corrente sob influencia da força electro-motriz desenvolvida pela acção chimica d'este elemento. A intensidade d'essa corrente dependerá ao mesmo tempo d'essa mesma força electro-motriz e da resistencia total do circuito (pilha e conductor).

Se designarmos por *I* a intensidade da corrente, isto é, a quantidade d'electricidade que passa na unidade de tempo, por *E* a força electro-motriz e por *R* a resistencia do circuito, estas tres quantidades estarão relacionadas entre si pela seguinte formula devida a Ohm:

$$I = \frac{E}{R}$$

o que quer dizer que a intensidade augmenta, como já vimos, proporcionalmente á força electro-motriz do gerador e diminue proporcionalmente á resistencia do circuito.

544. UNIDADES ELECTRICAS.—Das tres quantidades relacionadas entre si pela formula d'Ohm é muito facil, por meio d'um calculo simplicissimo, determinar uma d'ellas quando as outras duas sejam conhecidas. Mas a avaliação numerica de cada uma exige a adopção d'uma unidade a que possa ser referida. D'ahi o estabelecimento de tres unidades electricas, a *unidade de força electro-motriz*, a *unidade de resistencia*, e a *unidade d'intensidade*.

545. UNIDADE DE FORÇA ELECTRO-MOTRIZ.—Esta unidade tem o nome de VOLT, em homenagem a Volta, e é representada pela força electro-motriz d'um elemento de Daniell, em que a solução de sulfato de cobre é substituida por outra d'azotato de cobre, o que determina maior regularidade no desenvolvimento da força.

Tomando-se para termo de comparação o elemento de Daniell, o elemento de Bunsen é representado, em média, por 1,5 *Volts*, a de bi-chromato de potassa por 2,028 e a de Leclanché por 1,4.

546. UNIDADE DE RESISTENCIA.—Esta unidade tem o nome de *Ohm*, e é representada pela resistencia que offerece á passagem da corrente *uma columna cylindrica de mercurio, tendo 1 metro de comprimento e 1 millimetro quadrado de secção.*

A razão da preferencia dada ao mercurio é a facilidade com que se obtem perfeitamente puro e o seu estado liquido, o que lhe assegura uma constituição physica invariavel. Esta unidade representa pouco mais ou menos a resistencia d'um fio de ferro de 4 millimetros de diametro e de 100 metros de comprimento.

547. RESISTENCIAS ESPECIFICAS DOS CORPOS.—Não conduzindo os corpos egualmente a electricidade, succede que se n'uma pilha em actividade substituirmos o fio metallico por outro da mesma secção, mas de natureza differente, a intensidade da corrente terá differente valor, sendo tanto mais pequena quanto menos bom conductor fôr o corpo, ou, o que quer dizer o mesmo, quanto maior resistencia offerecer á corrente.

Comparando-se a resistencia d'um conductor, em egualdade de secção e de comprimento, com a do mercurio que se tomou por unidade, obtem-se a *resistencia especifica* d'esse corpo. O seu valor é o seguinte, nos corpos mais geralmente usados nos apparatus electricos:

|                    |       |                   |        |
|--------------------|-------|-------------------|--------|
| Mercurio . . . . . | 1,000 | Platina . . . . . | 0,095  |
| Prata . . . . .    | 0,016 | Ferro . . . . .   | 0,102  |
| Cobre . . . . .    | 0,017 | Coke . . . . .    | 43,000 |
| Zinco . . . . .    | 0,070 | Carvão . . . . .  | 66,530 |

548. UNIDADE D'INTENSIDADE.—Esta unidade que tem o nome d'*AMPERE*, deduz-se, pela formula d'Ohm, das unidades precedentes

$I = \frac{E}{R}$ . E' representada, pois, pela intensidade d'uma corrente que se mova *n'um circuito de 1 ohm com uma força electro-motriz de 1 volt.*

Esta medida tem principalmente emprego nas applicações industriaes da electricidade, taes como a illuminação e transmissão de força a distancia.

Na pratica, a medida d'estas tres quantidades faz-se por meio d'apparelhos especiaes (voltametros ou galvanometros) graduados de modo a indicarem directamente o seu valor em unidades e fracções d'essas unidades.

549. ASSOCIAÇÃO DOS ELEMENTOS DAS PILHAS.—Quando queremos obter uma tensão maior dos fluidos accumulados nos polos d'uma pilha, empregamos um maior numero d'elementos, reunindo o polo positivo d'um elemento ao nega-



Fig. 187

fazer uma associação mixta para augmentar a tensão e a quantidade d'electricidade.

tivo do outro e assim successivamente (fig. 187). Quando se quer augmentar a quantidade de electricidade, então reúnem-se uns aos outros os polos positivos e os polos negativos, pondo-se depois em communição os fios respectivos. Ainda se pôde

## CAPITULO IV

### Efeito das correntes

Efeitos das correntes: caloríficos, luminosos, chimicos e physiologicos. Electrolyse da agua, dos oxydos e dos saes. Lei de Faraday. Medição da intensidade das correntes pelo voltmetro. Acções secundarias da electrolyse. Pilhas secundarias; accumuladores. Galvanoplastia: reproduções e depositos metallicos; douradura, prateadura e nickelagem.

550. **EFFEITOS DAS CORRENTES.**— Os efeitos da electricidade dinamica são, como as da electricidade estatica, *physicos*, *chimicos* e *physiologicos*. Como se vae vêr, differem muito dos obtidos com a outra especie d'electricidade, mas não nos deve isso admirar, se attentarmos em que a descarga das machinas electricas dá logar a uma corrente instantanea, ao passo que as pilhas dão logar a correntes continuas. Nas primeiras, ha pequena quantidade d'electricidade, mas grande tensão, ao passo que nas segundas se dá o phenomeno exactamente inverso: ha grande quantidade d'electricidade mas muito pequena tensão.

551. **EFFEITOS PHYSICOS.** — Convem dividir, para facilitar o estudo, os phenomenos physicos a que dá logar a electricidade dynamica em tres cathegorias: *mechanicos*, *calorificos* e *luminosos*. Cumpre todavia notar que uns e outros se apresentam a maior parte das vezes conjunctamente.

552. **EFFEITOS MECHANICOS.** — Os efeitos mechanicos da electricidade dynamica dão-se nas decomposições chemicas, em que diversas substancias são arrastadas para um e outro polo da pilha. Todavia, as mais notaveis acções mechanicas produzidas pela electricidade dynamica são as que exercem as correntes umas sobre as outras e sobre os magnetes, e tão importantes são que formam por si só uma secção especial da electricidade dynamica, intitulada *electro-dynamica*, que pela sua excepcional importancia formará a ultima parte d'este livro.

553. **EFFEITOS CALORIFICOS.** — Todas as vezes que uma corrente electrica, sufficientemente intensa, atravessa um fio metallico, este aquece, torna-se rubro e volatilisa-se. Nenhum metal, nem mesmo a platina e o iridio, resistem a ella, e o proprio carvão, considerado infusivel, tem sido amollecido, de maneira a poderem soldar-se dois fragmentos.

Fabre demonstrou por meio de rigorosas experiencias que o calor desenvolvido pela pilha é devido ao trabalho chimico que se dá entre os seus elementos, e reconheceu que a quantidade de calor desenvolvido é proporcional á quantidade de zinco dissolvido. Isto nos explica o facto de serem tanto mais pronunciados os efeitos calorificos da pilha, quanto maior é a superficie dos elementos.

Por outro lado sabe-se que os fios metallicos da mesma secção, mas de substancias diferentes, não aquecem egualmente, quando atravessados por uma corrente d'egual intensidade, elevando-se menos a temperatura da substancia melhor conductora. Joule demonstrou que o aquecimento está na razão directa da resistencia que o fio oppõe á passagem da electricidade, o que explica o phenomeno referido.

554. CORRENTES THERMO-ELECTRICAS. — Se as correntes electricas dão logar ao desenvolvimento de calor, tambem este em certas condições produz correntes electricas que se distinguem das correntes ordinarias pela sua tensão muito mais fraca. Para se pôr bem em evidencia este facto, servimo-nos d'um pequeno aparelho composto d'uma lamina de bismutho soldada nas suas extremidades a uma lamina de cobre, duas vezes recurvada, de modo a formarem as duas um circuito, no interior do qual está collocada uma agulha magnetica. Sempre que por cima ou por baixo d'uma agulha magnetica passar uma corrente a agulha tende a pôr-se em cruz com essa corrente. Ora, collocando nós o aparelho de modo que a barra magnetica fique no plano do meridiano magnetico, e aquecendo ligeiramente uma das soldaduras vê-se immediatamente que ella se desvia da sua posição d'equilibrio, accusando a produção d'uma corrente que vae da soldadura aquecida para a soldadura fria. Se em vez de se aquecer uma das soldaduras, se arrefecer com gelo, deixando ficar a outra á temperatura ordinaria, produzir-se-ha tambem uma corrente, mas em sentido contrario da precedente. Em ambos os casos, a intensidade da corrente é proporcional á differença de temperatura das duas soldaduras.

As correntes thermo-electricas resultam da desigual propagação do calor atravez das differentes peças metallicas que formam o circuito. Demonstra-se este facto, tomando um circuito formado por um fio d'um só metal, cujas partes sejam todas homogeneas. Aquecendo-o n'um ponto qualquer, não se manifesta corrente alguma; mas, se se destruir a homogeneidade do fio, torcendo-o sobre si mesmo n'um ponto qualquer, e o aquecermos nas proximidades d'esse ponto, desenvolve-se uma corrente que vae da parte aquecida para a parte do fio torcida. A corrente é muito fraca, e é por isso que se preferem, para o desenvolvimento das correntes thermo-electricas, circuitos formados de dois metaes differentes.

555. PILHA THERMO-ELECTRICA DE MELLONI. — Esta pilha, desti-

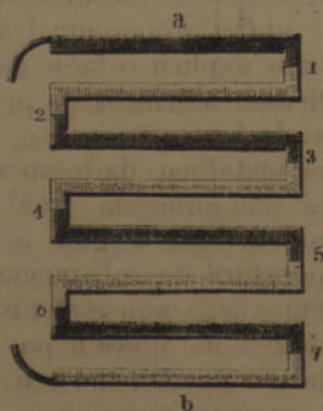


Fig. 188

nada a accumular as tensões das correntes thermo-electricas produzidas n'uma corrente formada de varios metaes, compõe-se d'uma serie de barras de bismutho e d'antimonio, indicadas na figura 188 por *a* e *b*, recurvadas de maneira que as soldaduras d'ordem par 2, 4, 6, estão voltadas para um lado e as d'ordem impar 1, 3, 5, 7 para outro.

Estas barras, cujo numero se pôde multiplicar á vontade, estão dispostas em series verticaes de quatro ou cinco elementos, e mettidas n'um estojo rectangular de cobre que só deixa visiveis, d'um e outro lado, as soldaduras impares e pares.

556. PILHA THERMO-ELECTRICA DE CLAMOND.—Clamond conseguiu formar uma pilha thermo-electrica bastante poderosa para poder servir para a illuminação electrica. Cada elemento é formado por uma barra de liga de zinco e antimonio, soldada a uma lamina de ferro, dobrada em angulo agudo para se facilitar mais a sua dilatação, e ligada por outro lado á barra do par immediato. Os elementos estão dispostos em circulo, tendo as soldaduras pares para o interior e as impares para o exterior. As correntes veem reunir-se todas em dois botões, a que estão presos os rheophoros.

A pilha consta de muitas coroas sobrepostas semelhantes, separadas por discos de amianto, apresentando a fórma d'um cylindro cuja parte central ôca é revestida da mesma substancia. Ahi se queima o gaz d'illuminação que aquece muito as soldaduras interiores.

Esta pilha é d'uma grande constancia e regularidade, podendo funcionar mezes sem exigir cuidado absolutamente algum.

557. THERMO-MULTIPLICADOR. O *thermo-multiplicador* (fig. 189) é um thermometro d'uma sensibilidade extrema. Compõe-se d'uma pilha thermo-electrica reunida a um instrumento destinado a medir a intensidade das correntes, o *galvanometro*. Foi com este apparatus, descoberto por Melloni, que este illustre physico realisou as suas experiencias relativas aos diferentes poderes dos corpos para o calor. Tal como está disposto na figura, o apparatus destina-se á apreciação do poder diathermico dos corpos. A origem de calor  $l$  é uma lampada Locatelli, em frente da qual está um anteparo movel, em que ha uma abertura destinada á passagem dos raios calorificos que atravessam o corpo  $r$ , cujo poder diathermico se quer reconhecer, o qual se acha collocado em cima d'um supporte. Depois d'atravessarem esse corpo, os raios calorificos incidem sobre a pilha thermo-electrica  $p$ , e a corrente que se fórma é accusada immediatamente pelo galvanometro  $c$ . Estas diferentes peças estão fixas a diferentes distancias sobre uma regua de cobre, d'um metro de comprimento, e graduada em centimetros.

558. EFEITOS LUMINOSOS. LUZ ELECTRICA.—Como a electricidade nas pilhas tem uma pequena tensão, não se obtem faisca ao tocarem-se os dois conductores; se, porém os levarmos ao contacto e depois os affastarmos, produz-se uma luz vivissima, a que se dá o nome de *luz electrica*. Foi Humphry Davy quem descobriu este phenomeno, e desde logo construiu um apparatus destinado á producção da luz electrica. Compunha-se elle d'uma columna de vidro, terminada em dois supportes metallicos horisontaes que sustentavam dois pequenos cones de carvão de coke fortemente calcinado. Ligando-se os supportes metallicos

aos conductores d'uma pilha de grande intensidade, immediatamente se via surgir no ponto de reunião uma luz

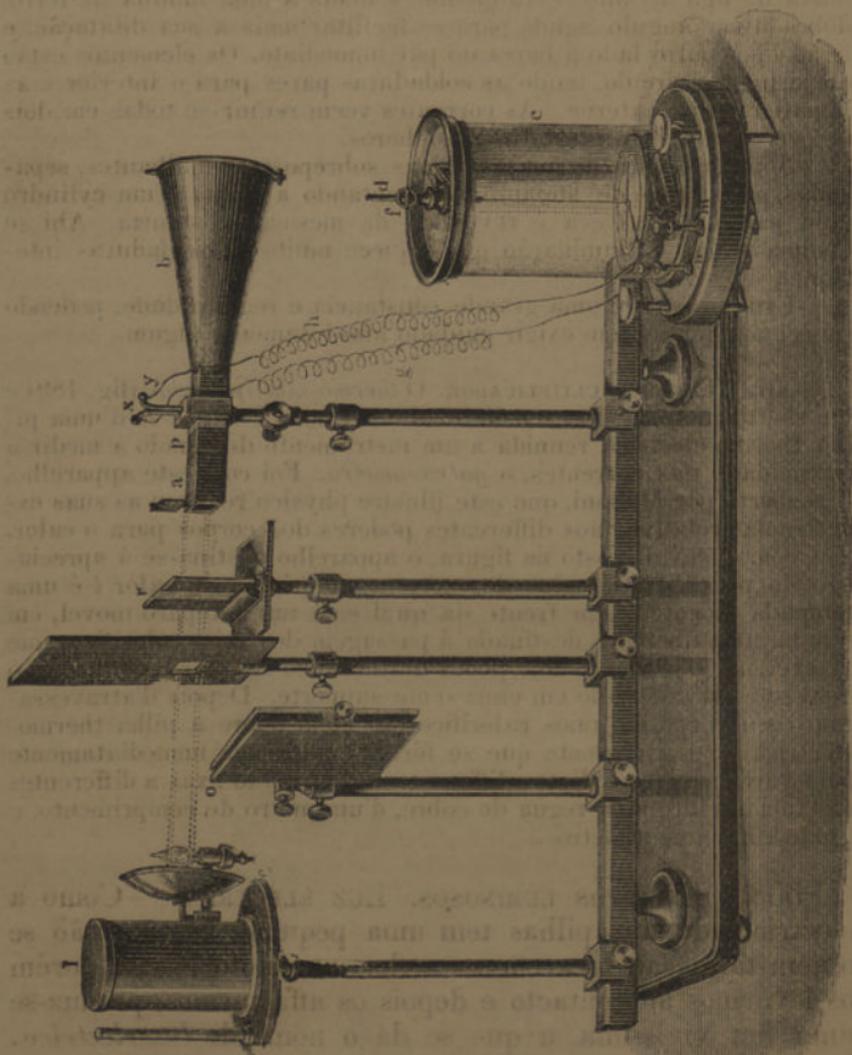


Fig. 189

tão clara que apenas se podia comparar á do sol. Se se affastavam um pouco os carvões, produzia-se então um arco luminoso a que se dava o nome de *arco voltaico*.

*Transporte da materia ponderavel por meio do arco voltaico.* Se projectarmos por meio d'uma lente o arco voltaico sobre um disco qualquer, ampliando-o ao mesmo tempo, reconhece-se que se dá um transporte de carvão do polo positivo para o negativo. Observa-se que o carvão do polo positivo da pilha se cava rapidamente, ao mesmo tempo que o carvão do polo negativo parece augmentar, conservando a sua fórma ponteaguda. Ha realmente uma transposição de particulas de carvão, umas das quaes se volatisam, e outras se vão depositar no polo negativo incandescente.

Não é porém só com o carvão que se dá este phenomeno. Qualquer que seja a substancia de que sejam formados os conductores, entre os quaes se estabeleça o arco voltaico, o transporte dá-se e póde reconhecer-se na chamma por meio da analyse espectral a existencia d'essa substancia.

*Propriedade e intensidade da luz electrica.* A luz electrica tem as mesmas propriedades que a luz solar; transmittida atravez d'um prisma decompõe-se, e dá logar a um espectro semelhante ao espectro solar; applicada á photographia, dá provas muito nitidas, notaveis pela vivacidade dos tons. As propriedades chemicas são tambem identicas; o chloro e hydrogenio que se combinam violentamente sobre a acção da luz solar fazem-no tambem sobre a influencia da luz electrica; os saes de prata são egualmente alterados por ella. Finalmente, a luz electrica é hoje empregada na illuminação dos pharoes, e recentemente teve applicações á illuminação publica, devido isto a um novo systema, devido ao physico russo Jablockoff. Este systema, em que os dois conductores são collocados lado a lado e não na mesma linha vertical como no apparelho de Davy, será mais adiante estudado quando nos occuparmos da illuminação electrica.

559. EFFEITOS CHIMICOS DAS PILHAS. — Os principaes effeitos chemicos que se podem obter com as correntes continuas são as decomposições dos corpos compostos. O seu estudo fórma uma sciencia vasta, a que se dá o nome de

*electro-chimica*, de grande auxilio para a chimica propriamente dita, e de notaveis applicações ás artes. Faraday, a quem se devem importantes estudos sobre estes interessantes phenomenos, designou com o nome de *electrolyse* a separação dos corpos compostos nos seus elementos; com o de *electrolyto* o corpo sujeito á decomposição, e com o de *electrodos* as partes immersas dos conductores de pilha. Conforme o polo da pilha em relação com os conductores, assim estes recebem o nome de *positivos* ou *negativos*. Decompondo-se as substancias, os seus elementos procuram uns o polo negativo e outros o positivo, razão pela qual ellas recebem o nome de *electro-positivos* e *electro-negativos*.

*Decomposição da agua.* A primeira applicação da electricidade á chimica, data do principio d'este seculo, e deve-se a dois physicos inglezes Nicholson e Carlile,

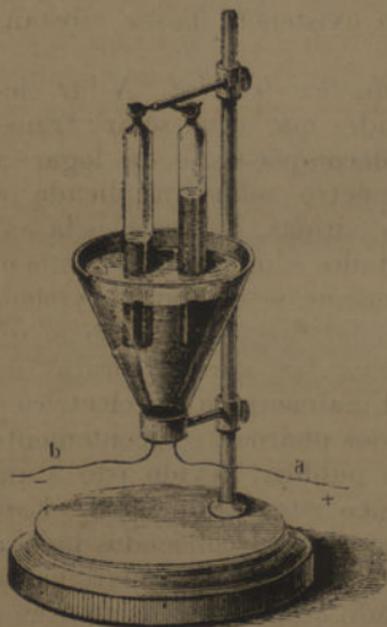


Fig. 190

tendo por objecto a decomposição da agua. A experiencia que elles executaram e que póde facilmente reproduzir-se, faz-se com um vaso, cujo fundo é atravessado por dois fios de platina, que exteriormente terminam em gancho e se põem em relação com os dois polos *a* e *b* d'uma pilha. Lançando agua no vaso, e melhor agua acidulada, e pondo em actividade a pilha, começa n'um e outro dos electrodos a dar-se desenvolvimento de gazes que podem ser recolhidos em duas campanulas. Observa-se que o gaz desenvolvido no *electrodo* negativo tem um volume duplo do contido na outra campanula. O primeiro é o hydrogenio e o segundo o oxygenio.

Demonstra-se que a quantidade d'agua decomposta n'um mesmo tempo é proporcional á *intensidade da corrente*. Tomando, por unidade d'intensidade a d'uma corrente que determine uma gramma de hydrogenio n'um minuto, pôde-se com este instrumento medir a intensidade das correntes, razão pela qual se lhe dá o nome de *voltmetro*.

*Decomposição dos oxydos metallicos.* Os oxydos decompõem-se da mesma maneira que a agua, indo o oxygenio para o polo positivo, e o metal para o negativo. Por este meio conseguiu Davy, em 1807, decompôr a potassa e a soda, corpos considerados até então como simples.

*Decomposição dos saes.* A pilha decompõe tambem todos os saes que estejam no estado de dissolução. Se o acido e a base são estaveis, separam-se apenas, indo o acido para o polo positivo e a base para o negativo. Mas quando a base é um oxydo facilmente reductivel, tambem ella é decomposta, indo o oxygenio com o acido do sal para o polo positivo, emquanto que o metal vae para o polo negativo. E' o que succede com os saes de cobre, de chumbo, de prata, etc.

560. LEIS DE FARADAY.— As acções chemicas da pilha estão subordinadas a duas leis, chamadas de Faraday, e que podem ser enunciadas assim:

1.<sup>a</sup> *As acções chemicas produzidas nas diversas partes d'um circuito são rigorosamente equivalentes.* Assim, se se medir com um voltmetro a quantidade d'agua decomposta n'um tempo determinado, reconhecer-se-ha que é egual á quantidade d'agua decomposta, durante o mesmo tempo, em cada elemento da pilha.

2.<sup>a</sup> *Os pesos dos corpos simples separados por uma mesma corrente electrica estão constantemente entre si como os equivalentes d'esses corpos.*

Assim uma pilha que, decompondo a agua, desse logar ao desenvolvimento d'un equivalente ou d'uma gramma d'hydrogenio, precipitaria das soluções 31<sup>gr</sup>,75 de cobre, 108 de prata, etc., numeros que representam os equivalentes d'estes metaes.

561. EFEITOS SECUNDARIOS NA ELECTROLYSE.— Na electrolyse das soluções salinas dão-se ás vezes reacções que se designam pelo nome de *effeitos secundarios*. Alguns exemplos darão uma ideia clara d'estes phenomenos:

1.<sup>o</sup> Nos saes de base de potassa ou soda, o metal que vae para o polo negativo, decompõe a agua, apoderando-se do seu oxygenio para formar um oxydo e dar logar ao desenvolvimento d'hydrogenio

no polo negativo e d'oxygenio no polo positivo. E' este um effeito secundario, porque só se produz depois da decomposição do sal.

2.º Nos saes cujo oxydo é susceptivel de maior oxydação, como são os saes de protoxydo de ferro, o oxygenio, posto em liberdade no polo positivo, oxyda mais a base do sal.

3.º Emfim, a natureza dos electrodos dá logar tambem a effeitos secundarios importantes. N'uma solução d'um sal de cobre, se o electrodo é do mesmo metal, o oxygenio que se desenvolve no estado nascente ataca-o e fórma oxydo de cobre que entra em combinação com o acido sulfurico que vae para o mesmo polo, regenerando uma quantidade de sulfato precisamente egual á quantidade decomposta. O primitivo effeito é a decomposição do sulfato de cobre, e o secundario a sua regeneração. Este ultimo facto tem uma applicação valiosa na galvanoplastia de que em breve nos vamos occupar.

562. PILHAS SECUNDARIAS. ACCUMULADORES. — Os effeitos secundarios das pilhas foram aproveitados d'uma maneira brilhante para o armazenamento d'effeitos chimicos susceptiveis de darem logar ao desenvolvimento de correntes, em instrumentos especiaes chamados *pilhas electricas*.

As de Planté, modificadas por Faure, compõem-se de duas laminas de chumbo cobertas d'uma camada de minio ( $Pb^2O^3$ ) e envolvidas por um e outro lado em feltro, que as separa uma da outra. Estas duas laminas reunidas estão enroladas e mettidas n'um vaso de vidro cheio d'agua acidulada. Pondo em communicação uma das laminas com o polo negativo d'uma pilha poderosa passam-se os seguintes phenomenos. A agua acidulada é decomposta pela corrente electrica, o oxygenio vae para a lamina positiva de chumbo, ao passo que o hydrogenio vae para a lamina negativa e reduz o minio, fazendo-o passar ao estado de chumbo metallico.

O peroxydo de chumbo e o chumbo metallico formam á superficie das laminas, o primeiro um deposito pulverulento de côr vermelho carregado, e o segundo uma camada anegrada.

Ao cabo d'um certo tempo, as laminas estão *polarizadas*, e se então se supprimirem as communicações com a origem d'electricidade, ter-se-ha um elemento de pilha, com o qual se poderá reproduzir senão a totalidade, pelo menos os nove decimos da electricidade dispendida. Esses elementos podem ser associados em quantidade ou em tensão, de maneira a formarem uma pilha mais ou menos poderosa.

Carregada a pilha, constitue um reservatorio d'electricidade que se pôde conservar por muito tempo e transportar para qualquer parte. Para se usar, basta fechar o circuito, collocando no seu tracto o aparelho a que se destina a corrente. Produz-se então uma acção chimica inversa da que determinou a formação da pilha; o peroxydo de chumbo que, enquanto se carregou a pilha, se formou na lamina positiva reduz-se pouco a pouco, enquanto que o chumbo reduzido se oxyda na outra lamina. Assim se produz uma corrente em sentido contrario á que a pilha tenha recebido.

A estas pilhas secundarias dá-se usualmente o nome de *accumuladores electricos*, designação impropria por que na realidade não armazenam, como a garrafa de Leyde, electricidade. O que accumulam é trabalho de decomposição chimica, entre as substancias de que são constituídas, trabalho que restituem quasi integralmente sob a fórma de correntes electricas.

Este genero de pilhas tem recebido numerosas applicações. Alguns d'estes apparatus, durante a exposição d'electricidade, eram carregados de dia com uma machina dynamo-electrica, de que adiante havemos de fallar, e de noite serviam para alimentar lampadas d'incandescencia. Outros eram empregados em fazerem mover machinas de costura, um pequeno navio d'helice, etc.

563. GALVANOPLASTIA. — Dá-se este nome a uma arte que tem por fim cobrir os objectos d'uma camada metallica adherente ou não, por meio da electricidade. Se queremos reproduzir uma medalha, um baixo relevo, etc., isto é, cobrir um objecto d'uma camada metallica não adherente, suspendemos o molde á extremidade d'um fio que communica com o polo negativo d'um elemento de Daniell ou Bunsen, e mergulhamol-o n'uma solução de sulfato de cobre, onde tambem se faz mergulhar uma lamina d'este metal, pouco mais ou menos das mesmas dimensões.

Logo que a corrente se estabelece, o sulfato de cobre é decomposto, o acido e o oxygenio dirigem-se para o polo positivo, onde atacam o cobre, formando sulfato de cobre que regenera a solução, enquanto que o cobre metallico se vae accumular no molde, d'onde se separa quando tem a espessura conveniente.

Quando se quer cobrir um objecto d'uma camada delgada de metal, como, por exemplo, quando se quer cobrear uma estatua de gesso, *metallisa-se* a sua superficie, cobrindo-a com uma camada de plumbagina com o fim de tornar esse objecto conductora, e colloca-se no lugar occupado pelo molde, isto é, em relação com o polo negativo, procedendo-se da mesma maneira. A differença entre os dois processos consiste apenas em que no primeiro o deposito metallico separa-se do molde e que no segundo fica adherente.

Quando se quer dourar, pratear ou nickelar qualquer

objecto procede-se por egual fórma, mudando apenas as soluções. Para dourar, emprega-se uma solução de 10 partes de cyaneto de potassio e 1 de chloreto d'ouro em 100 d'agua, sendo o electrodo positivo uma lamina d'ouro. Para pratear, o chloreto d'ouro é substituido pelo cyaneto de prata e o electrodo positivo é uma lamina d'este metal. Finalmente, para nickelar, emprega-se uma solução de

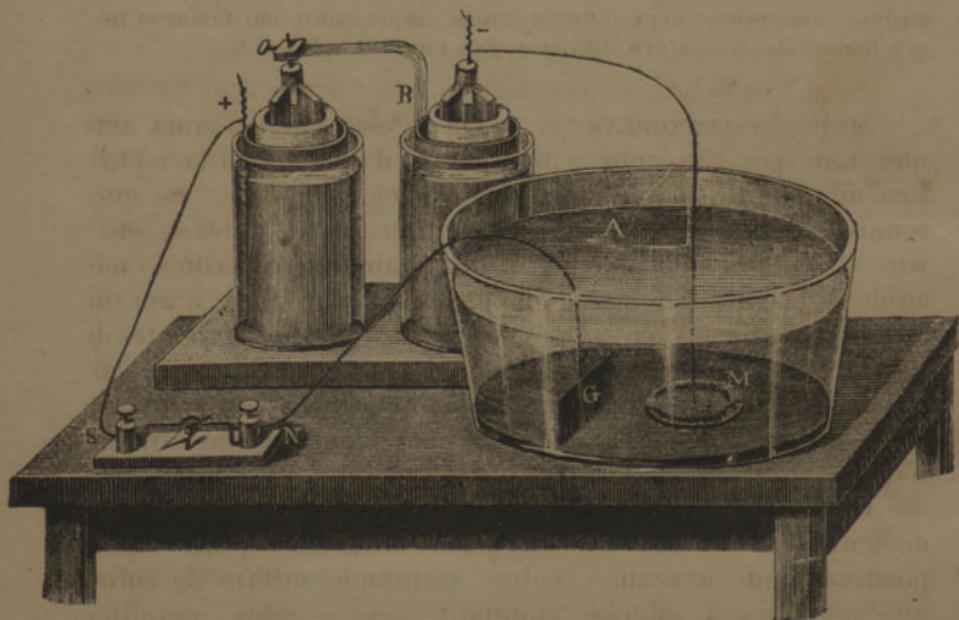


Fig. 191

sulfato duplo de nickel e ammoniaco, sendo o electrodo uma lamina de nickel.

564. EFFEITOS PHYSIOLOGICOS DAS PILHAS.—Designam-se com este nome os effeitos produzidos pela pilha nos animaes mortos ou vivos.

Nos animaes recentemente mortos, a electricidade dinamica produz movimentos extraordinarios: haja visto a celebre experiencia de Galvani a que se deve o descobrimento d'esta importante parte da physica. Nos animaes vivos, a acção da corrente electrica traduz-se, sobretudo,

por contracções musculares e modificações de sensibilidade nas occasiões em que abre ou fecha o circuito.

A electricidade dynamica foi applicada ao homem de maneiras variadissimas; hoje emprega-se no tratamento d'algumas doenças e nomeadamente d'aquellas que affectam o systema muscular e nervoso.

565. THEORIAS DA ELECTRICIDADE. — Durante muito tempo, tiveram curso duas theorias a proposito dos phenomenos electricos, devidas a Symmer e Franklin.

Para Franklin, os phenomenos electricos eram devidos a um fluido imponderavel, cujas moleculas estavam em continua repulsão, mas eram attraídas pela materia ponderavel perdendo, quando combinadas com ella, essa tendencia. Todos os corpos tinham esse fluido, mas a capacidade para o receberem variava; se um corpo encerrava o fluido que correspondia á sua capacidade, não se produzia effeito electrico algum e o corpo apresentava-se no chamado *estado neutro*; se a quantidade variava para mais ou para menos, deixava de haver equilibrio, manifestando-se então os phenomenos electricos, e ficando o corpo electrizado positiva ou negativamente.

Tres modos havia, pois, d'electrisação dos corpos; pela addição de fluido electrico, pela subtracção do mesmo fluido e ainda pela accumulacão n'um ponto do que originariamente havia sido distribuido em todo um corpo.

Os corpos electrizados positivamente tendiam a ceder aos outros o excesso d'electricidade, assim como os que o estavam negativamente tendiam a tomal-a.

A theoria de Symmer já foi exposta resumidamente em outro lugar. Relembremos que n'ella se admite a existencia de dois fluidos electricos, cuja combinaçãõ dá em resultado o fluido neutro. As duas especies d'electricidade podem separar-se por differentes modos, pelo attrito, por exemplo, passando então um dos fluidos para o corpo friccionante, e o outro para o friccionado.

Hoje, depois d'uma larga epocha em que a theoria de Symmer reinou completamente na sciencia, tende-se a voltar á de Franklin, modificando-a convenientemente. Ten-

do-se observado repetidas vezes a transformação do calor em electricidade e em luz, e reciprocamente a de cada um d'estes agentes em electricidade, suppõe-se que todos dependem d'um mesmo fluido, chamado *ether*. Se, porém, a luz e o calor dependem do movimento vibratorio d'esse fluido, a electricidade parece depender d'um verdadeiro transporte d'esse agente. Não haveria, pois, duas especies d'electricidade, positiva e negativa, mas simplesmente ether em excesso ou falta.

Na electricidade estatica ha condensação ou rarefacção do ether; na dinamica ha, além d'isto, transporte do ether atravez dos corpos, perfeitamente analogo ao transporte d'um fluido. Esta theoria ainda começa d'estabelecer-se. Nós adoptamos na nossa exposição a de Symmer que se presta a uma simples explicação dos phenomenos electricos, e como tal é ainda usada em todos os cursos.

## LIVRO UNDECIMO

### ELECTRO-MAGNETISMO

#### CAPITULO I

##### Factos fundamentaes

Experiencia de Ørsted. Galvanometro. Acções reciprocas das correntes, dos magnetes e das correntes entre si. Leis d'Ampère. Solenoides. Acções das correntes sobre os solenoides e d'estes entre si. Acção da terra sobre as correntes e os solenoides. Acções reciprocas dos solenoides e dos magnetes. Theoria do magnetismo, segundo Ampère.

566. ELECTRO-MAGNETISMO. — As correntes exercem acções sobre os magnetes e estes influenciam aquellas. A parte da physica que estuda estes phenomenos tem o nome de *electro-magnetismo*.

567. EXPERIENCIA DE ØRSTEDT. — Foi Ørstedt, professor de physica em Copenhague, que descobriu estes phenomenos. Reunindo os polos d'uma pilha de Bunsen por um fio metallico que tinha uma porção rectilinea, e dando-lhe a direcção do meridiano magnetico observou que, passando-a por cima ou por baixo d'uma agulha magnetisada, movel em torno d'um eixo vertical, a agulha se desviava immediatamente da sua posição d'equilibrio, tendendo a tomar uma direcção perpendicular á da corrente.

Este desvio está sujeito a quatro leis que podem ser formuladas assim :

1.<sup>a</sup> Se a corrente passa *por cima* da agulha e vae do *sul ao norte*, o polo austral d'esta é desviado para *oeste*.

2.<sup>a</sup> Passando a corrente por *baixo* da agulha, indo tambem do *sul ao norte*, o polo austral desvia-se para *leste*.

3.<sup>a</sup> Se a corrente passa *por cima* da agulha, indo do *norte ao sul*, esta é desviada para *leste*.

4.<sup>a</sup> Passando a corrente *por cima* da agulha e indo do *sul ao norte*, o polo austral é desviado para *oeste*.

568. LEI DE AMPÈRE. — As leis que acabam de ser enunciadas foram reduzidas por Ampère a uma só que é a seguinte: *Na acção directriz d'uma agulha sobre um magnete, o polo austral é sempre desviado para a esquerda.* Para que se possa comprehender esta proposição é necessario personificar a corrente, isto é, suppôr um observador deitado sobre ella, do polo positivo ao negativo, de maneira a ser atravessado dos pés á cabeça, e a ficar com a face voltada para a agulha.

569. GALVANOMETRO. — Este instrumento foi uma das primeiras applicações da descoberta de Erstedt e serve para reconhecer a existencia, intensidade e direcção das correntes.

Para se comprehender bem o seu mechanismo, precisamos primeiro d'adquirir unas noções preliminares. Imaginemos uma agulha magnetisada *sn*, suspensa por um fio de seda sem torsão, ou collocada sobre um eixo, no meio d'um circuito rectangular formado por um fio de cobre e collocado segundo a direcção da agulha no plano do meridiano magnetico (fig. 192). Logo que a corrente se estabelecer, a agulha será desviada da sua posição e o seu polo austral desviado para a esquerda.

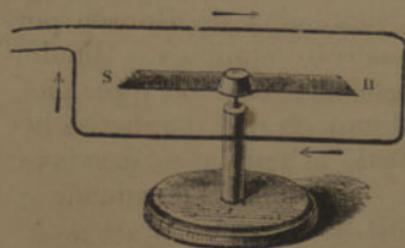


Fig. 192

Se em vez d'um só circuito forem muitos, então por maioria de razão a agulha será desviada, porque todos os pontos do circuito serão determinantes d'esta posição (fig. 193). Assim será a corrente *multiplicada*, mas a multiplicação tem um limite que é marcado pelo enfraquecimento que a

corrente experimenta á medida que o comprimento do fio augmenta.

No systema acima figurado, a agulha magnetica lucha

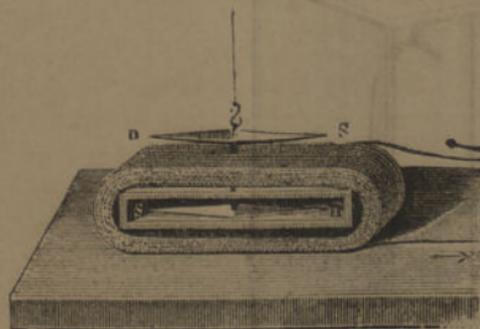


Fig. 193

contra a acção directriz da terra que tende a dizel-a tomar a direcção do meridiano magnetico, e por isso Nobili teve a ideia felicissima d'empregar, em vez d'uma só agulha, um systema d'agulhas astaticas *ns* e *sn*, tendo em relação os seus polos oppostos. Uma d'el-

las está fóra e a outra dentro do circuito, de modo que não só a acção da tina é completamente neutralisada, mas as acções das correntes sommam-se para dar direcção á agulha. E' todavia necessario que o systema não seja rigorosamente astatico, por isso que qualquer corrente, por mais fraca que fosse, tenderia immediatamente a collocal-o em cruz com ella, e seria impossivel a comparação entre as intensidades das diversas correntes. Necessario se torna, pois, que uma das agulhas seja mais fortemente magnetisada para que a acção da terra, comquanto reduzida a uma pequena fracção, não seja totalmente neutralisada.

Com estas ideias preliminares facil lhes será agora comprehender a construcção e funcionamento do galvanometro.

N'um quadro rectangular de madeira, enrola-se um fio de cobre, coberto de seda em todo o seu comprimento, para isolar os circuitos uns dos outros (fig. 194). Este quadro tem superiormente um quadrante horisontal, cujo limbo está graduado em 360°, sendo o diametro 0°, 180° paralelo á direcção do fio no quadro. Duas agulhas nas condições precedentemente indicadas estão presas, por meio d'um fio de coco, uma por cima do quadro e outra no seu interior. Emfim o apparatus é coberto por uma campanula de vidro que o garante das agitações do ar, com excepção das

extremidades *a* e *b* do circuito que atravessam para o

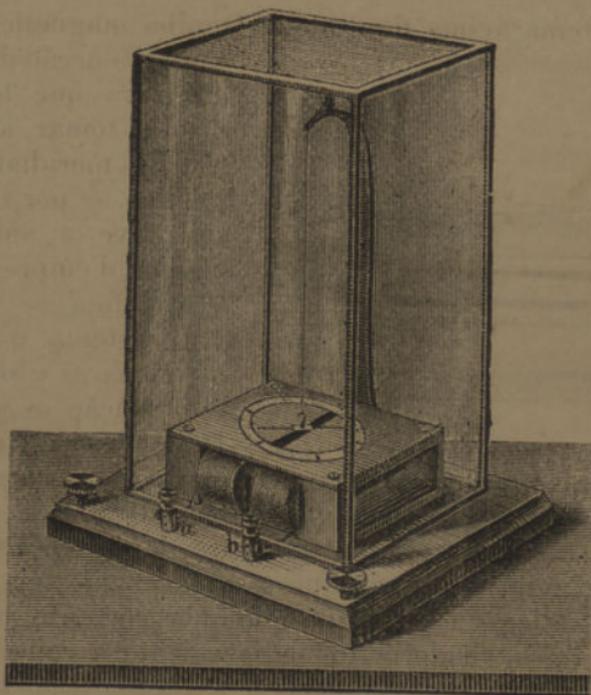


Fig. 194

exterior, por meio d'aberturas na peanha em que assenta o instrumento.

570. USOS DO GALVANOMETRO.—Serve este instrumento para indicar a existencia das correntes mais fracas, e ao mesmo tempo a sua direcção e intensidade. Quando se quer fazer uso d'elle, começa-se por collocar o quadro de madeira de modo que a agulha superior esteja no zero do quadrante. A direcção da agulha é então a do meridiano magnetico. Feito isto, põe-se a corrente em relação com as extremidades do fio conductor, e observa-se que a agulha se desvia n'um ou n'outro sentido, segundo a direcção da corrente, sendo tanto maior o desvio quanto mais energica ella fôr.

Demonstra a experiencia e o calculo que o affasta-

mento da agulha não é rigorosamente proporcional á intensidade da corrente, mas, para angulos de 20° a 30°, os resultados são muito aproximados, e para os superiores ha tabellas que indicam as correccões a fazer.

571. ACÇÕES DAS CORRENTES SOBRE OS MAGNETES. — Esta acção é directriz e attractiva ou repulsiva.

1.º *Acção directriz.* A experiencia de Ersted referida precedentemente, põe em evidencia esta acção. Segundo Biot e Savart, está submettida ás duas leis seguintes:

1.º *A sua intensidade está na razão inversa da distancia que separa a corrente da agulha magnetica.*

2.º *Exerce-se em todos os sentidos e atravez de todas as substancias, exceptuadas as substancias magneticas.*

2.º *Acção repulsiva ou attractiva.* A acção attractiva ou repulsiva manifesta-se suspendendo uma agulha magnetica muito fina a um fio extremamente delgado e aproximando d'elle uma corrente; observam-se então attracções e repulsões cuja explicação assenta na theoria dos solenoides de que breve nos occuparemos.

572. ACÇÃO DOS MAGNETES SOBRE AS CORRENTES. — A acção das correntes e magnetes é reciproca. Se em lugar de apresentarmos a uma agulha movel uma corrente fixa, fizermos o contrario, isto é, aproximarmos uma barra magnetisada fixa d'uma corrente que seja movel, esta põe-se sempre em cruz com o magnete, de modo a que o seu polo austral fique ao lado esquerdo da corrente.

573. ACÇÕES MUTUAS DAS CORRENTES. LEIS. — Se tomarmos circulos moveis por onde dirijamos correntes electricas, poderemos observar uma serie de phenomenos que se traduzem pelas seguintes leis:

1.ª *Duas correntes parallelas e no mesmo sentido attráem-se; e repellem-se se são em sentido contrario.*

2.ª *Duas correntes crusadas attráem-se, se caminham no mesmo sentido, em relação ao ponto de cruzamento; e repellem-se, sendo em sentido contrario.*

3.<sup>a</sup> A acção d'uma corrente sinuosa é igual á d'uma em linha recta que tenha em projecção o mesmo comprimento.

*Demonstração experimental.* Demonstam-se estas leis, apresentando em diferentes posições uma corrente fixa a uma corrente movel. Uma *corrente fixa* é a que se obtém reunindo entre si os polos d'uma pilha qualquer. Uma *corrente movel* é aquella que póde girar em torno d'um eixo vertical.

Para se obter uma corrente movel emprega-se o apparelho representado pela fig. 195.

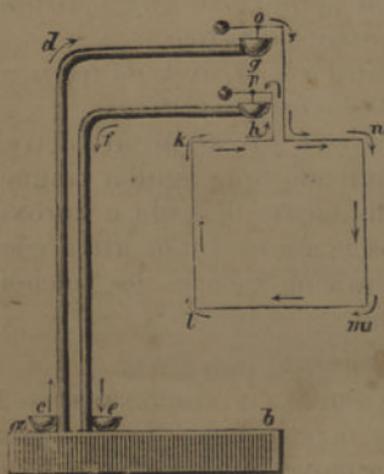


Fig. 195

Compõe-se de duas columnas metallicas *d* e *f* recurvadas em angulo recto, e terminadas em duas pequenas capsulas *g* e *h* cujo fundo é formado por uma lamina de vidro. Lança-se mercurio dentro d'essas capsulas e colloca-se em relação com ellas o circuito *nmlk* cujas extremidades terminam em pontas metallicas *o* e *p*. As duas hastes *d* e *f* communicam com os polos d'uma pilha, de modo que a corrente segue o caminho indicado pelas flechas. É facil de vêr que o circuito se póde mover livremente em torno da vertical *op*.

Se, estando o apparelho em actividade, se collocar parallelamente ao lado vertical *nm* do circuito um fio metallico atravessado por uma corrente, vêr-se-ha a corrente movel *aproximar-se* pouco a pouco do conductor fixo, se as duas correntes forem no *mesmo sentido* e *affastar-se* se forem em *sentidos contrarios*, o que demonstra as duas primeiras leis. Se collocarmos, por baixo do lado *lm* do circuito, o conductor fixo n'uma direcção horisontal, vêr-se-ha o rectangulo girar em torno do eixo, *diminuindo* o angulo formado se as correntes forem no *mesmo sentido* e *augmen-*

tando se forem em *sentidos diferentes*. Em ambos os casos, o rectangulo só fica em equilibrio quando as correntes se tornam parallelas e do mesmo sentido, o que demonstra a 2.<sup>a</sup> e 3.<sup>a</sup> leis.

*Consequencias.* As leis e demonstrações precedentes levam aos resultados seguintes, que podem ser verificados experimentalmente.

1.<sup>o</sup> Uma corrente rectilinea, movel em torno d'um eixo, parallello á sua direcção, sendo posta em relação com uma outra indefinida que lhe seja perpendicular, desvia-se para o lado d'onde procede a corrente ou para o contrario, conforme se affasta ou se aproxima d'elle.

2.<sup>o</sup> Sendo a corrente indefinida movel em torno d'um

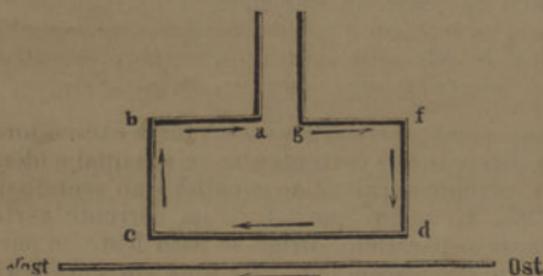


Fig. 196

dos seus extremos, executa um movimento de rotação em torno d'esse ponto sendo influenciado por uma corrente indefinida e o sentido d'este movimento será o d'ella, ou o contrario, segundo se di-

rige para o eixo ou d'elle se affasta.

3.<sup>o</sup> A acção d'uma corrente indefinida sobre um circuito fechado, movel em torno d'um eixo perpendicular áquella, torna-o parallello, de modo que na parte mais proxima tenha o sentido da corrente.

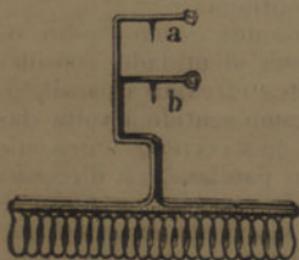


Fig. 197

574. SOLENOIDES. — Dá-se o nome de *solenoides* a um systema de correntes circulares, do mesmo sentido, eguaes e parallelas, cujos planos são perpendiculares a uma mesma linha recta a que se dá o nome de *eixo do solenoide*.

Para construir um d'estes instrumentos toma-se um fio de cobre coberto de seda e enrola-se em helice, tendo o cuidado de dar uma direcção rectilinea a uma parte da corrente que se dispõe no sentido do eixo.

A acção da corrente sinuosa é neutralizada pela acção inversa da corrente longitudinal, de modo que, no solenoide, apenas temos a considerar a serie de correntes eguaes e parallelas.

575. PROPRIEDADES DOS SOLENOIDES.—São perfeitamente analogas ás dos magnetes as propriedades dos solenoides. Assim um solenoide, suspenso livremente em torno d'um eixo vertical, procura collocar-se na direcção do meridiano magnetico, estacionando depois n'essa direcção; sendo movel em torno d'um eixo horisontal conduzido pelo centro de gravidade e perpendicular ao meridiano magnetico, toma exactamente a direcção da agulha d'inclinação. Por este motivo receberam o nome de *polo sul* e *polo norte* as extremidades dos solenoides.

As correntes influenciam os solenoides da mesma maneira ainda que os magnetes. Se collocarmos uma corrente fixa, superior ou inferiormente a um solenoide movel, este colloca-se em cruz com a corrente, como o faria a agulha magnetica.

Os magnetes attraem os polos do solenoide, se os seus nomes são contrários; repellem-n'os se tem o mesmo nome.

Finalmente, os polos de solenoide exercem uns sobre os outros as mesmas acções que os magnetes uns sobre os outros.

576. ACÇÃO DA TERRA SOBRE AS CORRENTES.—A terra exerce uma acção manifesta sobre a direcção das correntes moveis, a qual é identica á que exercerá uma corrente parallela ao equador e ao sentido de leste para oeste (fig. 196). E' assim que: 1.º uma corrente vertical, movel em torno d'um eixo parallello, dirige-se para leste ou para oeste, segundo é ascendente ou descendente; 2.º uma corrente horisontal, movel em torno d'um extremo, toma um movimento continuo de rotação, de leste para oeste, passando pelo norte ou vice-versa, conforme se affasta ou se aproxima do eixo; 3.º uma corrente fechada dispõe-se parallelamente ao equador, tendo na parte inferior o sentido de leste para oeste.

577. THEORIA DE AMPÈRE SOBRE O MAGNETISMO.—As analogias entre os phenomenos apresentados pelos solenoides e pelos magnetes são tão manifestas que o espirito de cada um convence-se de que os phenomenos magneticos são o effeito, não de dois fluidos oppositos, mas simplesmente das correntes continuas.

Ampère, a quem se devem os interessantes estudos sobre os solenoides, foi o primeiro que, convicto d'esta identidade, considerou os magnetes como systemas de correntes circulares parallelas entre si. Estas correntes, circulando no mesmo sentido á volta das moleculas de cada magnete, equivaleriam a uma corrente unica cuja intensidade seria egual á somma de todas as parciaes, e a direcção, a d'um circulo que fosse passado em torno do magnete.

N'esta theoria, os magnetes e a terra são verdadeiros solenoides. Os phenomenos d'orientação dos magnetes, as attracções e repulsões magneticas, etc., seriam devidos apenas á acção das correntes sobre as correntes.

## CAPITULO II

## Aplicações do electro-magnetismo

Magnetisação pelas correntes. Electro-magnetes. Aplicações diversas d'estesapparelhos. Telegraphia electrica

578. MAGNETISAÇÃO PELAS CORRENTES. — Se mergulharmos em limalha de ferro um fio de cobre atravessado por uma corrente energica, vêmos que aquella adhire ao cobre, enquanto subsiste a corrente. Este facto, descoberto por Arago prova que as *correntes electricas actuam sobre as substancias magneticas, de maneira a determinarem a sua magnetisação.*

579. MAGNETISAÇÃO DE FERRO MACIO. — Se tivermos uma barra de ferro macio, e collocarmos uma corrente em direcção perpendicular a ella, verificamos que a barra se magnetisa immediatamente, e que, consoante foi dito ha pouco, o seu polo austral fica á esquerda da corrente. A magnetisação assim desenvolvida será de pequena intensidade, mas se em lugar d'uma só corrente disposermos em torno da barra uma serie de correntes parallelas, a magnetisação tornar-se-ha muito notavel. Todavia, por muito energica que seja a corrente, deixará de manifestar-se o magnetismo logo que fôr interrompida. As barras de ferro assim dispostas chamam-se *electro-imans* ou *electro-magnetes.*

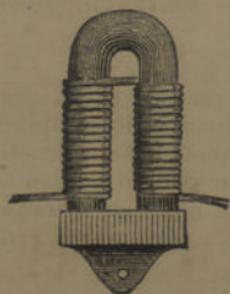


Fig. 198

580. ELECTRO-MAGNETES. — Para obter uma magnetisação ainda mais pronunciada do que a que se obtem n'uma barra direita, dá-se aos *electro-magnetes* a fórma d'uma ferradura, e enrola-se em torno d'elles um fio de cobre, coberto de seda, com o fim de isolar a corrente; o fio deve ser enrolado em sentidos contrarios nos dois ramos, para que d'esta fórma se formem os polos nas extremidades (fig. 198).

Logo que o instrumento assim constituido é posto em communicação com uma pilha energica, transforma-se n'um forte magnete que pôde sustentar um peso muito grande. Interrompendo-se a corrente, os phenomenos magneticos deixam de ter logar e o peso é immediatamente abandonado.

Os electro-magnetes têm numerosas applicações, sendo de certo a mais notavel a telegraphia electrica.

581. MAGNETISAÇÃO DO AÇO.— O aço, da mesma sorte que o ferro macio, pôde magnetisar-se por meio das correntes, mas offerece uma resistencia muito maior, ou, o que é o mesmo, tem maior força coerciva. Este inconveniente é compensado pelo facto de ser permanente, em vez de temporaria, a sua magnetisação.

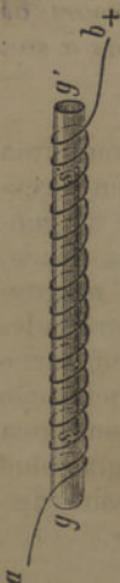


Fig. 199

Para magnetisar agulhas ou barras d'aço, collocam-se em tubos de vidro, em torno dos quaes se fazem passar helices de fios de cobre, cujas espiras estão bastantemente espaçadas para se não tocarem. Se a helice está enrolada da direita para a esquerda, chama-se *dextrorsum*; se da esquerda para a direita, diz-se *sinistrorsum*.

Estando os dois topos d'esta em communição com os polos d'uma pilha, em alguns instantes está magnetisada a barra d'aço collocada no interior do tubo. Se a helice é *dextrorsum*, o pólo boreal da agulha forma-se do lado da entrada da corrente, acontecendo o contrario se é *sinistrorsum*.

582. EXPLICAÇÃO DOS PHENOMENOS DE MAGNETISAÇÃO PELAS CORRENTES.— Facilmente se podem explicar pela theoria de Ampère. Basta suppor que em torno das moleculas das substancias magneticas, circulam correntes em todos os sentidos e que por tal motivo se destróem. A magnetisação não tem outro fim que não o de orientar essas correntes, dando-lhes direcções parallelas e no mesmo sentido.

583. CAMPAINHAS ELECTRICAS.— As campainhas electri-

cas mais ordinariamente empregadas, compõem-se de um electro-iman E, ao qual chega, pelo botão A, uma corrente L, e de uma lamina elastica d' aço F fixa ao botão B que sustenta a armadura de ferro macio do electro-magnete e que é continuada superiormente pelo martello M, destinado a percutir a campainha.

No estado de repouso, a armadura F, affastada dos polos do electro-magnete, apoia-se contra uma lamina de latão C que communica por meio do botão D, com um fio T em communicacão com o solo.

A corrente L, depois de ter percorrido o fio do electro-magnete, chega ao botão B, passa na armadura F, e d'ahi á lamina C que a transmite ao botão D, seguindo depois

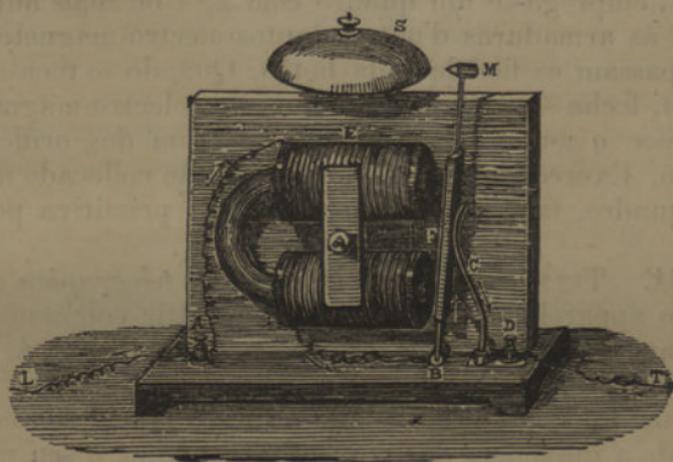


Fig. 200

até ao solo. A corrente, porém, na sua passagem magnetisa o electro-magnete, sendo attraída a armadura F, cujo martello superior vae bater na campainha. O circuito interrompe-se, pois, porque a lamina C deixa d'estar em contacto com a armadura F; esta, deixando de ser attraída, volta a occupar a sua primitiva posição, isto é, a estar em contacto com C. Logo que isto acontece, o circuito está de

novo fechado e reproduzem-se os phenomenos que acabamos de descrever.

Todas as vezes que as campainhas electricas são montadas n'um domicilio, em vez de se fazer communicar o fio F com o sólo, reune-se ao polo negativo da pilha.

A corrente é então fechada por intermedio d'um botão, collocado n'uma determinada posição, graças a uma mola que conserva afastadas as duas partes do fio, e que cede á pressão feita sobre o botão, fechando-se o circuito emquanto se não abandona. Outras vezes, em lugar d'este botão, preso na parede, emprega-se outro ligado a uma pera suspensa por um cordão.

Finalmente, quando a mesma campainha deve servir para muitos botões, e sendo necessario saber para onde se chama, emprega-se um quadro com 2, 4 ou mais numeros, presos ás armaduras d'outros tantos electro-magnetes, por onde passam os fios de cada botão. Quando se toca a campainha, fecha-se o circuito d'um d'estes electro-magnetes, e apparece o numero correspondente n'um dos orificios do quadro. Exercendo-se pressão n'um botão collocado no proprio quadro, faz-se voltar o numero á primitiva posição.

584. TELEGRAPHIA ELECTRICA. — Os *telegraphos electricos* são apparatus destinados a transmittir communicações a distancia, por meio de signaes correspondentes ás letras do alphabeto, a palavras ou a algarismos.

Fundam-se na propriedade do ferro macio se magnetisar sob a influencia das correntes, e perder o seu magnetismo logo que estas deixam d'actuar.

585. PARTES COMPONENTES D'UM SYSTEMA TELEGRAPHICO. — A transmissão de signaes por meio da electricidade, só se póde fazer quando se possa fechar e abrir á vontade um circuito. Para isso, torna-se necessario 1) uma pilha 2) um fio conductor 3) um apparatus especial que feche ou corte a corrente, a que se chama *manipulador* 4) um outro apparatus, destinado a receber n'outra estação os signaes produzidos, a que se chama *receptor*. A estes elementos indispensaveis, juntam-se outros da maxima conveniencia; taes

são uma bussola, um despertador e um pára-raios. A bussola serve para indicar a presença da corrente, a sua direcção e ainda para revelar qualquer desarranjo que succeda. O *despertador* é uma verdadeira campainha electrica que serve para chamar a attenção do empregado que recebe o despacho. Finalmente, um *pára-raios* serve para descarregar a electricidade accumulada no fio por influencia da electricidade atmospherica.

1.º *Pilhas*. São empregadas na telegraphia electrica diversas pilhas, de pequena intensidade. Quando a transmissão se faz a grandes distancias, emprega-se a de Bunsen que, como se disse atraz, é a mais energica de todas as de *corrente constante*.

2.º *Conductores*. Os conductores constituem o que se chama a *linha telegraphica*. Esta é constituída por fios de ferro galvanizados de 4 a 5 millímetros de diametro, sustentados por postes de pinheiro collocados de distancia a distancia. Para ficar bem isolada a corrente, os postes teem na parte superior, em relação com o fio, uns isoladores feitos de porcelana.

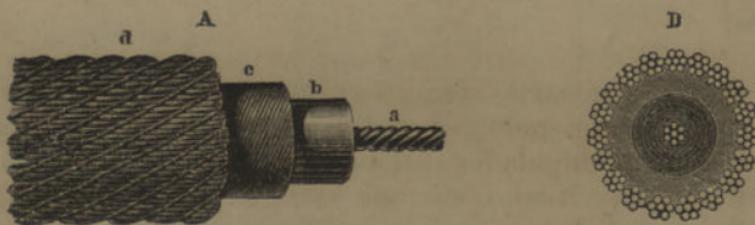


Fig. 201

Estas linhas são *aereas*, assim chamadas para se distinguirem das *subterraneas* e *submarinas* que tambem se constróem. Os cabos submarinos (fig. 201) são formados usualmente por uma serie de fios de cobre torcidos conjunctamente, envolvidos por uma camada espessa de gutta-percha, e protegidos ainda por uma armadura de fios de ferro revestidos de canhamo e enrolados em helice uns em torno dos outros.

3.º *Manipulador e receptor*. Já dissemos em que con-

sistem, tanto um como outro d'estes apparatus. Conforme a sua disposição e natureza, podem-se classificar os telegraphos electricos em quatro classes.

1.º Nos *telegraphos d'agulhas*, os signaes são produzidos pelo desvio das agulhas magneticas sob a acção directa das correntes. Este systema é pouco seguido em toda a parte.

2.º Os *telegraphos de mostrador* são baseados nos movimentos que a corrente determina n'um electro-magnete que dirige o movimento d'um ponteiro. Ainda se usam entre nós nas estações de caminhos de ferro, e eram d'esta especie os primeiros que tivemos.

3.º Os *telegraphos escreventes* são aquelles em que o despacho é impresso, ou por meio d'uma alavanca cujo movimento é regulado pela acção da corrente, ou pela propria corrente em virtude das suas propriedades electrolyticas. Ao primeiro d'estes dois grupos pertence o *telegrapho de Morse*, quasi exclusivamente adoptado entre nós.

4.º Finalmente, os *telegraphos autographicos* reproduzem todo e qualquer *fac-simile*.

Em rigor devia-se formar uma quinta classe, constituída pelos telephones que são verdadeiros telegraphos falantes.

586. TELEGRAPHO DE MOSTRADOR. — Esta especie de telegrapho, empregado em todas as linhas ferreas, compõe-se d'um manipulador e d'um receptor, que ambos teem um quadrante circular em que estão representadas todas as letras do alphabeto, e uma cruz chamada *pausa*.

O *manipulador* communica com uma pilha Q, e ambos os apparatus estão em relação por meio de dois fios metallicos, o primeiro dos quaes AOD vae da estação de partida á de chegada, e o outro HKLB em sentido inverso. No seu quadrante ha uma agulha P a que mão do experimentador faz mover á vontade.

A corrente da pilha vae por um fio de latão A a uma lamina do mesmo metal N que se acha em contacto com uma roda metallica R, passa depois por uma segunda lamina M e depois pelo fio que vae para a outra estação. Chegada ahi, a corrente entra na bobina d'um electro-magnete que se

não vê na figura. Esse electro-magnete está fixo horisontalmente n'uma extremidade, e a outra attráe uma arma-

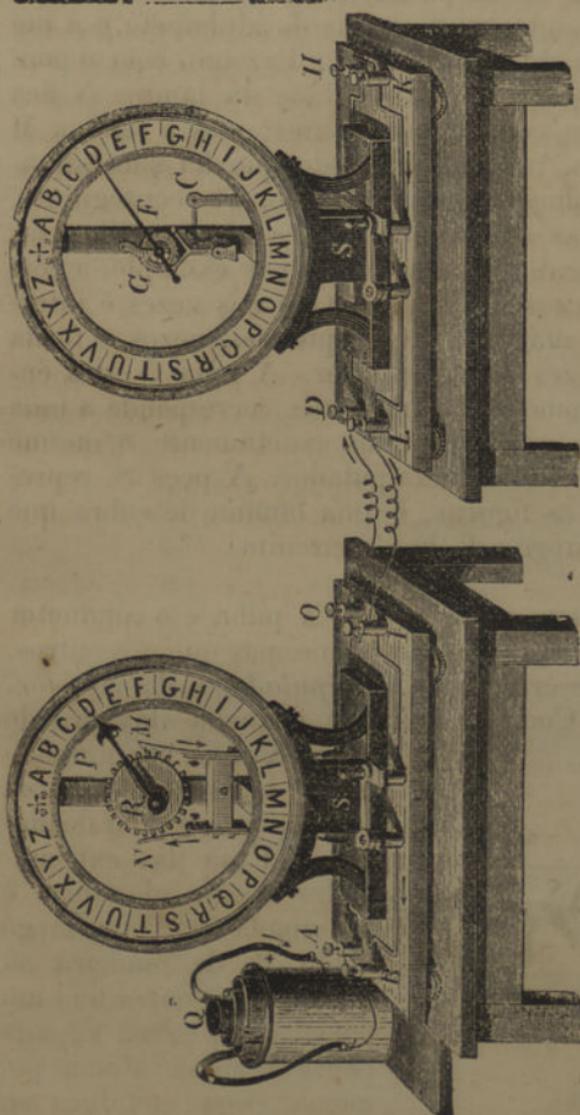


Fig. 202

dura de ferro macio C que faz parte d'uma alavanca angular, movel em torno do seu ponto d'apoio, enquanto que uma mola em espiral sollicita a mesma alavanca em sentido contrario.

Quando passa a corrente, o electro-magnete attráe a armadura C, a qual, por meio d'um systema de alavancas, vae actuar sobre uma forquilha em relação com a roda G; quando se interrompe a corrente, a mola em espiral leva a forquilha á primeira posição, d'onde resulta um movimento de vaevem que se transmite á roda dentada G que tem 26 dentes e cujo eixo está ligado á agulha indicadora. Pela

inclinação dos dentes, a cada oscillação completa da lamina C, corresponde o avanço d'um dente da roda G.

Para comprehendermos bem o funcionamento do instrumento, vejamos o que se passa no manipulador, por occasião da transmissão do despacho. A roda R tem vinte e seis dentes, correspondentes ás letras do alphabeto e a um intervallo existente entre o A e o Z. Fazendo com o ponteiro P girar a roda R, a extremidade da lamina N fica sempre em contacto com os seus dentes; mas a lamina M está, pelo contrario, talhada de modo que ha successivamente contacto e solução de continuidade. Por conseguinte, estando estabelecidas as communições com a pilha, fazendo avançar a agulha P, seis letras por exemplo, a corrente passa seis vezes de N para O e seis vezes é interrompida. O electro-magnete do receptor seis vezes se torna attractivo e seis vezes deixa de o ser. A roda G gira então seis dentes, e como cada um d'elles corresponde a uma letra, a agulha do receptor anda exactamente o mesmo numero de letras que a do manipulador. A peça S, representada em ambas as figuras, é uma lamina de cobre que serve para interromper e fechar o circuito.

587. TELEGRAPHO DE MORSE.—A pilha e o conductor d'esta especie de telegrapho são os mesmos que nos outros. Resta-nos pois a descripção do *manipulador* e do *receptor*.

*Manipulador.* Compõe-se d'uma pequena alavanca de cobre K, fixa por um eixo movel horisontal S, a um socco quadrangular de madeira. Uma das extremidades d'esta alavanca é terminada por um largo botão P, de madeira ou marfim; e a outra tem um parafuso de cobre V, cuja ponta repousa n'uma pequena peça metallica *a*.

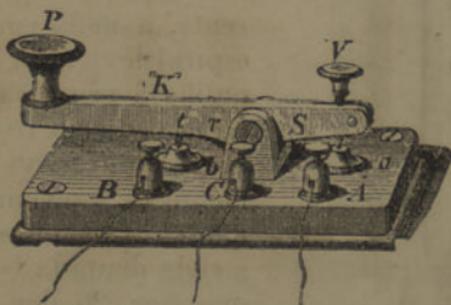


Fig. 203

Por baixo da parte anterior da alavanca, está uma outra peça de fôrma conica *b*, da qual a alavanca está continuamente affastada por intermedio d'uma mola *r*. Em B, C e A estão botões metalli-

cos ligados a diversos fios; ao botão B está preso o fio da pilha, ao botão C o do receptor e finalmente ao A o da linha telegraphica. Pequenas barras metallicas estabelecem communicação entre B e *b* e entre A e S.

D'esta disposição resulta que, carregando no botão P, de maneira a pôr a barra K em contacto com *b*, a communicação estabelece-se entre *b* e S, passando a corrente para a linha de transmissão.

*Receptor.* A figura 204 dá uma ideia tão completa

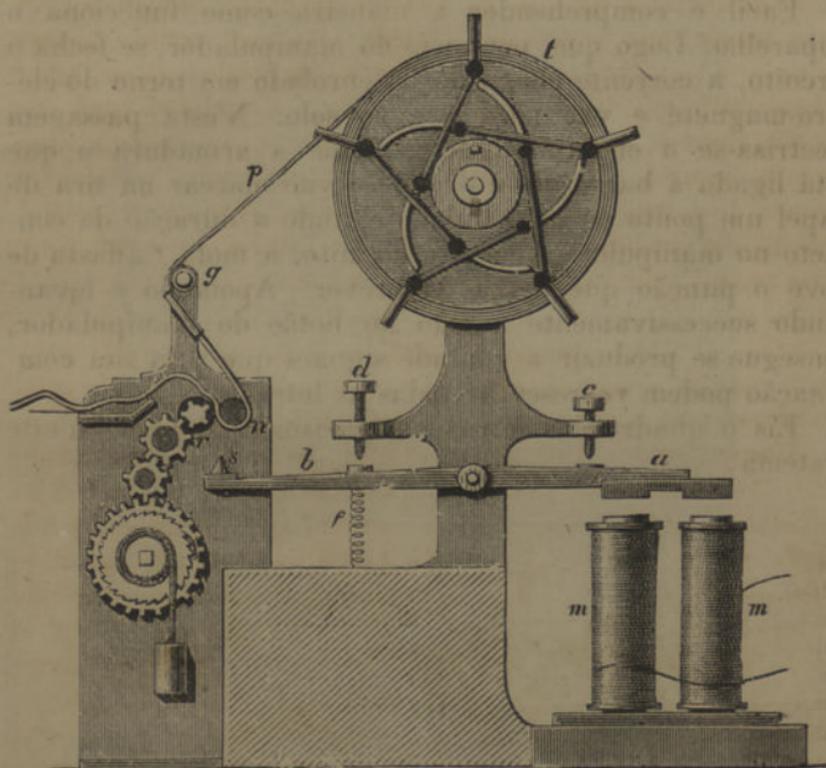


Fig. 204

quanto possivel d'este apparelho, *t* e *r* são dois cylindros que se podem fazer girar em sentidos contrarios, pela acção d'um movimento de relojoaria. Entre elles está entalada uma tira de papel *p* que se acha enrolada na roda

*t*, *mm* representa um forte electro-magnete, por cima do qual está a barra *ab* movel em torno d'um eixo, cuja extremidade *b* tem um punção d'aço *s* ou um lapis, destinado a marcar signaes na tira de papel comprehendida entre os dois cylindros; *a* é a armadura do magnete; *f* uma mola cuja tensão se regula por meio d'um parafuso e que serve para manter affastado o punção, emquanto não está fechada a corrente. Finalmente o fio da linha telegraphica vem envolver-se no electro-magnete, d'onde parte para mergulhar na terra ou n'um poço com agua.

Facil é comprehender a maneira como funciona o aparelho. Logo que, por meio do manipulador, se fecha o circuito, a corrente chega ao fio enrolado em torno do electro-magnete e vae perder-se no solo. N'esta passagem electriza-se o electro-magnete, attráe a armadura *a* que está ligada á barra *ab*, e o punção vae marcar na tira de papel um ponto ou uma linha, segundo a duração do contacto no manipulator. Aberto o circuito, a mola *f* affasta de novo o punção que deixa d'escrever. Apoiando e levantando successivamente a mão no botão do manipulador, consegue-se produzir á vontade signaes que pela sua combinação podem representar todas as letras.

Eis o quadro das letras e algarismos adoptado n'este systema :

|        |       |          |        |
|--------|-------|----------|--------|
| a.—    | k—.—  | u.—      | 1.———  |
| b—...  | l.—.. | v...—    | 2.———  |
| c—...— | m——   | w.——     | 3...—— |
| d—..   | n—.   | x...—    | 4...—  |
| e.     | o———  | y—.—     | 5..... |
| f.—.   | p.——. | z——..    | 6——..  |
| g——.   | q——.— | .,——.—   | 7——..  |
| h....  | r.—.  | ;-——.—   | 8——..  |
| i..    | s...— | ;-——...— | 9——..  |
| j.———  | t—    | .....    | 0———   |

588. TELEGRAPHO IMPRESSOR D'HUGUES.— O mechanismo d'este telegrapho é muito complicado, mas não assim o principio em que repousa, que é simplicissimo. Nas duas es-

tações acham-se dois movimentos de relojoaria que devem mover-se com um synchronismo perfeito, de modo a regu-

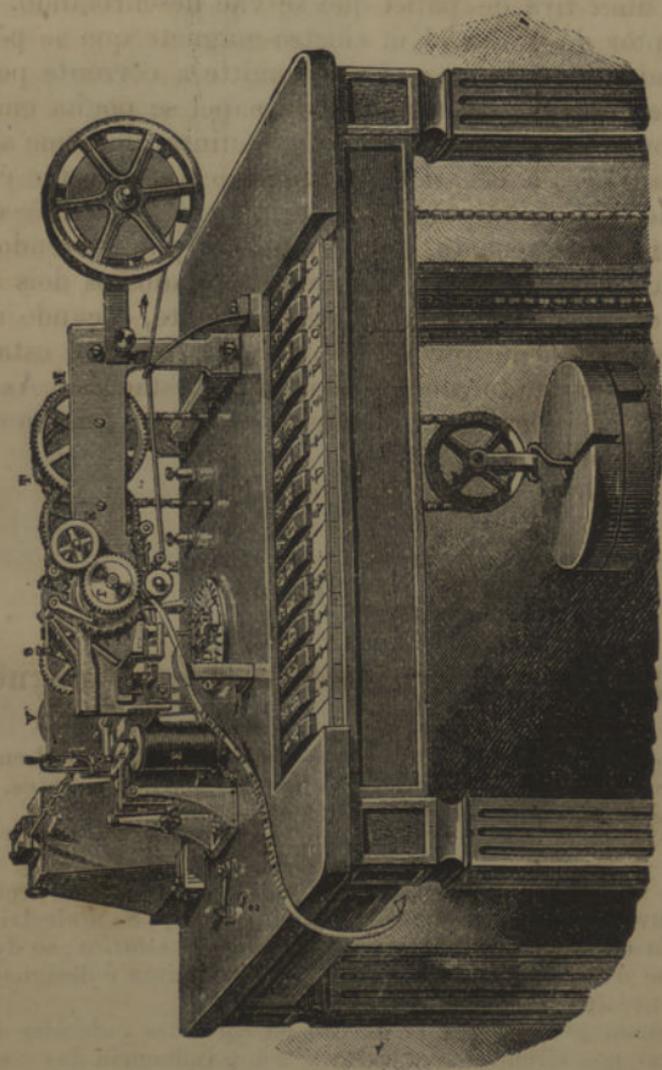


Fig. 205

larem o funcionamento simultaneo do receptor e do manipulador. O receptor consiste principalmente n'uma roda

T, chamada *roda dos typos*, que tem no seu contorno, gravadas em relevo, as letras do alphabeto, um ponto e um espaço em branco. Esta roda no seu movimento passa junto d'uma tira de papel que se vae desenrolando, como no receptor de Morse. Um electro-magnete que se põe em actividade de cada vez que se emitta a corrente pelo fio da linha, faz com que a tira de papel se ponha em contacto com a roda que, carregada de tinta, imprime a letra que passa n'essa occasião. A emissão da corrente é feita por meio d'um manipulador especial, que se compõe essencialmente d'um teclado, analogo ao dos pianos, tendo gravadas as mesmas letras. Estando regulados os dois apparelhos, o expedidor envia successivamente, tocando no teclado, as letras de que se compõe o despacho e estas imprimem-se simultaneamente nas duas estações. As tiras impressas são cortadas, colladas n'um papel e assim entregues ao publico.

---

### CAPITULO III

#### Inducção electro-dynamica e electro-magnetica

Inducção electro-dynamica e electro-magnetica. Lei de Lenz. Inducção das correntes no proprio circuito. Extra-correntes. Inductor de Ruhmkörff. Machina de Clarke.

589. CORRENTES D'INDUCÇÃO.— Chama-se *inducção* a acção que faz desenvolver a electricidade a distancia (447). Se a electricidade produzida é estatica, chama-se *inducção electro-estatica*; se dinamica, recebe o nome de *electro-dynamica*. Esta ultima é designada habitualmente apenas pela palavra *inducção*.

Chamam-se *correntes d'inducção* ou *correntes induzidas* as desenvolvidas nos circuitos conductores sob a influencia das correntes continuas e dos magnetes. No primeiro caso recebem o nome de correntes *electro-voltaicas*, no segundo o de *electro-magneticas*.

590. INDUCÇÃO PELAS CORRENTES.— Para demonstrarmos o desenvolvimento da electricidade pelas correntes, toma-se uma *bobina* de madeira *fh*, collocada, como o representa a fig. 206, dentro d'ou-

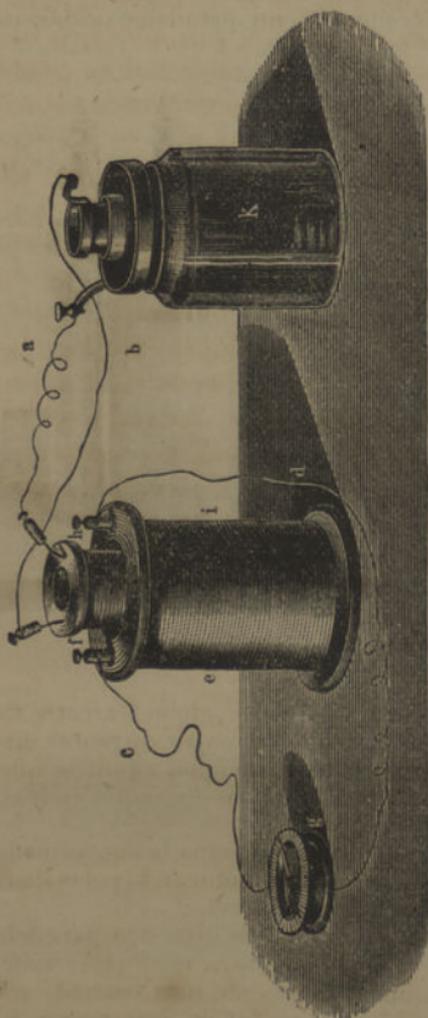


Fig. 206

tra *ei*, tendo a primeira enrolada em torno um fio de cobre coberto de seda, e a segunda um segundo fio enrolado no mesmo sentido. Feito isto, se pozermos os topos *a* e *b* da bobina interior em comunicação com uma pilha *K*, e se collocarmos no circuito exterior *cd* um galvanometro ou uma bussola, vemos que a agulha experimenta um desvio que prova ter-se desenvolvido uma corrente instantanea em sentido *inverso* da primeira. Este phenomeno dura muito pouco tempo, e a agulha em breve trecho volta ao 0° da escala e ahi permanece, apesar da corrente interior continuar a transmitir-se.

Se, porém, interrompermos a corrente voltaica, supprimindo a comunicação com a pilha da bobina *fh*, a agulha do galvanometro é de novo desviada, mas em sentido contrario da direcção anterior; o que prova que, no mesmo instante que terminou a corrente no cylindro *fh*, se desenvolveu n'uma outra no cylindro *ei*, tendo d'esta vez o mesmo sentido que a primeira. Resumindo, podemos dizer que: *quando uma corrente voltaica começa ou termina n'um conductor, desenvolvem-se nos conductores visinhos correntes instantaneas directas ou inversas.*

O phenomeno dá-se mesmo quando as bobinas, em vez d'es-

tarem incluídas uma na outra, estão uma ao lado da outra.

591. INDUÇÃO PELOS MAGNETES. — Se tomarmos uma bobina oca *s*, na qual esteja enrolado um fio de cobre (fig. 207), isolado por meio de seda, e fizermos communicar as suas extremidades com o galvanometro, reconhecemos que, se introduzirmos rapidamente um magnete no seu interior, se desenvolve rapidamente uma corrente, deixando depois o galvanometro d'apresentar algum desvio. Quando retiramos a barra magnetisada, desenvolve-se de novo uma outra corrente em

sentido contrario da primeira. Reconhece-se que esta corrente está na mesma relação que as que precedentemente estudamos estariam para um solenoide.

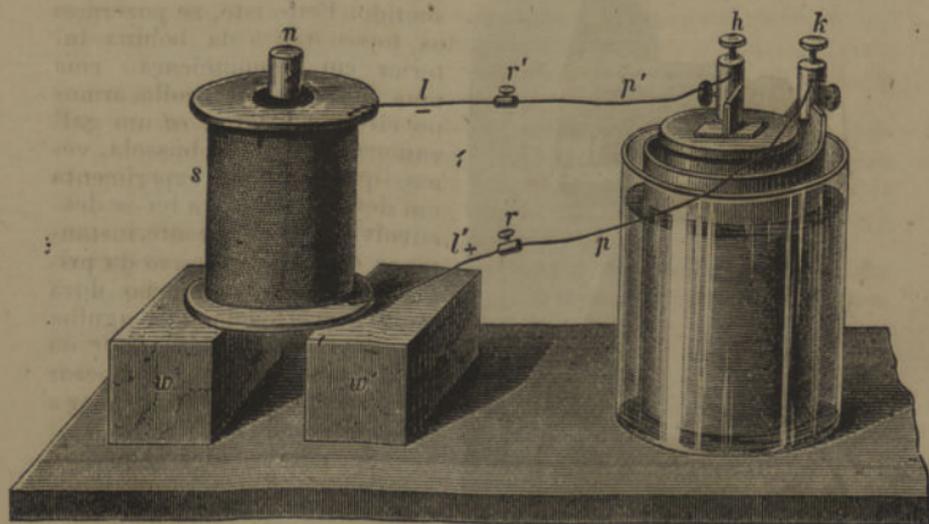


Fig. 207

592. INDUÇÃO POR ACÇÃO DA TERRA. — Se o globo terrestre foi assimilado por Ampère a um vasto solenoide, cujas correntes circulares se dirigiriam de leste para oeste, é racional admitir que, sob a influencia apenas da terra, se desenvolvem correntes induzidas em circuitos convenientemente dispostos.

E' o que se demonstra facilmente por meio d'uma helice formada por um longo fio de cobre coberto de seda e communicando pelas duas extremidades com um galvanometro muito sensivel.

Se collocarmos a espiral de modo que o seu eixo seja paralelo á agulha da bussola d'inclinação, e, depois d'isto, a mudarmos subitamente de posição, desenvolve-se immediatamente uma corrente induzida que terá o maximo d'intensidade, se a helice ficar n'uma direcção perpendicular á primeira.

593. LEI DE LENS. — Os factos que acabamos de fazer conhecer podem ser reduzidos a duas cathogorias:

1.º Se se aproxima parallelamente a um circuito atravessado pela corrente d'uma pilha voltaica outro circuito fechado, desenvolve-se immediatamente n'este ultimo uma corrente induzida em sentido inverso. Ora como duas correntes parallelas e de sentido contrario se repellem, a corrente induzida *tende a oppor-se* á aproximação dos dois circuitos.

2.º Se se affastar parallelamente d'um circuito atravessado pela

corrente d'uma pilha electrica outro circuito fechado, desenvolve-se uma *corrente directa* e do *mesmo sentido*. Ora, como duas correntes parallelas e do mesmo sentido se attráem, esta corrente tende a oppôr-se ao affastamento dos dois circuitos.

D'estes dois factos, resultantes da acção dos magnetes sobre os circuitos, deduz-se uma formula geral, chamada *lei de Lens*, do nome do physico russo que a estabeleceu :

*Ô deslocamento d'uma corrente electrica ou d'un magnete, situados na visinhança d'um circuito fechado, desenvolve n'esse circuito uma corrente induzida de sentido contrario ao que seria capaz de produzir esse deslocamento, ou o que quer dizer o mesmo, uma corrente que tende a oppor-se ao movimento produzido.*

Todos os phenomenos d'inducção, sejam elles quaes forem, estão sujeitos a esta lei, que permite, dada a posição d'uma corrente ou magnete inductores, prever a direcção das correntes induzidas.

594. EXTRA-CORRENTES. — Quando fechamos ou interrompemos o circuito d'uma pilha, desenvolvem-se correntes d'inducção no proprio fio, as quaes são inversas no primeiro caso e directas no se-

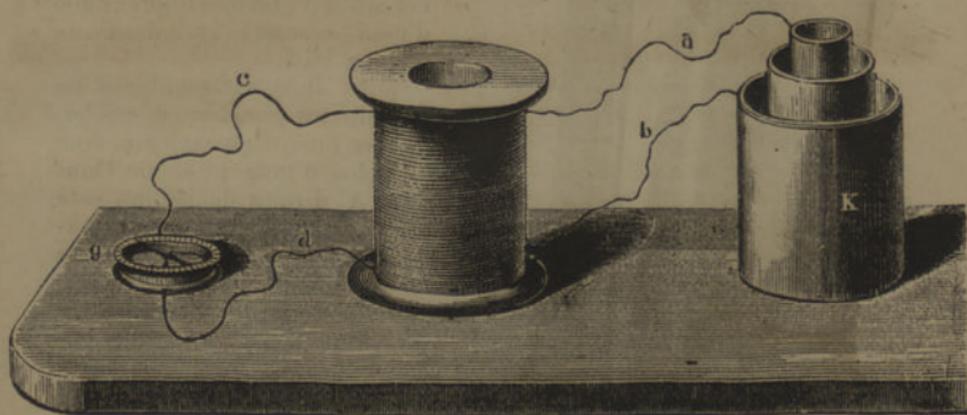


Fig. 208

gundo (fig. 208). As primeiras diminuem, pois, a intensidade da corrente principal, enquanto que as segundas a augmentam. Dá-se a estas correntes induzidas o nome de *extra-correntes*.

595. MACHINAS D'INDUCÇÃO. — Chamam-se assim osapparelhos que utilizam as correntes d'inducção. Conforme a especie d'inducção, assim as machinas recebem o nome de *electro-voltaicas* ou *electro-magneticas*. Ha ainda uma especie de machinas em que a electricidade induzida se desenvolve pelo movimento, sem acção de pilhas ou magnetes. Essas recebem o nome de *dynamo-electricas*.

Como exemplo das machinas d'inducção electro-voltaicas, temos o inductor de *Ruhmkorff*; como exemplo das magneto-electricas temos as de *Gramme*. Note-se que ha tambem machinas de *Gramme electro-voltaicas* e essas são mesmo as mais poderosas.

596. INDUCTOR DE RUHKORFF. — Esta bobina compõe-se d'un

cylindro de madeira, em que estão enrolados, primeiro, um fio grosso de 40 metros de comprimento e 2 millimetros de diametro que é o fio *inductor*, e exteriormente um outro muito mais fino e tendo de comprimento muitos kilometros que é o fio *induzido*. Formam ambos uma bobina de 15 a 20 centimetros de diametro, terminando por dois discos de vidro que servem para isolal-a, e cujos fios inductor e induzido são cercados d'algodão impregnado d'uma camada isoladora de gomme laca.

As duas extremidades do fio inductor prendem-se aos botões *cc* que communicam com os polos d'uma pilha de *Bunsen*. A' direita da bobina está um pequeno aparelho chamado *commutador* que permite fechar e abrir á vontade o circuito e ainda fazer entrar a corrente alternativamente pelos botões *cc*. Este commutador é constituído por um pequeno cylindro de marfim, tendo duas chapas metallicas que deixam entre si intervallos. Duas molas d'aço, communicando com o fio inductor, estão em contacto com esse cylindro, de maneira que a corrente passa ou interrompe-se, segundo o cylindro toca o metal ou o marfim. As extremidades do fio induzido, depois de terem atravessado o disco de vidro, representado á esquerda da

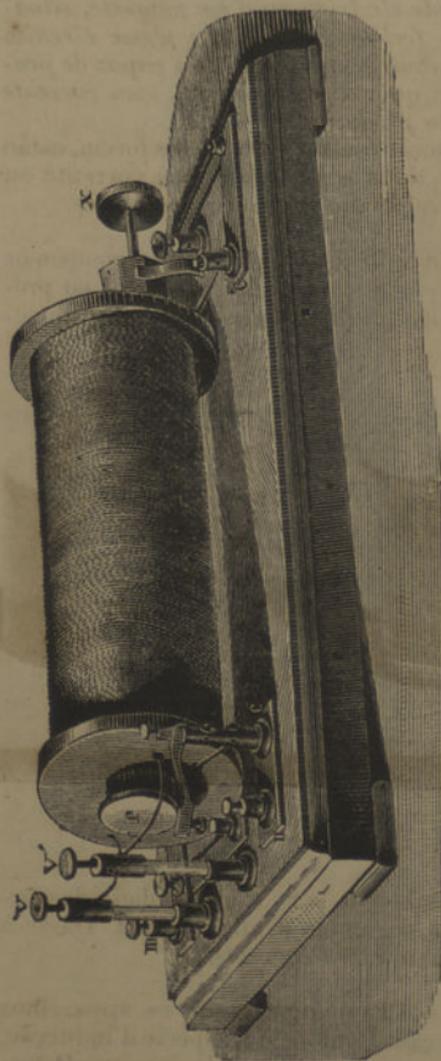


Fig. 209

figura, prendem-se aos botões *V* e *V'* que são supportados por duas

columnas de vidro isoladores. No interior da bobina ha um feixe de fios de ferro macio P que tem por fim reforçar a corrente induzida e uma das extremidades do qual faz saliencia para fora da bobina. Por baixo d'elles está um pequeno apparatus, chamado *interruptor*, destinado a produzir vibrações rapidas, por meio das quaes a corrente é interrompida e restabelecida immediatamente.

A fig. 210 permittirá mais facilmente comprehender a sua dis-

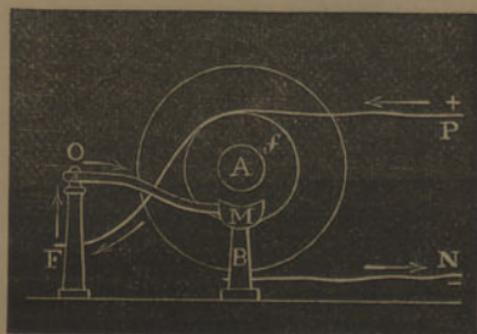


Fig. 210

posição. A, é o feixe de fios de ferro collocado no interior da bobina; B, uma pequena columna isolada do solo e situada por baixo de A, chamada *bigorna*; M um pequeno martello de ferro macio, que póde oscillar livremente entre A e B e se articula em O com uma outra columna metálica isolada.

A corrente, partindo do polo positivo P da pilha, depois de ter percorrido o fio inductor chega, pela colum-

na F, ao martello M, d'onde passa pela columna B ao polo negativo da pilha. Enquanto isto se passa, o feixe de fios de ferro magnetisa-se e attráe o martello M que se separa então da columna B, ficando a corrente interrompida. Immediatamente o feixe A perde o magnetismo, o martello cáe, e, estando de novo o circuito fechado, reproduzem-se os phenomenos já indicados. Este movimento do martello é extremamente rapido, de modo que o circuito inductor abre-se e fecha-se um grande numero de vezes por segundo.

A cada vez que se abre e fecha o circuito, desenvolvem-se no fio induzido correntes directas ou inversas, das quaes as primeiras, sobretudo, teem uma grande intensidade, o que junto á tensãõ devida á resistencia do fio induzido, explica a força extraordinaria do appa- relho.

597. EFEITOS DO INDUCTOR DE RUHKORFF. — Os effeitos do inductor de Ruhmkorff são proximamente os dos condensadores e pilhas, mas a sua energia depende de circumstancias inherentes ás correntes d'inducção.

Os *effeitos physicas* produzidos são, como nas pilhas, desenvolvimento de calor e luz. Um fio de ferro, estendido no trajecto da corrente induzida, funde-se e arde immediatamente. Se se interpõem na mesma corrente duas hastes de cobre, obteem-se phenomenos luminosos de tal natureza que se podem produzir faiscas do comprimento d'alguns decimetros, atravessando laminas de vidro de cinco a seis centimetros d'espessura. Se fizermos passar a corrente em tubos encerrando gazes ou vapores rarefeitos chamados tubos de



Fig. 211

Geissler (fig. 211) produzem-se luzes de côres variadas extremamente brilhantes, interrompidas em certos pontos por fachas ou intervallos obscuros que as fazem parecer estratificadas.

Os phenomenos physiologicos que determina são tambem notaveis pela intensidade. Pondo-o em communicação com um unico elemento de Bunsen, a commoção que se experimenta é violenta. Bastam dois elementos para matar um coelho, e tudo leva a crêr que, com um numero mais consideravel d'elementos, o homem seria rapidamente fulminado.

598. MACHINA DE CLARKE. — Este apparelho compõe-se d'um magnete poderoso fixo A diante do qual está collocado um electro-magnete BB, movel em torno d'um eixo horisontal e susceptivel de tomar um movimento de rotação muito rapido por meio d'uma manivella M, ligada a uma correia sem fim. O eixo de rotação do electro-magnete é formado por uma haste de metal coberta de marfim e sobre elle estão assentes dois aneis de cobre sobre os quaes vem assentar as duas molas  $r$  e  $r'$ . O anel em que se apoia a mola  $r$ , isolado do eixo pela bainha de marfim, comunica directamente com as duas extremidades anteriores dos fios da bobina; o anel em que se apoia a mola  $r'$  está pelo contrario ligado ao eixo por intermedio d'um parafuso que põe este anel em communicação com os topos posteriores dos fios das bobinas, soldados a esse mesmo eixo. Os dois aneis representam pois os polos das correntes que se desenvolvem nas bobinas.

As duas molas  $r$  e  $r'$  que durante a rotação do eixo roçam d'encontro aos aneis para recolherem as correntes são sustentadas por duas hastes metallicas, collocadas ao lado d'um parallepipedo de madeira C, e munidas de botões que se ligam ás extremidades dos fios  $f$  e  $f'$  do circuito exterior.

Sendo posta em movimento a machina, e passando cada uma das bobinas BB' diante dos polos contrarios do magnete A, originar-se-hão n'ellas correntes alternativas cujo sentido mudará a cada meia revolução. Duas correntes contrarias passarão, pois, em cada volta completa do eixo, em cada uma das molas e d'ahi ao circuito exterior. Um voltmetro V, collocado n'este circuito, fornecerá em cada um dos seus provetes, quantidades eguaes d'uma mistura d'oxygenio e hydrogenio.

Quando se queiram, porém, obter correntes em sentido invariavel, annexa-se ao apparelho um commutador analogo ao do inductor de Ruhmkorff.

O commutador compõe-se de duas meias virolas de cobre applicadas sobre o marfim que reveste a parte anterior do eixo de rotação, e isoladas uma da outra por dois pequenos intervallos diametralmente oppostos e situados no mesmo plano que os eixos das bo-

binas. Estas meias virolas communicam, uma com os dois topos anteriores dos fios da bobina, e outra com os fios posteriores.

Postas as duas molas collectoras  $r$  e  $r'$  em communicação com

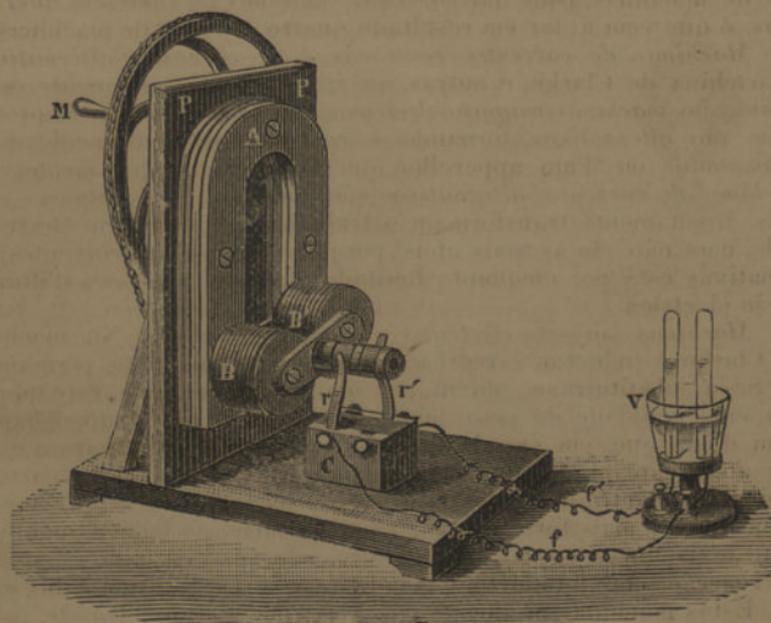


Fig. 212

este systema, cada uma das duas meias virolas passa successivamente d'uma mola a outra, exactamente na mesma occasião em que as correntes mudam de sentido. O circuito exterior será, pois, atravessado por correntes *no mesmo sentido*. O voltmetro  $O$  fornecerá separadamente hydrogenio n'um dos provetes e oxygenio no outro.

## CAPITULO IV

### Novas machinas d'inducção

Machinas magneto-electricas e dynamo-electricas; de corrente continua e de correntes alternativas; auto-excitadoras. Machina Alliança. Machinas Gramme. Reversibilidade das machinas d'inducção. Transporte da força.

599. CLASSIFICAÇÃO DAS MACHINAS ELECTRO-MAGNETICAS.— As machinas electro-magneticas dividem-se, quanto aos seus effeitos, em

*machinas de correntes continuas e machinas de correntes alternativas.* Debaixo do ponto de vista da causa, dividem-se em *machinas magneto-electricas* e *dynamo-electricas*. Cada uma d'estas ultimas especies de machinas, póde dar *correntes continuas* ou *correntes alternativas*, o que vem a dar em resultado quatro especies de machinas.

*Machinas de correntes continuas e de correntes alternativas.* A machina de Clarke, e outras, que iremos successivamente estudando, são *machinas magneto-electricas*, em que as correntes produzidas são *alternativas*, tornando-se *continuas* por intermedio d'um commutador ou d'um aparelho que funcione analogamente. As *machinas de correntes alternativas* são, pois, as mais simples e que mais directamente transformam o trabalho mechanico em electricidade, mas não são as mais uteis, porquanto o uso das correntes alternativas está por emquanto limitado a alguns processos d'illuminação electrica.

*Machinas magneto-electricas e dynamo-electricas.* Na machina de Clarke o inductor é representado por um magnete permanente. Se o substituímos, porém, por um electro-magnete, este adquirirá, em egualdade de peso, maior poder magnetico. Supponhamos além d'isto que, em vez de fazer passar directamente para o exterior a corrente produzida, se faz atravessar no todo ou em parte, a bobina do electro-magnete inductor; succederá que o inductor se tornará tanto mais forte e induzirá a seu turno na bobina uma corrente mais forte, a qual augmentará cada vez mais pelo effeito da sua reacção sobre o inductor e pela influencia d'este ultimo sobre ella.

Estas machinas produzem pois electricidade *sem magnete*, parecendo que transformam directamente o trabalho mechanico em electricidade, motivo pelo qual se chamam *dynamo-electricas*. Para que estas machinas possam funcionar, é necessario admittir que o electro-magnete inductor recebeu uma excitação prévia. Effectivamente ao principio assim se procedia, mas Siemens fez notar que não era preciso empregar uma corrente excitadora, mas simplesmente tocar os nucleos de ferro macio com um magnete permanente ou collocar-se o electro-magnete parallelamente á agulha d'inclinação.

Na pratica, nem isso é preciso porque, qualquer que seja a posição dos electro-magnetes inductores, o magnetismo terrestre actua por modo a dispensar a excitação.

600. MACHINA DE NOLLET OU DA ALLIANÇA. — Esta machina, imaginada pelo professor Nollet, e chamada da Alliança do nome da companhia que a tem explorado, não é mais do que uma machina de Clarke em ponto grande.

Consiste n'um corpo circular de ferro fundido (fig. 213), no contorno do qual estão travessas de madeira, sustentando oito series horizontaes de feixes magneticos, curvados em fórma de ferradura e capazes de supportarem um peso de sessenta kilogrammas. Estes feixes, em numero de cinco em cada serie, estão aggrupados de modo que os polos de nome contrario ficam em correspondencia.

Um eixo horizontal de ferro, indo d'uma a outra extremidade do corpo central, tem quatro discos ou rolos de bronze correspondentes aos intervalos que ficam entre as series verticaes de feixes magneticos, e na circumferencia dos quaes estão fixas dezeseis bobinas cylindricas, tendo cada uma um nucleo de ferro macio. Os fios d'estas bobinas, cobertas d'uma camada de betume, estão todos enrolados no mesmo sentido e communicam entre si. Como na machina de Clarke, o conjuncto d'estes fios põe-se em relação, d'um lado com o eixo e do outro com uma peça metallica fixa n'esse mesmo eixo, de que está isolada por um envoltorio de marfim. Dois pequenos marcos, fixos na parte superior do corpo central, e communicando um com o eixo e outro com a peça metallica de que acabamos de fallar, recebem os fios destinados a levarem as correntes aos apparelhos em que devem ser empregadas.



Fig. 213

dezeseis pólos alternativamente contrarios dos feixes magneticos, produz oito correntes directas ou inversas, o que, sommado, se traduz por 4:000 correntes alternativas por minuto, quando a velocidade média seja de 250 voltas.

O mesmo effeito se produz em cada uma das 64 bobinas sustentadas pelos quatro rolos; mas estando os fios d'essas bobinas todos enrolados no mesmo sentido e communicando entre si, os seus effeitos sommam-se aos primeiros, simplesmente no que respeita á intensidade.

Se se quizessem produzir correntes no mesmo sentido, obter-se-hia esse resultado por meio d'um *commutador* similbante ao da machina de Clarke e collocado como elle no eixo de rotação. Póde-se tambem, como n'uma pilha ordinaria, mudar as communicações das bobinas entre si, e reunil-as assim em tensão ou em quantidade.

A machina de Nollet é principalmente empregada na illuminação electrica a grandes distancias e em especial nos pharoes mari-

timos, preferencia que lhe é dada pela regularidade do seu funcionamento.

601. MACHINA MAGNETO-ELECTRICA DE GRAMME.—Para bem comprehendermos a construcção e o modo de funcionar d'esta machina, precisamos d'entrar em alguns esclarecimentos preliminares.

Supponhamos um anel vertical de ferro macio (fig. 214), collocado entre os ramos verticaes d'um magnete M em fórma de ferradura,

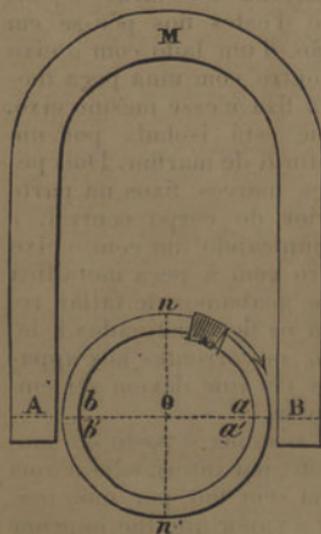


Fig. 214

que junta os polos A e B do magnete. Imaginemos ainda que uma pequena bobina *s* póde girar sobre o anel por fórma a percorrer toda a sua circumferencia.

Os dois polos A e B, actuando sobre o ferro macio, magnetizam-n'o, dividindo-o em duas metades *bna* e *b'n'a'*, situadas uma por cima da outra e tendo os polos do mesmo nome em correspondência, ficando fronteiras as linhas neutras *n* e *n'*. O anel comporta-se da mesma maneira que o fariam dois magnetes semi-circulares, reunidos pelos polos do mesmo nome.

Supponhamos agora que a bobina *s*, collocada primeiro n'um ponto visinho da linha neutra, vae caminhando no sentido indicado pela flecha. A experiencia e o calculo mostram que o seu circuito será atravessado por uma serie de correntes induzidas, cuja intensidade irá augmentando de *n* para *a*, e diminuindo d'este ponto para *n'*.

Estas correntes terão sempre o mesmo sentido em toda a semi-revolução *naa'n'*.

Quando a bobina chega a *n'*, isto é, a egual distancia dos polos *aa'* e *bb'*, a corrente torna-se nulla, mas, continuando a sua marcha, produz-se uma nova corrente que irá augmentando da mesma sorte até *bb'*, e diminuindo d'esses pontos praa *n*, corrente que tem um sentido *inverso* ao da primeira e se torna nulla em *n*.

A acção inductora que os polos A e B exercem sobre a bobina somma-se á produzida pelo anel magnetisado. Os phenomenos que acabamos de estudar serão os mesmos, se, em vez de ser a bobina que se mova sobre o anel estiver ella fixa e seja este o que se desloque n'um movimento de rotaçao em torno do seu eixo. N'este caso os duplos polos *aa'* e *bb'*, comquanto se desloquem na massa do anel, são *fixos no espaço* em relação aos polos A e B do magnete M. A bobina *s* affastar-se-ha ou aproximar-se-ha mais d'estes polos, da mesma maneira que o faria se se movesse sobre o anel.

Comprehendido isto, facil é ver que, se em vez d'uma só bobina, dispozermos no contorno do anel uma serie de bobinas  $s, s, s, s$  (fig. 215), todas as que estiverem collocadas para a direita da linha de divisão  $nn'$  serão atravessadas por correntes no mesmo sentido, e as que estiverem para a esquerda por correntes inversas das precedentes. Supponhamos que entre estas bobinas estão collocadas laminas radiantes de cobre  $c, c, c, c$ , presas ao anel, de maneira a girarem com elle á volta do eixo  $o$ , e que a cada uma d'estas laminas estão reunidos o topo inicial d'uma bobina e o terminal d'outra consecutiva.

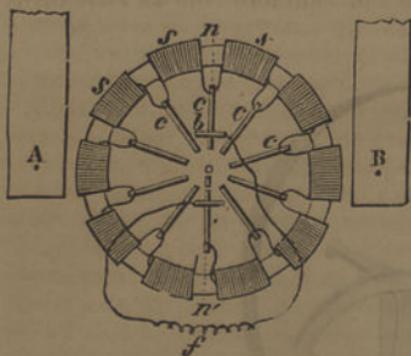


Fig. 215

Juntemos a este systema que fórma um circuito fechado duas pequenas peças metallicas chamadas *collectores*, fixas perpendicularmente á linha neutra, e n'uma posição tal que cada uma das laminas radiantes se venha pôr em contacto com ellas. Estas peças, reunidas por um fio conductor  $f$ , recolherão a cada revolução do anel as correntes dos dois systemas de bobinas, collocados á direita e á esquerda de  $nn'$  e achar-se-hão nas mesmas condições que se estivessem reunidos aos dois polos d'uma pilha. O fio  $f$  será atravessado por uma corrente constante em intensidade e direcção, enquanto o anel girar com a mesma velocidade e no mesmo sentido.

Tal foi a disposição adoptada por Gramme para as suas machinas que têm a vantagem de produzir correntes no mesmo sentido, ao inverso do que succedia com as magneto-electricas até hoje conhecidas.

Compõe-se este apparelho de um magnete fixo  $M$  (fig. 216), collocado verticalmente, e que é construido, segundo o systema de Jamin, pela junção d'uma serie de 24 laminas, reunidas pelos polos d'egual nome e magnetisadas separadamente. Nas duas extremidades do feixe, estão fixas duas armaduras de ferro doce que constituem os polos  $A$  e  $B$  d'este poderoso magnete.

O anel é formado, não como o supuzemos ha pouco, feito d'uma só peça, mas por uma serie de fios de ferro macio, soldados em anneis e sobrepostos de maneira a constituirem um circuito completo. Em torno d'estes fios de ferro estão applicadas diferentes bobinas de fios de cobre reunidas successivamente, como dissemos ha pouco, por laminas de cobre radiantes. Estas laminas, em vez de rectilineas, como as supuzemos, são em fórma de esquadro, cujos ramos horisontaes são collocados em torno d'um eixo isolador de madeira ou marfim, sendo separados entre si tambem por fitas de seda ou qualquer outra substancia isoladora.

Sobre este eixo, a que as laminas dos esquadros dão uma fórma

camelada, vem apoiar-se dois pequenos pinceis ou *escovas collectoras* de latão, fixas ás laminas metallicas G e H.

D'ellas partem fios destinados a transmittirem as correntes recolhidas á medida que vem pôr-se em contacto com os esquadros diametralmente oppostos.

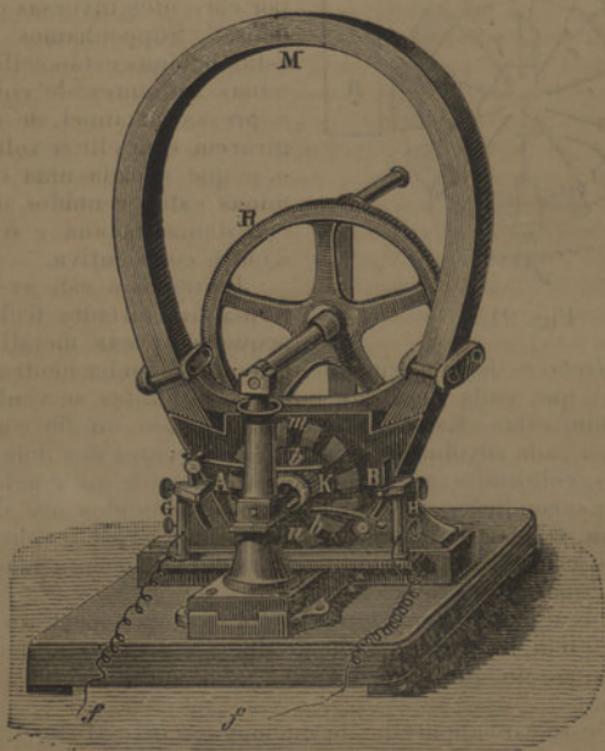


Fig. 216

Move-se o apparelho por meio d'uma manivella e d'uma roda dentada R. Com uma velocidade de 10 voltas por segundo, produz os mesmos effeitos que uma pilha de Bunsen de 8 a 10 elementos.

602. MACHINA DYNAMO-ELECTRICA DE GRAMME. — A ideia em que se funda esta especie de machinas é a de substituir os magnetes permanentes por electro-magnetes, aos quaes se pôde dar um poder magnetico muito maior. A machina dynamo-electrica de Gramme compõe-se de dois cylindros de ferro macio, collocados horisontalmente um por baixo e outro por cima do anel movel e conservados n'esta posição por intermedio de dois montantes de ferro fundido. Nos cylindros de ferro está enrolado um grosso fio de cobre coberto d'uma canada isoladora e collocado no circuito das correntes indu-

zidas que gera a rotação do anel. Representa, pois, este systema dois electro-magnetes inductores, um collocado á esquerda e o outro á direita, e dispostos de maneira que, quando uma mesma corrente os atravessa, os polos estão em frente um do outro.

Duas armaduras de ferro macio, applicadas uma sobre uns dos polos e outra sobre os outros, reúnem cada dois d'estes polos n'um, de modo a constituírem dois polos unicos que communicam acima e abaixo do anel movel, n'um arco um pouco menor que meia circumferencia, e que o não toca. Entre as duas armaduras gira o anel que é, salvas as dimensões, exactamente similhante ao da machina magneto electrica precedentemente descripta. O nucleo de fio de ferro, os esquadros e as bobinas funcionam da mesma maneira. Todo o apparatus é posto em movimento por uma machina a vapor, cuja arvore tem uma correia sem fim que vem passar n'um tambor, situado nas extremidades do eixo, ao qual está fixo o anel.

O modo de funcionar da machina é similhante ao da machina anterior. Estando o circuito fechado e começando a girar o anel, o magnetismo remanescente que sempre existe no ferro macio e que se desenvolve sob a acção da terra basta para que uma corrente se desenvolva nas bobinas do anel; esta, passando ao electro-magnete, reforça o magnetismo do ferro macio que, por seu lado, aumenta as correntes induzidas do anel.

603. APPLICAÇÕES DA MACHINA DE GRAMME. — O facto de se desenvolverem n'estas machinas correntes continuas, sempre no mesmo sentido, torna-as proprias para substituírem as pilhas, com a vantagem de não fazerem despeza quando estão em repouso.

Assim se aproveitam em muitas experiencias de physica e chimica e ainda n'um grande numero d'applicações industriaes, as mais importantes das quaes são a galvanoplastia, o desenvolvimento da luz electrica e o transporte a distancia de forças motrizes.

604. MOTORES ELECTRICOS. — A ideia d'aproveitar a electricidade como força motriz não é nova. Desde 1839 que eram conhecidos numerosos apparatus d'esta ordem que se baseavam sobretudo na propriedade que tem o ferro doce de se magnetisar e desmagnetisar. Estes apparatus tinham, porém, uma complicação extraordinaria, e não passavam de curiosidades scientificas sem applicações praticas de qualquer ordem que fossem. Só depois da descoberta das machinas de Gramme é que o problema se modificou muito na sua solução, porquanto estas machinas, que foram construidas apenas com o fim de desenvolverem economicamente grandes quantidades d'electricidade, vieram constituir os melhores motores electricos conhecidos.

Está ligada a resolução actual do grande problema á doutrina da *reversibilidade* que vamos succintamente expôr. Se tomarmos duas machinas de Gramme magneto-electricas, reunirmos os seus fios conductores de maneira a collocal-os no mesmo circuito, e fizer-

mos girar á mão uma d'ellas, observa-se que a outra começa a mover-se de per si em sentido inverso, e, se o circuito exterior não fôr muito longo, com uma velocidade proximamente igual. E' isto o que se chama *reversibilidade*, cujo principio se póde traduzir no seguinte enunciado: *Toda a machina que produz electricidade dispendendo trabalho, póde inversamente produzir trabalho dispendendo electricidade.*

Comprehende-se facilmente que, se empregarmos a força produzida por uma queda d'agua para desenvolver electricidade n'uma machina de Gramme, podemos utilisar a grande distancia esta força, fazendo passar a corrente electrica produzida n'uma outra machina d'igual natureza, collocada no sitio em que se quer aproveitar o trabalho mechanico.

A primeira tentativa feita para levar a distancia a força d'uma machina dynamo-electrica foi feita na exposição universal de Vienna em 1873, com duas machinas de Gramme que estavam distantes entre si um kilometro e que eram empregadas, uma em produzir electricidade e a outra em fazer funcionar uma bomba d'elevaer agua. Posteriormente tem-se empregado em trabalhos de lavoura, na tracção de carros, etc.

Não é possível inaugurar por enquanto quaes serão as applicações futuras d'electricidade; mas certamente vamos assistindo a uma revolução completa que deixará conquistas extremamente valiosas.

## CAPITULO V

### Iluminação electrica. Telephone

Iluminação electrica pelo arco voltaico. Reguladores. Vellas de Jablokoff. Iluminação por incandescencia. Lampadas de Edison. Telephones. Microphones.

605. ILLUMINAÇÃO ELECTRICA. — A applicação da luz electrica á illuminação exige disposições especiaes que se podem reduzir a quatro elementos: os geradores d'electricidade, os carvões, os reguladores mechanicos, e as vellas.

1.º *Geradores.* Os geradores empregados na illuminação electrica são de duas ordens: *as pilhas e as machinas d'inducção.*

As pilhas empregadas são as de corrente continua, e d'estas principalmente a de Bunsen que, como dissemos, é a mais poderosa de todas. Fica, todavia, muito dispendiosa a alimentação da luz electrica por meio das pilhas, porque é preciso uma grande quantidade d'elementos para se produzir uma luz bastante intensa.

Abandonaram-se, pois, estas geralmente, e lançou-se mão das

machinas d'inducção que fizemos conhecer e que têm a vantagem de produzirem grandes quantidades de electricidade sem tamanho dispendio.

Como, porém, ha um transporte continuo de carvão do polo positivo para o polo negativo, o primeiro gasta-se primeiro do que o segundo. Para obviar a este inconveniente, empregam-se as machinas de correntes alternativas que, mudando a cada instante de direcção, determinam gasto igual da parte dos carvões. Taes são a machina da Alliança e a dynamo-electrica de Gramme.

Com esta ultima, movendo-se com uma velocidade de 1:000 a 1:200 voltas por minuto, podem-se alimentar até sessenta vellas espaçadas 30 a 40 metros, o que equivale a 100 lampadas Carcel.

2.º *Carvões.* Os carvões necessarios para se obter uma luz electrica bem duradoura devem ser duros, compactos, bons conductores da electricidade, e, conservando todos estas propriedades, gastarem-se com difficuldade. Durante muito tempo fez-se uso d'uma especie de coke que se deposita nas retortas em que se prepara o gaz d'illuminação pela distillação da hulha, mas esta especie de carvão tinha muitos inconvenientes, dos quaes o principal era a difficuldade de o trabalhar em varas delgadas e compridas.

Hoje emprega-se um carvão especial, preparado por Carré e formado d'uma mistura de coke pulverisado, negro de fumo calcinado e xarope commum, adicionado de gomma. Esta mistura é submettida, no estudo de pasta, á acção da prensa hydraulica que, passando-a por uma feira, a reduz a varinhas de pequena espessura que depois são endurecidas e condensadas, introduzindo-se n'um forno e em cadinhos aquecidos ao rubro. Este novo carvão concorreu muito para os progressos da illuminação electrica.

3.º *Reguladores mechanicos.* Demonstrou a experiencia que o comprimento a dar ao arco voltaico, e por conseguinte a distancia que ha-de separar os dois carvões, deve ser metade d'aquella em que o phenomeno deixa de produzir-se. No ar, esta distancia é d'um centimetro pouco mais ou menos.

Acontece, porém, que, com o transporte de particulas de carvão d'um para outro polo da pilha, e bem assim pela sua combustão no ar, a distancia que separa os carvões vae augmentando, e a consequencia que d'isto resulta é a diminuição do brilho e finalmente a sua extincção.

Necessario foi recorrer a apparatus que tivessem por funcção aproximar os dois carvões á medida que se iam gastando, conservando assim uma distancia constante. Os apparatus construidos n'estas condições receberam o nome de *reguladores mechanicos*, a que andam ligados os nomes de Foucault, Dubosc e Serrin. Todos consistem n'um systema de rodas dentadas, cujo movimento, executado por uma mola de relógio ou por pesos, tende a aproximar os carvões. O apparatus é regulado por um *electro-magnete* collocado na corrente que produz a luz e que sustenta uma lamina de ferro macio munida d'uma mola antagonista.

Emquanto os carvões estão á distancia precisa, a electricidade

dá ao electro-magnete a força necessaria para fixar contra si a peça de contacto que n'esta posição trava uma das rodas do apparatus, não consentindo a aproximação dos carvões. Quando a distancia augmenta, diminue a força do magnete, deixando de ter resistencia sufficiente para impedir o movimento que aproxima os carvões, sendo impedido, logo que chegam á distancia conveniente, porque de novo é travada uma das rodas. Assim se consegue regularisar o movimento dos carvões, conservando-os a uma distancia proximamente constante.

3.<sup>o</sup> *Vellas electricas. Vellas de Jablockoff.* Emquanto foi necessario recorrer aos reguladores para manter a uma distancia constante os carvões do apparatus destinado a produzir a luz electrica, esta teve muito restrictas applicações. Jablockoff, porém, conseguiu, em 1876, encontrar um meio de supprimir completamente os reguladores, e desde então a illuminação electrica tem progredido extraordinariamente. Jablockoff pensou em collocar os pedaços de carvão, não topo a topo, mas parallelamente, a uma certa distancia um do outro; assim não haveria razão para preoccupações por causa do desigual comprimento dos carvões cujas extremidades, consumindo-se, deixavam entre si o mesmo afastamento. Faltava reunir os dois lapis de carvão por uma substancia isoladora, capaz de se volatilisar conjunctamente com elles, e o physico russo empregou ao principio o kaolino, especie de barro de que se faz a porcellana, substituindo-o mais tarde por uma mistura de gesso e sulfato de bario. Tal como hoje são empregadas, as vellas de Jablockoff compõem-se de dois lapis finos de carvão, de 4 millimetros de diametro e 25 a 30 centimetros de comprimento, collocados parallelamente e separados entre si por uma lamina isoladora, formada da mistura acima indicada, de 3 millimetros de largura por 2 d'espessura. Os topos superiores são talhados em ponta, e reunidos por uma mistura de coke e plumbagina com o fim d'estabelecer mais facilmente o desenvolvimento da luz.

Cada vella assim preparada é fixa a um supporte metallico, tendo uma pinça que está em communicação com a corrente, mas com os ramos isolados, de maneira que ella sóbe por um dos carvões e desce pelo outro.

As vellas podiam funcionar com as correntes continuas, mas seria preciso que o carvão em relação com o polo positivo fosse d'espessura dobrada, razão esta que determina o emprego de correntes alternativas, que, fazendo variar os polos dos carvões, permite que estes se vão gastando por igual.

606. ILLUMINAÇÃO POR INCANDESCENCIA. — O grande poder illuminante do arco voltaico permittiu applical-o com excellentes resultados á illuminação dos pharoes, das praças publicas, etc.; mas o seu excessivo brilho e as suas outras qualidades tornavam-n'a impropria para os usos domesticos. Satisfaz perfeitamente a esse importante fim a *illuminação por incandescencia* que póde ser de dois modos: a *incandescencia ao ar livre* e a *incandescencia no vacuo*.

1.<sup>o</sup> *Incandescencia ao ar livre.* Vimos que na illuminação do arco voltaico era a incandescencia das duas pontas de carvão collocadas uma em frente da outra que determinava a maior parte da luz. O proprio arco deve o seu brilho ás particulas de carvão que vão d'um a outro polo, e portanto póde supprimir-se. A luz perderá em intensidade, mas ganhará em brancura. Assim se obtem a *incandescencia ao ar livre*, devida ao physico francez Emilio Reynier.

A disposição do apparelho é levemente differente da empregada para a illuminação por arco voltaico. Em vez de duas varetas de carvão collocadas topo a topo, Reynier só emprega uma, a superior, estando a inferior substituída por um disco circular de carvão movel em torno d'um eixo horisontal. A vareta de carvão apoia-se ao disco, mas um pouco para a frente do seu eixo, de modo que descendo pelo seu proprio peso e pelo da peça metallica que a sustenta, imprime a esse disco, á medida que se vae consumindo, um ligeiro movimento de rotação. A vareta superior está em communicação com o polo positivo da fonte d'electricidade, ao passo que o disco se acha em relação com o polo negativo. Entre o cylindro e a vareta de carvão é que se produz a luz, devida á incandescencia da segunda e dos pontos do disco em que se apoia.

Este systema foi modificado por Werdermann, invertendo a disposição do apparelho, ficando em cima o cylindro e em baixo a vareta que sóbe por meio d'um contrapeso. Esta disposição teve em vista supprimir a sombra projectada pelo disco de carvão que prejudicava a intensidade da luz.

2.<sup>o</sup> *Incandescencia no vacuo.* A incandescencia no vacuo differe da que se realisa ao ar livre em que o corpo illuminante interposto no circuito, em vez de ser dividido em dois fragmentos que se podem affastar ou aproximar, conserva a sua continuidade d'um polo a outro. O principio em que se baseia é o facto já conhecido de que se reunirmos os conductores d'uma pilha de grande intensidade por um fio delgado de platina, este se aquece, passa ao rubro e depois ao branco, chegando a fundir-se e a volatilizar-se. A este systema se dá o nome de *illuminação por incandescencia* propriamente dita.

A primeira lampada d'incandescencia propriamente dita foi imaginada e construída em 1841 por um engenheiro inglez, Frederico Moleyns. Compunha-se d'uma espiral de fio de platina encerrada n'um globo de crystal cujas extremidades communicavam no exterior com os dois rheophoros d'uma pilha voltaica. Mas a difficuldade de regular a corrente de maneira a evitar a fusão do metal, tornou infructuoso este primeiro ensaio.

Desde então teem-se feito numerosas tentativas, seguidas de vario exito, ficando o problema resolvido depois que Edison inventou a lampada que tem o seu nome. O que caracteriza esta lampada, assim como outras que se lhe seguiram, é o emprego como corpo illuminante d'um filamento de carvão, em vez de fio de platina de Moleyns. Não era facil de realisar a preparação d'estes carvões que deviam ser muito finos e ao mesmo tempo flexiveis e tenazes. Depois de ter feito numerosos ensaios, Edison conseguiu resolver o

problema, fabricando os carvões com uma especie de bambu, muito commun no Japão. Estas fibras muito compridas e flexiveis podem tomar com facilidade todas as fórmãs, depois do que só falta carbonisal-as em vaso fechado. A fórmula a que Edison deu a preferencia é a d'uma ferradura alongada.

Assim preparados, os carvões são encerrados, ou isoladamente, ou em numero de dois, tres ou quatro, conforme a quantidade de luz que se quer produzir, em ampolas de vidro em fórmula de pera, e sustentadas verticalmente por duas pequenas pinças de platina que servem para dar passagem á corrente electrica. Cada ampola está completamente privada d'ar, o que tem por effeito, não só impedir os carvões de se consumirem, mas ainda dar maior brilho á luz.

Logo que passa a corrente, produz-se a incandescencia do carvão, dando logar a uma luz branca, fixa, e que não magôa a vista. D'ahi a generalisação que tem tido. Uma lampada Edison pôde durar tres ou quatro mezes em serviço quotidiano.

607. TELEPHONE. — Chama-se *telephone* todo o instrumento destinado a transmittir o som a distancia. O mais empregado é de Bell que é uma applicação do electro-magnetismo. Este instrumento compõe-se de doisapparelhos completamente eguaes e que funcionam alternativamente como *transmissor* e *receptor*.

Cada um se compõe d'uma barra d'aço magnetisado A, tendo na sua extremidade uma bobina inductora B, em que está enrolado um longo fio de cobre coberto de seda, cujos dois topos *f* e *f'*, depois de

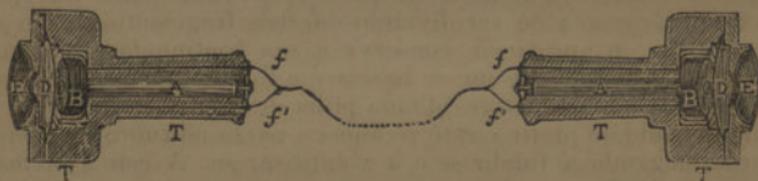


Fig. 217

terem atravessado o estojo de madeira F que contem todas as peças do apparelho, se reúnem e continuam com a linha que reúne as duas estações telephonicas.

Diante do topo de magnete A e perpendicularmente no seu eixo está uma lamina delgada de ferro D, de 6 a 7 centimetros de diametro, encaixada n'um bocal de madeira E que faz corpo com o estojo. A distancia que separa a lamina do magnete deve ser o mais curta possivel, sem que todavia o possa tocar.

Se diante d'este apparelho se produzirem sons, estes communicarão as suas vibrações á lamina do transmissor, a qual, afastando-se ou aproximando-se da extremidade do magnete, desenvolverá no fio envolvente correntes induzidas que serão transmittidas pelo conductor ao electro-magnete receptor, modificando a sua energia e

fazendo-lhe executar ondulações que se communicam á lamina vibrante que reproduz os sons recebidos no transmissor. A altura e timbre dos sons não são modificados; apenas diminue a sua intensidade.

608. MICROPHONE. — O *microphone* é um instrumento que tem por fim a ampliação dos sons. A disposição d'este aparelho é a seguinte :

N'um suporte vertical de madeira estão fixos dois pequenos dados de carvão, nos quaes se introduzem as extremidades talhadas em ponta romba d'um lapis de carvão cujo topo superior póde oscillar á menor trepidação no dado superior. Este systema está collocado, por meio de dois botões, n'um circuito voltaico que communica com um receptor exactamente egual ao do telephone. Assenta o aparelho n'um socco horizontal, onde se collocam os objectos que emittem os sons que se querem estudar. As vibrações sonoras, transmittindo-se ao carvão vertical, deslocam os pontos de contacto da sua extremidade superior, o que determina intermittencias da corrente que se traduzem em vibrações sonoras na placa do receptor. A sensibilidade d'este aparelho é tal que os passos d'uma mosca parecem as pancadas d'um relógio, etc.

Este instrumento foi ao depois modificado de modo a servir de *transmissor telephónico* de grande alcance. Esta modificação, devida a Ader, consiste em multiplicar o numero de carvões, que são dez, dispostos por series de cinco, á maneira d'uma grelha, em tres montantes de carvão em que assentam livremente as suas pontas. Estes tres montantes estão fixos na parte inferior d'uma prancheta delgada de pinho, destinada a receber e communicar ás varetas moveis de carvão as vibrações sonoras que recebe. O aparelho é encerrado n'uma pequena caixa rectangular, cuja tampa é formada pela lamina vibrante, e sustentada por um socco de chumbo assente por quatro pés de caoutchouc para impedir que os movimentos do solo cheguem aos carvões. Estes são postos em relação, por meio de dois botões metallicos, com uma pilha de tres ou quatro elementos, no circuito da qual está uma pequena bobina d'inducção, d'onde partem os fios que ligam o aparelho aos receptores.

Esse instrumento constitue um telephone muito sensivel. Durante a Exposição d'electricidade de Paris, alguns microphones Ader collocados no proscenio da grande-Opera e ligados a receptores telephonicos installados na sala, permittiam aos visitantes ouvir toda a peça nas suas mais pequenas minuciosidades.



# INDICE

## LIVRO PRIMEIRO

### MATERIA, FORÇAS E MOVIMENTO

#### CAPITULO I

##### Noções preliminares

- Definição e divisão da physica. Ideia geral da constituição dos corpos nos tres estados, solido, liquido e gazoso. Phenomenos, leis e theorias physicas . . . . . 1

#### CAPITULO II

##### Propriedades geraes dos corpos

- Instrumentos de medição : nonio, parafuso micrometrico, cathetometro . . . . . 7

#### CAPITULO III

##### Noções d'estatica

- Movimento e repouso. Forças. Equilibrio. Resultante e componentes. Regra do parallelogramo das forças. Composição de forças parallelas. Conjugados ou binarios . . . . . 16

#### CAPITULO IV

##### Noções de cinematica

- Movimento uniforme e variado. Trajectoria. Velocidade. Acceleração. Leis do movimento uniformemente variado. Movimento curvilineo. Força tangencial e centripeta. Movimento de rotação. Leis da força centrifuga. Applicação ao movimento de rotação da terra . . . . . 22

## CAPITULO V

## Noções de dynamicica

|   |    |
|---|----|
| Proporcionalidade das forças ás accelerações. Massa. Quantidade de movimento. Medida das forças constantes. Trabalho mechanic. Força viva. Principio das forças vivas. Unidades d'espaço, tempo, massa, força e trabalho no systema metrico e no systema C. G. S. . . . . | 30 |
|---|----|

## LIVRO SEGUNDO

## ATTRACÇÃO UNIVERSAL. GRAVIDADE

## CAPITULO I

## Efeitos geraes da gravidade

|  |    |
|--|----|
| Attracção universal. Lei de Newton. Direcção da gravidade. Prumo . . . . . | 36 |
|--|----|

## CAPITULO II

## Peso. Centro de gravidade

|  |    |
|--|----|
| Peso absoluto e relativo. Peso especifico. Massa. Densidade. Equilibrio dos graves apoiados ou suspensos . . . . . | 39 |
|--|----|

## CAPITULO III

## Lei da queda dos graves. Pendulo

|  |    |
|--|----|
| Queda dos graves livres ou sujeitos. Leis da queda livre. Plano inclinado. Demonstraçào das leis da queda dos graves pela machina d'Atwood. Apparelho de Morin. Pendulo. Leis das oscillações do pendulo. Pendulo composto. Medição da intensidade da gravidade. Variaçào da gravidade com a altitude e a latitude. Comprimento do pendulo de segundos | 45 |
|--|----|

## CAPITULO IV

## Alavanca e balanças

|  |  |
|--|--|
| Balança. Alavancas. Condição d'equilibrio na balança. Balança ordinaria. Principaes especies de balanças empregadas no |  |
|--|--|

|   |    |
|---|----|
| commercio. Romana. Descripção e uso da balança d'analyse. Condições de justeza e sensibilidade. Methodos de pesar com exactidão. Dynamometros . . . . . | 59 |
|---|----|

## CAPITULO V

## Estados dos corpos. Caracteres geraes

|   |    |
|---|----|
| Attracção molecular. Differentes estados da materia. Caracteres geraes dos solidos, dos liquidos e dos gazes: compressibilidade, elasticidade, ductibilidade, malleabilidade, tenacidade. Tempera . . . . . | 70 |
|---|----|

## LIVRO TERCEIRO

## HYDROSTATICA

## CAPITULO I

## Propriedades dos liquidos

|   |    |
|---|----|
| Principio da egualdade de pressão. Condições d'equilibrio dos liquidos pesados. Prensa hydraulica. Pressão sobre as paredes dos vasos. Avaliação das pressões exercidas pelos liquidos pesados. Paradoxo hydrostatico. Equilibrio dos liquidos de differente densidade. Equilibrio dos liquidos em vasos communicantes. Niveis d'agua e de bolha d'ar . . . . . | 79 |
|---|----|

## CAPITULO II

## Equilibrio dos corpos mergulhados nos liquidos

|   |    |
|---|----|
| Principio d'Archimedes. Balança hydrostatica. Equilibrio dos corpos fluctuantes. Methodos para determinar os pesos especificos dos solidos e dos liquidos. Areometros . . . . . | 94 |
|---|----|

## CAPITULO III

## Capillaridade. Osmose

|   |     |
|---|-----|
| Capillaridade: phenomenos e leis fundamentaes. Endosmose e exosmose . . . . . | 107 |
|---|-----|

## CAPITULO IV

## Noções d'hydrodynamica

|   |     |
|---|-----|
| Fluxão dos liquidos. Theorema de Torricelli . . . . . | 111 |
|---|-----|

## LIVRO QUARTO

## DOS GAZES

## CAPITULO I

## Propriedades dos gazes, atmospha, barometros

|   |     |
|---|-----|
| Peso do ar. Pressão atmospherica. Experiencia de Torricelli.<br>Barometros de mercurio. Aneroides. Variações da pressão<br>atmospherica. Correccões da altura barometrica. Valor em<br>peso da pressão atmospherica . . . . . | 112 |
|---|-----|

## CAPITULO II

## Medida da força elastica dos gazes

|                                       |     |
|---------------------------------------|-----|
| Lei de Mariette. Manometros . . . . . | 125 |
|---------------------------------------|-----|

## CAPITULO III

## Apparelhos fundados nas propriedades do ar

|   |     |
|---|-----|
| Machina pneumatica. Machina de compressão. Bombas. Sy-<br>phões . . . . . | 131 |
|---|-----|

## CAPITULO IV

## Pressões supportadas pelos corpos mergulhados no ar

|   |     |
|---|-----|
| Applicações do principio d'Archimedes aos fluidos aeriformes.<br>Baroscopio. Peso apparente. Aerostatos . . . . . | 144 |
|---|-----|

## CAPITULO V

## Equilibrio dos gazes cujas partes estão a differentes temperaturas

|   |     |
|---|-----|
| Correntes d'ar produzidas pela differença de densidade. Tira-<br>gem das chaminés. Ventilação . . . . . | 147 |
|---|-----|

## LIVRO QUINTO

## ACUSTICA

## CAPITULO I

## Noções geraes

- Produção do som. Propagação do som atravez dos corpos.  
 Modo de transmissão e velocidade do som no ar, na agua e  
 nos solidos. Reflexão do som : echo e resonancia. . . . . 149

## CAPITULO II

## Qualidades do som

- Ruido e som musical. Qualidades do som : intensidade, altura  
 e timbre. Relação da intensidade com a amplitude das vi-  
 brações. Causas que alteram a intensidade. Tubos acusti-  
 cos ; porta-voz, corneta acustica. Relação da altura com o  
 numero de vibrações. Avaliação do numero de vibrações que  
 produzem um dado som, pela sereia e pelo processo graphi-  
 co. Limite dos sons perceptíveis . . . . . 156

## CAPITULO III

## Vibrações das cordas, varas e placas. Vibrações do ar nos tubos

- Vibrações transversaes e longitudinaes das cordas e das va-  
 ras. Leis das vibrações transversaes das cordas. Sonome-  
 tro. Leis das vibrações das varas e das placas. Tubos so-  
 noros. Embocaduras. Leis das vibrações do ar em tubos  
 abertos e fechados . . . . . 162

## CAPITULO IV

## Theoria physica da musica

- Gamma. Intervallos musicaes. Intervallos da escala diatonica.  
 Accordes. Dissonancias. Sons harmonicos. Escala chroma-  
 tica e temperada . . . . . 168

## CAPITULO V

## Analyse do som

- Reforço do som. Resoadores d'Helmholtz. Analyse dos sons.  
 Explicação do timbre. . . . . 173

## LIVRO SEXTO

## CALOR

## CAPITULO I

## Dilatação e thermometria

- Dilatação dos solidos, linear e cubica. Dilatação dos liquidos, aparente e absoluta. Temperatura. Thermometros de mercurio e d'alcool: sua construcção e uso. Comparação das escalas thermometricas. Thermometros differenciaes. Pyrometros . . . . . 175

## CAPITULO II

## Coefficientes de dilatação

- Coefficientes de dilatação. Determinação dos coefficients de dilatação dos solidos, liquidos e gazes. Coefficients do ferro, do latão, do zineo e do mercurio. Dilatação irregular da agua, maximo de densidade. Formulas relativas á dilatação regular. Pendulo compensador. Thermometro de Bréguet. Thermometro de peso. . . . . 187

## CAPITULO III

## Propagação do calor

- Diversos meios de propagação do calor. Calor radiante: leis da irradiação e da reflexão. Espelhos ardentes. Equilibrio movel de temperatura. Lei do arrefecimento. Emissão, absorpção e diffusão do calor. Poderes emissivo, absorvente e reflector. Transmissão do calor atravez dos corpos. Experiencias de Melloni. Poder diathermico. Thermochrose. Propagação do calor pór conductibilidade. Aquecimento dos liquidos por convecção . . . . . 200

## CAPITULO IV

## Calorimetria

- Calorimetria: capacidade calorifica, quantidade e unidade do calor. Determinação dos calores especificos. Leis de Dulong e Petit. Calores latentes . . . . . 210

## CAPITULO V

**Mudanças d'estado**

- Mudanças d'estado. Leis da fusão e da solidificação. Dissolução. Crystallisação. Misturas frigorificas . . . . . 216

## CAPITULO VI

**Vaporisação**

- Vaporisação. Vapores no vasio. Tensão maxima do vapor d'agua a differentes temperaturas. Leis da mistura dos gazes e dos vapores. Evaporação; circumstancias que a acceleram. Ebullicão. Causas que alteram o ponto d'ebullição. Distillação. Alambiques. Marmita de Papin . . . . . 220

## CAPITULO VII

**Arrefecimento produzido pela evaporação**

- Calor de vaporisação. Arrefecimento produzido pela evaporação. Experiencia de Leslie. Congeladores. Liquefacção dos gazes . . . . . 229

## CAPITULO VIII

**Noções sobre as machinas a vapor**

- Machinas de vapor: sua classificação e descripção. Injector Giffard. Força das machinas; cavallo-vapor. Theoria mechanica do calor. Antigas concepções sobre a natureza d'este agente . . . . . 237

## CAPITULO IX

**Meteorologia**

- Phenomenos meteorologicos dependentes do calor. Meteorologia: definição e classificação dos meteoros. — Hygrometria. Humidade. Estado hygrometrico. Hygrometro de Saussure. Hygrometro de condensação. Psychrometro.—Meteoros aquosos; orvalho; geada; nuvens e nevoeiros; chuva, neve, saraiva.  
Distribuição da temperatura á superficie do globo. Climas. Temperaturas média e extremas. Linhas isothermicas.  
Ventos. Rumo, força, velocidade. Anemometros. Relação dos ventos com a pressão atmospherica. Linhas isobaricas. Previsão do tempo. . . . . 245

## LIVRO SETIMO

## OPTICA

## CAPITULO I

## Propagação da luz

Corpos luminosos, diaphanos e opacos. Propagação da luz nos meios homogêneos. Velocidade da luz. Sombra e penumbra. Imagens produzidas através de pequenas aberturas. Camera escura simples. Comparação das intensidades luminosas. Photometros . . . . . 263

## CAPITULO II

## Reflexão da luz

Reflexão da luz. Leis da reflexão regular. Luz difusa. Espelhos planos. Construção, natureza e posição das imagens. Efeitos dos espelhos paralelos e inclinados. Espelhos metallicos e de vidro. Espelhos esphêricos: definições e noções sobre a sua forma e propriedades. Centros, eixos, abertura, focos e imagens. Construção das imagens. Aberração de esphêricidade. Causticas . . . . . 269

## CAPITULO III

## Refração da luz

Refração da luz. Leis da refração. Índices de refração dos corpos mais usuas: agua, vidro, diamante, etc. Passagem da luz através d'uma lamina de faces paralelas. Reflexão total. Angulo limite. Illusões opticas produzidas pela refração. Refração atmospherica. Miragem. Lentes esphêricas. Construção das imagens, sua natureza, posição e grandeza nas lentes convergentes e divergentes. Centro optico. Aberração d'esphêricidade . . . . . 283

## CAPITULO IV

## Dispersão da luz

Decomposição e recomposição da luz. Espectro solar. Côres dos corpos. Arco iris. Intensidade luminosa, temperatura e energia chimica das diferentes regiões do espectro solar. Phosphorescencia e fluorescencia. Riscas de Fraunhofer.

|   |     |
|---|-----|
| Comparação dos espectros dos astros e das luzes artificiaes.<br>Espectroscopio. Analyse espectral . . . . . | 298 |
|---|-----|

## CAPITULO V

## Estructura do olho e visão

|  |     |
|--|-----|
| Mechanismo da visão. Defeitos da vista. Correccão da myopia<br>e do presbytismo por meio de lentes . . . . . | 308 |
|--|-----|

## CAPITULO VI

## Instrumentos opticos

|  |     |
|--|-----|
| Camara escura composta. Camara clara. Lente de Fresnel.<br>Pharoes. Microscopio composto. Oculo de longa vista. Bi-<br>nocolo de theatro. Oculo astronomico. Telescopios . . . . . | 312 |
|--|-----|

## CAPITULO VII

|   |     |
|---|-----|
| Noções elementares de photographia, phototypia e heliogravura<br>Photographia, etc. . . . . | 320 |
|---|-----|

## LIVRO OITAVO

## ELECTRICIDADE ESTATICA

## CAPITULO I

## Attracções e repulsões electricas

|   |     |
|---|-----|
| Desenvolvimento da electricidade pela fricção. Corpos bons e<br>máus conductores. Electricidade positiva e negativa. Leis<br>das attracções e repulsões electricas. Demonstração das<br>leis das attracções e repulsões electricas pela balança de<br>torsão. Distribuição da electricidade á superficie dos con-<br>ductores. Poder das pontas . . . . . | 324 |
|---|-----|

## CAPITULO II

## Inducção electrostatica

|   |     |
|---|-----|
| Inducção electrostatica. Explicação das attracções dos corpos<br>electrisados. — Machinas electricas: Electrophoro; theoria<br>do electrophoro. Machinas de Ramsden e de Nairne; de<br>Holtz e de Carré. Electroscopios. Experiencias usuaes com<br>a machina electrica . . . . . | 332 |
|---|-----|

## CAPITULO III

**Condensação electrica**

- Condensação da electricidade; sua theoria. Condensadores.  
Garrafa de Leyde. Baterias. Electrometro condensador. . . 343

## CAPITULO IV

**Electricidade atmospherica**

- Electricidade atmospherica. Relampago, trovão, raio; choque  
reflexo. Pára-raios. Aurora boreal . . . . . 349

## LIVRO NONO

**MAGNETISMO**

## CAPITULO I

**Propriedades dos magnetes**

- Propriedades do iman. Magnetes artificiaes. Polos; linha neu-  
tra; pontos consequentes. Substancias magneticas. Magne-  
tisação por influencia. Força coerciva. Theoria do magne-  
tismo: hypothese de dois fluidos. Corpos dia-magneticos . . 353

## CAPITULO II

**Magnetismo terrestre**

- Magnetismo terrestre. Direcção da agulha magnetica. Decli-  
nação e inclinação. Meridiano, equador e polos magneticos  
da terra. Agulha de marear. Descripção e uso das bussolas  
de declinação. Variações da declinação e da inclinação ma-  
gnetica. Valor actual da declinação. Agulhas astaticas . . 357

## CAPITULO III

**Leis das attracções e repulsões magneticas — Processos  
de magnetisação**

- Leis das attracções e repulsões magneticas; sua demonstra-  
ção pelos methodos da balança de torsão e das oscillações  
— Processos de magnetisação. Armaduras e feixes magneti-  
cos . . . . . 362

## LIVRO DECIMO

## ELECTRICIDADE DYNAMICA

## CAPITULO I

## Galvanismo. Pilha de Volta

- Descoberta de Galvani. Experiencias de Volta. Descripção e theoria da pilha voltaica. Pilha em actividade: circuito e direcção da corrente. Principaes modificações da pilha de Volta. Enfraquecimento da corrente . . . . . 365

## CAPITULO II

## Pilhas de corrente constante

- Pilhas de dois liquidos. Theoria chimica das pilhas. Polarisação dos electrodos. Função do corpo despolarisante nas pilhas de corrente constante. Vantagens do emprego do zinco amalgamado . . . . . 370

## CAPITULO III

## Grandezas electricas. Associação dos elementos

- Força electro-motriz (differença de potencial), tensão e quantidade d'electricidade. Intensidade da corrente. Resistencia do circuito. Lei de Ohm. Unidades electricas: *Ohm*, *Volt*, *Ampère*. Resistencias especificas dos corpos mais empregados. Differentes meios de dispôr os elementos d'uma pilha, em tensão, ou em quantidade . . . . . 375

## CAPITULO IV

## Efeitos das correntes

- Efeitos das correntes: calorificos, luminosos, chimicos e physiologicos. Electrolyse da agua, dos oxydos e dos saes. Lei de Faraday. Medição da intensidade das correntes pelo voltmetro. Accões secundarias da electrolyse. Pilhas secundarias e accumuladores. Galvanoplastia: reproduções e depositos metallicos: douradura, prateadura e nikelagem . . . 380

## LIVRO UNDECIMO

## ELECTRO-MAGNETISMO

## CAPITULO I

## Factos fundamentaes

- Experiencia de Ørsted. Galvanometro. Acções reciprocas das correntes, dos magnetes e das correntes entre si. Leis d'Amperè. Solenoides. Acções das correntes sobre os solenoides e d'estes entre si. Acção da terra sobre as correntes e os solenoides. Acções reciprocas dos solenoides e dos magnetes. Theoria do magnetismo, segundo Ampère . . . . . 363

## CAPITULO II

## Aplicações do electro-magnetismo

- Magnetisação pelas correntes. Electro-magnetes. Aplicações diversas d'estes apparatus. Telegraphia electrica . . . . . 401

## CAPITULO III

## Inducção electro-dynamica e electro-magnetica

- Inducção electro-dynamica e electro-magnetica. Lei de Lenz. Inducção das correntes no proprio circuito. Extra-correntes. Inductor de Ruhmkorff. Machina de Clarke . . . . . 412

## CAPITULO IV

## Novas machinas d'inducção

- Machinas magneto-electricas e dynamo-electricas; de corrente continua e de correntes alternativas; auto-excitadoras. Machina Alliance. Machinas Gramme. Reversibilidade das machinas d'inducção. Transporte da força . . . . . 419

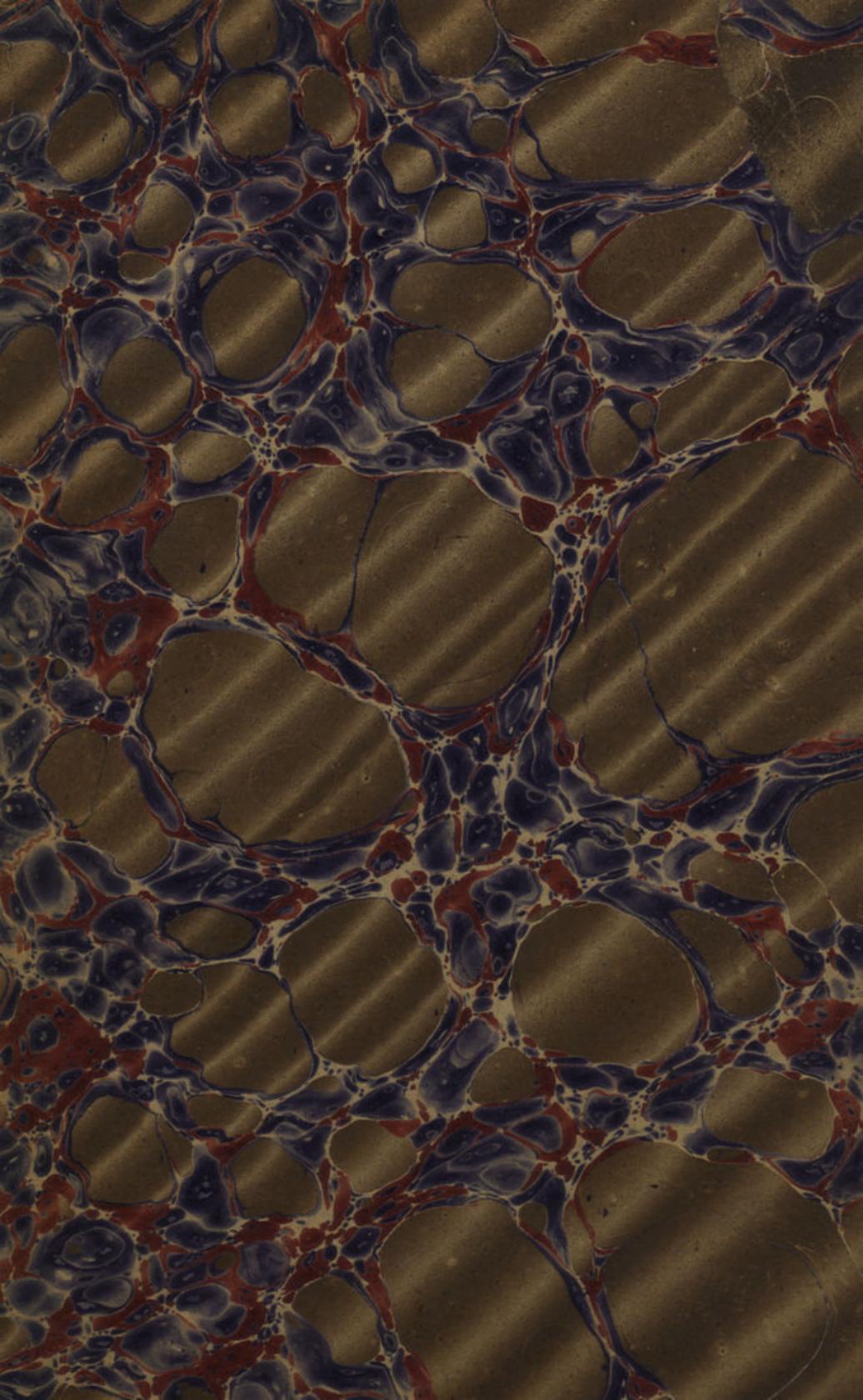
## CAPITULO V

## Iluminação electrica. Telephone

- Iluminação electrica pelo arco voltaico. Reguladores. Vellas de Jablockoff. Iluminação por incandescencia. Lampadas de Edison. Telephones. Microphones . . . . . 426









RÓ  
MU  
LO



CENTRO CIÊNCIA VIVA  
UNIVERSIDADE COIMBRA

\*1329658010\*

