

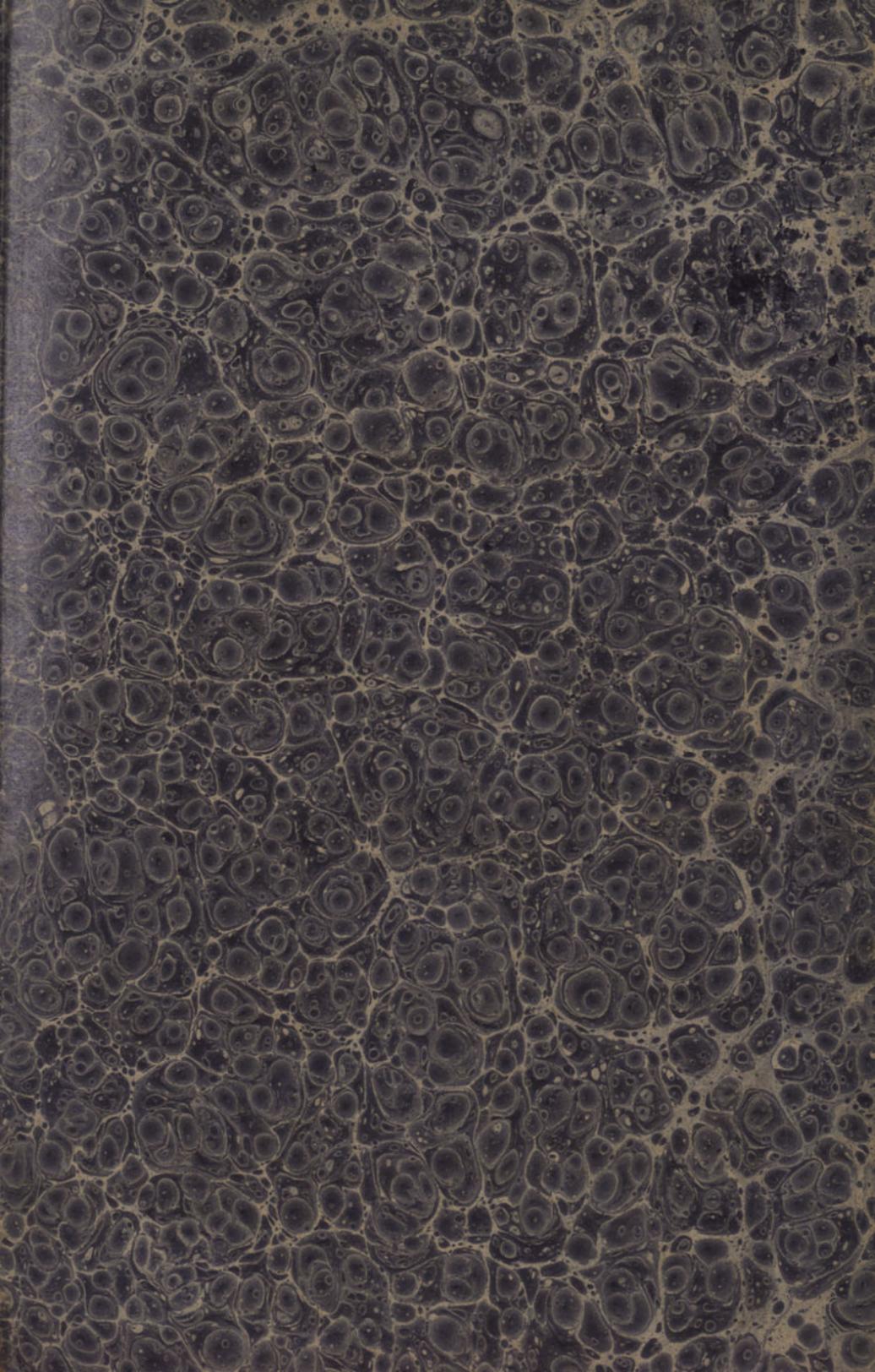
ENCADERNADOR
L. LEITÃO
RUA DO SOL
35
PORTO

Sala 16

Est. 4

Tab. 2

N.º 29



Est. 7 Tab. 7 N.º 25

Est. 7 Tab. 7 N.º 25

PHYSICA ELEMENTAR

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO NACIONAL
MUSEU NACIONAL DA CIÊNCIA
E DA TÉCNICA

—————
V.º 1335 V.º 2174
—————

INV. - Nº 709



CURSO

DE

2184

PHYSICA ELEMENTAR

DESTINADO

AO ENSINO DO COLLEGIO MILITAR

COMPILADO POR

JOAQUIM RODRIGUES GUEDES

LENTE DO MESMO COLLEGIO, ANTIGO ALUMNO DA ESCOLA POLYTECHNICA
E SOCIO CORRESPONDENTE DA ACADEMIA REAL DAS SCIENCIAS

NOVA EDIÇÃO

Refundida, augmentada, e com figuras intercaladas no texto

TOMO II

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO NACIONAL
MUSEU NACIONAL DA CIÊNCIA
E DA TÉCNICA



PC
MCT
53.
CUR

Nº 1335 2174

LISBOA

IMPRESA NACIONAL

1872



DUAS PALAVRAS AO LEITOR

Encarregados superiormente de continuar a publicação d'este livro, depois do fallecimento do seu auctor, procurámos quanto possível corresponder a tão subida honra, já em attenção a quem assim nos distinguia, já pelo desejo de completar uma obra começada com tanto amor por aquelle cuja memoria venerámos como Pae e como Mestre. Era ardua tarefa para nós, e por isso nos relevarão o saír ella tão imperfeita. *

Trabalhos e estudos inherentes aos nossos deveres officiaes, concorreram para demorar e interromper, por vezes, o curso regular d'esta publicação, e ella resentese d'isso.

Cumpre-nos agradecer aqui a valiosa collaboração de meu irmão Ramiro Guedes, medico-cirurgião pela escola de Lisboa, e a do meu antigo professor e amigo, o ill.^{mo} sr. Angelino de Castro, ao qual são devidos a maior parte dos desenhos das figuras intercaladas no texto.

Não amedronte o leitor o desenvolvimento da obra. As materias dos programmas officiaes estão comprehendidas no presente curso de physica, e podem ser estudadas independentemente das outras que lhes servem, por assim dizer, de complemento.

Lisboa, 15 de setembro de 1872.

Octavio Guedes.

LIVRO IV

Calor

Preliminares

370. *Calor; hypotheses sobre a sua natureza.*—A causa geral que determina pela sua acção mais ou menos energica as impressões conhecidas a que se referem as idéas de quente e frio, denomina-se *calor*.

Duas hypotheses ou theorias oppostas se têm apresentado para explicar a causa intima e invisivel do calor, e a producção dos diversos phenomenos calorificos. Uma d'ellas, e a mais antiga, a *theoria material*, admite que o calor é uma especie de materia extremamente subtil, incoercivel e imponderavel, cujas diferentes partes se repellem mutuamente e que enche os espaços inter-atomicos dos corpos. Esta materia particular, a que se deu o nome de *calorico*, transmite-se directamente de uns para outros corpos com grande velocidade, podendo reflectir-se na superficie d'estes ou penetrar nas suas massas. Gmelin, seguindo estas idéas, define o calor como uma substancia cuja entrada e saida no nosso corpo produz respectivamente as sensações que se traduzem pelas idéas de quente e frio.

A outra, a *theoria dinamica*, admite que o calor é apenas uma condição da materia, e que consiste no movimento vibratorio impresso ás suas minimas particulas, movimento que se transmite de uns para outros corpos, por intermedio de um *fluido ethereo*, universalmente derramado no espaço e no qual se propaga por meio de ondas, como o som no ar.

Segundo a primeira theoria, o aquecimento ou arrefecimento dos corpos provém respectivamente do acrescimo ou da perda de calorico por elles experimentado; ao passo que, segundo a theoria dynamica, a energia do calor resulta da amplitude e rapidez do movimento vibratorio das moleculas dos corpos quentes. D'este ultimo modo comprehende-se facilmente como o calor se desenvolve quando as moleculas são agitadas pela fricção, percussão ou por outras acções mechanicas, e como por estes meios um corpo pôde produzir quantidades illimitadas de calor, factos que não se explicavam facilmente, admittindo a materialidade do calor.

As theorias material e dynamica do calor correspondem a duas theorias analogas, adoptadas para explicar os phenomenos luminosos e que são respectivamente denominadas theoria ou *systema da emissão* e theoria ou *systema das ondulações*. Estas denominações servem tambem para designar as duas theorias do calor. As leis da propagação do calor e da luz sendo, como veremos, as mesmas, e a theoria das ondulações estando hoje geralmente adoptada para a explicação dos phenomenos luminosos, em virtude da concordancia dos resultados experimentaes com os principios theoreticos, prefere-se tambem por este motivo a theoria das ondulações para explicar o phenomeno da propagação do calor. Todavia, em virtude da linguagem sciëntifica que o uso tem consagrado, em Physica exprimem-se ainda, quasi sempre, os phenomenos calorificos e luminosos segundo a theoria da emissão.

371. *Effeitos geraes do calor*.—A acção mais geral do calor sobre os corpos é a de produzir o afastamento e aproximação das suas moleculas, conforme são aquecidos ou resfriados. Vimos já (29), estudando a dilatabilidade, como este facto geral se demonstra para os differentes corpos. O calor pôde tambem determinar a mudança nos estados de aggregação dos corpos, produzindo a liquifação dos solidos, a vaporação dos liquidos, e dar origem a combinações e decomposições, phenomenos que a chimica estuda particularmenté.

O calor é tambem, como se sabe, necessario para a existencia dos seres organisados.

CAPITULO I

Thermometria

372. *Temperatura; thermometro.*—A temperatura de um corpo é o estado calorifico sensivel em que elle se acha; estado essencialmente variavel com o tempo, porém determinado n'um momento dado. Como os nossos orgãos são imperfeitos para apreciarem com rigor as variações de temperatura, recorre-se para isso aos effeitos phisicos, produzidos pelo calor e em especial á dilatação. É, pois, sobre os phenomenos da dilatação e contracção que são fundados quasi todos os instrumentos destinados a medir as temperaturas, e que se denominam, como sabemos (30), *thermometros* e *pyrometros*. Deve entretanto notar-se desde já, que a quantidade de calor que um corpo possui não é proporcional á dilatação que experimenta, e que as indicações thermometricas fundadas no phenomeno da dilatação, são por isso inteiramente empiricas e sem significação theorica. É por esta rasão que, pondo de parte quaesquer considerações theoricas, se exige exclusivamente que os thermometros satisfaçam a uma condição pratica essencial, que é a de serem sempre perfeitamente comparaveis entre si, peio que respeita ás suas indicações.

373. *Escolha das substancias thermometricas.*—Todos os corpos podiam, em rigor, servir como substancias thermometricas, mas geralmente nos thermometros empregam-se os liquidós, porque a sua dilatação, sendo menor que a dos gazes e maior que a dos solidos (29), se presta mais facilmente para medir as temperaturas moderadas. Os solidos são quasi exclusivamente empregados nos pyrometros para apreciar as altas temperaturas, e os gazes para as pequenas variações de temperatura e tambem para avaliar as temperaturas muito elevadas, porque não mudam de estado.

D'entre os diversos liquidos quasi exclusivamente se empregam o mercurio e o alcool. Prefere-se o mercurio: 1.º, por

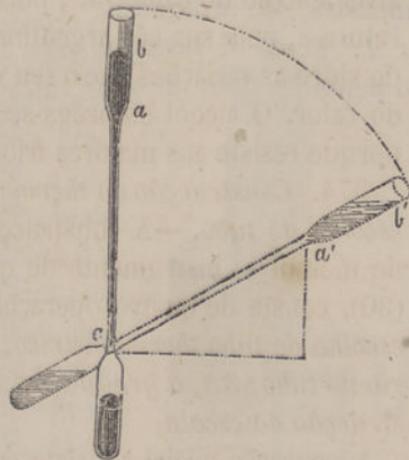
ser o liquido que se dilata mais regularmente entre certos limites; 2.º, porque pela sua natureza especial é o mais sensivel á acção do calor; 3.º, porque só ferve a uma alta temperatura e, pela sua côr argentina, deixa ver facilmente através do vidro as variações que o seu volume experimenta pela acção do calor. O alcool emprega-se para as baixas temperaturas, porque resiste aos maiores frios conhecidos sem congelar.

374. *Construcção do thermometro ordinario de mercurio; escolha do tubo.*—A construcção do thermometro ordinario de mercurio, instrumento de que já demos uma ligeira idéa (30), consta de quatro operações principaes; a saber: 1.ª, a escolha do tubo thermometrico; 2.ª, a introducção do mercurio no tubo; 3.ª, a graduação do instrumento; e 4.ª, a construcção da escala.

A operação inicial consiste em escolher um tubo de vidro com o diametro capillar, sem bolhas e bem calibrado. As primeiras d'estas condições reconhecem-se á simples vista: para verificar porém a ultima introduz-se no tubo uma pequena columna de mercurio, que se faz ir de um extremo a outro, medindo com precisão o seu comprimento, que deve ser constante nas diversas posições que occupar, se o tubo tiver por toda a parte o mesmo diametro interior.

375. *Introducção do mercurio no tubo thermometrico.*—O tubo escolhido lava-se interiormente, primeiro com acido azotico em ebullicão, a fim de destruir as particulas organicas que porventura adheriram ás paredes, e em seguida com agua distillada. Depois de completamente secco, solda-se-lhe ou antes sopra-se-lhe n'uma das extremidades, com o auxilio do maçarico, um reservatorio espherico ou cylindrico e solda-se na outra uma porção tubular de maior diametro que o tubo. Feito isto, colloca-se o aparelho verticalmente (fig. 231) e deita-se mercurio bem puro na capacidade soldada *a b*. O mercurio, comprimindo o ar contido no tubo, desce até o extremo *c*, entra pouco a pouco no reservatorio, até que o ar que este contém equilibra pela sua força elastica, com a pressão atmospherica augmentada do peso da columna de mercurio *c b*. Dando n'estas circumstancias ao instrumento a posição incli-

nada *c a'* o ar interior experimentando uma pressão menor, impele o mercurio contido no tubo até *a'* e escapa-se em parte através do mercurio *a' b'*. Collocando de novo o tubo na posição vertical, uma outra porção de mercurio penetra no reservatorio; e inclinando segunda vez o tubo, sáe uma outra quantidade de ar; e continuando por este modo, no fim de algum tempo o mercurio enche quasi todo o reservatorio, e não inteiramente, porque a pequena quantidade de ar restante, não tem a força elastica sufficiente para impellir o mercurio.



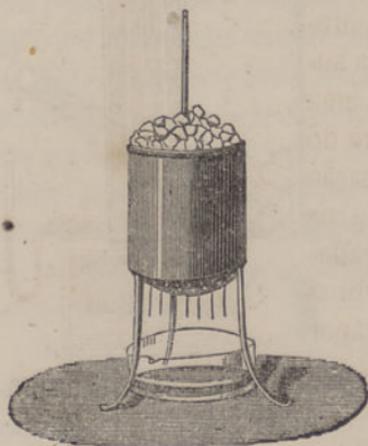
(Fig. 231)

Acaba-se de encher o tubo, collocando-o n'uma grelha inclinada e cercado-o de carvão incandescente em toda a sua extensão. Quando o mercurio entra em ebullição, o ar retido escapa-se para a atmospherá, bem como a humidade, e depois resfriando o tubo, os vapores mercuriaes condensam-se e o mercurio enche completamente o tubo e o reservatorio. Depois de cheio, separa-se a capacidade tubular *a b* e aquece-se de novo o thermometro até a temperatura maxima que deve indicar, expellindo assim da hãste o mercurio que contém em demasia, e em seguida resfria-se a fim de conhecer approximadamente a que ponto corresponderá o zero, e qual a minima temperatura que poderá designar. Feito isto, aquece-se novamente o thermometro, até que o mercurio, expellindo o ar que o tubo possa ainda conter atinja o extremo da haste; e fecha-se em seguida o tubo, ao fogo do maçarico.

376. *Graduação do thermometro.* — Para graduar o thermometro assim preparado, escolhem-se dois pontos fixos de temperatura, sempre identicos e faceis de reproduzir, de modo que nas mesmas condições thermicas, todos os thermometros indiquem as mesmas temperaturas. Os dois pontos esco-

lhidos são o *da fusão do gelo e o da ebullicão da agua sob a pressão normal de $0^m,76$* , os quaes, como a experiencia demonstra, são invariaveis.

1.º *Ponto de fusão do gelo.* Para marcar no thermometro o ponto de fusão do gelo, introduz-se este instrumento n'um



(Fig. 232)

vaso (fig. 232) cheio de fragmentos de gelo, e tendo inferiormente uma abertura ou antes o fundo crivado de orificios, por onde se esgota a agua proveniente da fusão do gelo, a qual poderia adquirir uma temperatura superior á d'esta. A columna de mercurio desce então rapidamente e conserva-se estacionaria enquanto dura a fusão do gelo; levanta-se em seguida a haste a fim de se

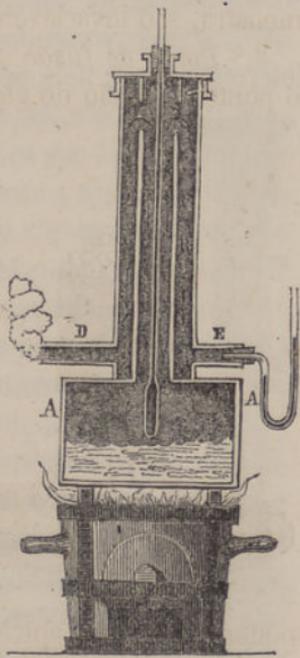
poder observar o apice da columna por meio do cathetometro, e no ponto correspondente da haste marca-se 0.

2.º *Ponto de ebullicão da agua sob a pressão normal.* — A temperatura da ebullicão da agua varia, como veremos, com a pressão atmospherica, sendo tanto maior quanto maior é esta pressão, e tambem com a natureza do vaso em que se opera e com as substancias dissolvidas na agua. Alem d'isso a temperatura da agua ebulliente augmenta progressivamente a partir da superficie para as camadas inferiores, em virtude do acrescimo de pressão.

Por estes motivos toma-se para ponto fixo a temperatura de ebullicão da agua distillada sob a pressão de $0^m,760$ e operada em um vaso metallico, ou antes a temperatura do vapor da agua ebulliente; porque, como mostrou Rudberg, a natureza do vaso e as substancias contidas na agua não têm influencia alguma sobre esta ultima temperatura.

A operação pratica-se ordinariamente com o aparelho (fig. 233), que se compõe de uma caldeira de cobre A, contendo agua, e que se sujeita á acção do calor, e de dois tubos con-

centricos tambem de cobre, o mais interno dos quaes comunica inferiormente com a caldeira e superiormente com o tubo externo *B C*, por intermedio de aberturas lateraes. O tubo *B C* tem tres aberturas; uma superior munida de uma rolha que sustenta o thermometro que se pretende graduar, o qual deve apenas tocar a superficie da agua; e duas lateraes, uma das quaes *D* serve para o esgoto do liquido, proveniente da condensação do vapor da agua desenvolvido na caldeira, e outra *E*, a que está adaptado um tubo manometrico destinado a indicar que a pressão do vapor equilibra com a da atmosphaera, na occasião da experiencia. A agua entra em ebullicão, e o apice da columna de mercurio contido no thermometro, assim cercado completamente de vapor da agua ebulliente, esta-



(Fig. 233)

ciona n'um ponto em que se marca 100. Nos aparelhos em que antigamente se praticava esta operação, o thermometro era apenas envolvido por um tubo de cobre, que, resfriando em contacto com o ar, fazia perder calor ao thermometro, em virtude da irradiação. No aparelho que descrevemos, devido a mr. Regnault, esta causa de erro é evitada, poisque o vapor antes de sair para a atmosphaera, circula no intervallo existente entre os dois tubos.

A temperatura da ebullicão da agua variando com a pressão atmospherica é necessario fazer-se uma correccão, quando a pressão é differente da normal. Wollaston verificou que a differença de $0^m,027$ na pressão em relação á normal corresponde á differença de um grau na temperatura de ebullicão da agua. Suppondo pois que a pressão no acto da experiencia é $0,^m760 \pm \alpha$ a temperatura correspondente de ebullicão será $100 \pm \frac{\alpha}{27}$. Quando se exige grande precisão, é preferivel

o emprego das tabellas de que adiante trataremos, e nas quaes estão indicadas as temperaturas da ebullição da agua, que correspondem aos valores diversos da pressão atmospherica.

377. *Construcção da escala thermometrica.* — Depois de determinados os dois pontos de referencia, divide-se o intervallo que os separa em 100 partes de igual capacidade, que se denominam graus centigrados, e prolonga-se a divisão para a parte superior do ponto 100 e para a inferior do 0.



(Fig. 234)

O conjunto de todas estas divisões constitue a escala thermometrica centigrada; representando cada grau uma unidade de temperatura. A escala é ordinariamente traçada sobre uma régua ou lamina de madeira, de metal, de vidro, ou de ardosia sobre a qual o thermometro está fixo (fig. 234).

Se o tubo thermometrico tem em toda a sua extensão o mesmo calibre, a graduação faz-se exactamente dividindo o intervallo entre 0 e 100 em cem partes iguaes, por meio da machina de dividir; porém como esta condição nunca é rigorosamente satisfeita, por isso nos thermometros de precisão, a escala, constituida por divisões de igual capacidade, é marcada na propria haste do thermometro, por methodos mui precisos e antes da introducção do mercurio. As divisões da escala, n'este caso, são arbitrarías, isto é, não representam graus centigrados, porém passa-se facilmente d'aquellas para estes, quando se conhece o numero de divisões da escala arbitraria comprehendidos entre os dois pontos fixos. A passagem das divisões da escala para os graus centigrados faz-se pois por um calculo simples ou por meio de uma tabella previamente calculada. Os thermometros de mercurio tambem podem ser graduados por comparação com um thermometro padrão, como indicaremos para os do alcool.

Um dos methodos mais empregados para a divisão do tubo em partes de igual capacidade é o de Despretz, que consiste em introduzir no tubo uma pequena columna de mercurio

Um dos methodos mais empregados para a divisão do tubo em partes de igual capacidade é o de Despretz, que consiste em introduzir no tubo uma pequena columna de mercurio

mantida em temperatura constante, e que se põe em movimento, por meio de uma bexiga adaptada a um dos extremos do tubo e de modo que em cada deslocamento uma das extremidades da columna venha occupar o logar que occupava a outra. Marcando successivamente os pontos occupados pelos extremos da columna, dividem-se depois n'um certo numero de partes iguaes, por meio da machina de dividir, os intervallos que existem entre os diversos pontos, e que correspondem a capacidades iguaes. Este methodo foi aperfeiçoado por mr. Regnault, que o executa pela maneira de que vamos dar uma succinta idéa. Introduz no tubo uma pequena columna de mercurio de 2 a 3 centimetros de comprimento a que se dá successivamente diversas posições, como anteriormente, e colloca-o sobre a machina de dividir, de maneira que o seu eixo coincida com o do supporte em torno do qual deve girar. A parte a que está fixo o buril sustenta um óculo, em cujo foco existem dois fios mui finos cruzados, que servem para observar cada uma das estremidades da columna de mercurio nas differentes posições que esta toma, posições estas que se marcam sobre o tubo, por meio de um pincel mui fino embebido de tinta preta ou vermelha, depois de tomar nota do numero de voltas, e fracções da volta que o párauso executa para ir de uma das estremidades da columna á outra. O tubo é em seguida revestido de verniz transparente, e divide-se cada um dos intervallos entre os traços marcados sobre o tubo, em numero determinado de partes iguaes, por meio da machina de dividir, depois do que se submete á acção dos vapores do acido fluorhydrico, que ataca o vidro de um modo indelevel nas partes postas a descoberto pelo buril, ficando os traços gravados no tubo.

378. *Escalas thermometricas.* — Foi Celsius quem fundou a escala centigrada. Alem d'esta, porém, existem outras escalas, que é importante conhecer, e que são: a de Réaumur (que parece antes ser devida a Deluc), a de Fahrenheit e a de Delisle. A escala de Réaumur funda-se nos mesmos principios que a centigrada, e apenas differe d'esta em o intervallo entre os dois pontos fixos estar dividido em 80 partes iguaes

ou graus. A escala do thermometro de Fahrenheit está construida segundo os seguintes principios: o ponto fixo superior corresponde á temperatura do vapor da agua ebulliente, como no centigrado e no de Réaumur; mas o ponto fixo inferior, o zero da escala, corresponde ao logar em que o apice da columna de mercurio estaciona, quando se mergulha o reservatorio do thermometro n'uma mistura de partes iguaes de neve e de sal ammoniaco; o intervallo entre o ponto zero assim determinado e o ponto correspondente á ebullição da agua está dividido em 212 partes iguaes ou graus. O zero d'este thermometro é inferior ao da escala centigrada e de Réaumur, o qual corresponde a 32° de Fahrenheit. Emfim na escala de Delisle o intervallo entre os dois pontos fixos, que são ainda o da fusão do gêlo e o da ebullição da agua, está dividido em 150 partes iguaes, correspondendo porém o ponto 0 ao ponto de ebullição da agua, e o ponto 150 ao da fusão do gêlo. Posto isto, é mui facil converter qualquer numero de graus de uma das escalas em graus de uma outra.

Com effeito, attendendo a que 100 graus centigrados equivalem a 80 de Réaumur, a 180 de Fahrenheit e a 150 de Delisle, ter-se-ha, designando por *C*, *R*, *F*, *D*, os numeros de graus que se correspondem de cada um d'aquelles thermometros

$$C = \frac{5}{4} R = \frac{5}{9} (F - 32) = \frac{2}{3} (150 - D).$$

Esta formula dá pois o meio de passar dos graus de uma escala para os de outra. D'estas escalas a centigrada é usada em França, e no norte da Europa; a de Réaumur é empregada na Allemanha, na Russia e na Hespanha; a de Fahrenheit em Inglaterra, na Hollanda e nos Estados Unidos; a de Delisle emfim é adoptada na Russia. Em Portugal geralmente emprega-se a escala centigrada e, em alguns casos, a de Réaumur.

A fim de obviar aos inconvenientes que resultam do uso de thermometros cujas escalas são tão discordantes, e por consequencia á reducção fastidiosa, postoque facil, dos graus

de uma escala nos da outra, mr. Walferdin, a quem se devem importantes trabalhos sobre thermometria, propoz, ha annos, uma reforma das escalas thermometricas, substituindo-as por uma escala que denominou tetra-centigrada. Esta escala, como o seu nome indica, é quadrupla da centigrada, e os principios em que se funda são os mesmos d'esta escala, com a differença que o zero da tetra-centigrada corresponde ao ponto de solidificação do mercurio e o ponto 400 á ebulção d'este mesmo liquido, correspondendo o ponto 40 á temperatura da fusão do gèlo e o ponto 140 á temperatura de ebulção da agua sobre a pressão de 760^{mm}. Esta escala, cujo uso universal seria de grande alcance, tem sobre as outras as seguintes vantagens: 1.^a, a uniformidade entre os trabalhos dos sabios dos differentes paizes, facilitando assim as relações scientificas internacionaes; 2.^a, a conservação do valor de grau centigrado para representar a unidade de temperatura; 3.^a, a supressão do signal — na representação das temperaturas inferiores a zero, o que póde ser causa de erro nas observações meteorologicas.

Apesar do merito da escala tetra-centigrada, adopta-se como normal a escala centigrada e, todas as vezes que se não indique o contrario, as temperaturas e os graus thermometricos referem-se a esta escala. Os graus de temperatura abaixo do zero designam-se antepondo-lhes o signal algebrico —.

379. *Thermometro de alcool*—O mercurio congela a 40° e entra em ebulção a 360°, e alem d'isso a sua dilatação só é uniforme entre —36° e 100°. São pois estes os limites alem dos quaes o thermometro de mercurio não póde ser empregado, pelo menos com rigor. D'aqui a necessidade do emprego de outros instrumentos para medir as temperaturas, quer superiores a 100°, quer inferiores a —36°. Para as primeiras empregam-se: o thermometro de ar ou mesmo de mercurio graduado por elle, e os pyrometros de que adiante trataremos, e para as baixas temperaturas usa-se o thermometro de alcool e é d'este que vamos tratar. A construcção do *thermometro de alcool* consta das mesmas operações que a do thermometro de mercurio. A primeira

pratica-se como na construcção d'aquelle thermometro. A segunda operação, porém, pratica-se do modo seguinte, em rasão da pequena densidade do alcool: aquece-se o reservatorio ao fogo de uma lampada, a fim de dilatar o ar interior, e em seguida e rapidamente mergulha-se pelo extremo aberto n'um banho de alcool corado. Á medida que o ar restante se contrahe, pelo resfriamento, a pressão atmospherica faz subir o alcool no tubo, até que entra uma porção no reservatorio. Aquecendo este novamente até o alcool entrar em ebullicão, o ar é completamente expulso pelos vapores alcoholicos; e mergulhando o extremo aberto no banho de alcool os vapores condensam-se e o aparelho fica completamente cheio de liquido. Finalmente aquece-se o reservatorio para fazer entrar o alcool em ebullicão, e fecha-se o extremo aberto ao fogo do maçarico. A terceira operação, isto é, a graduacão do aparelho assim preparado faz-se, por comparacão, isto é, marcando sobre a haste os graus indicados por um thermometro padrão de mercurio, para cujo fim se mergulham ambos, primeiramente em fragmentos de gelo fundindo-se e depois n'um banho de agua, cuja temperatura se faz elevar gradualmente.

Os thermometros de alcool, preferidos aos de mercurio, para as baixas temperaturas, têm comtudo o inconveniente de não serem comparaveis com estes, em virtude da dilatacão irregular do alcool; e alem d'isso, em geral, não concordam entre si em virtude da não identidade dos alcools do commercio. Alem d'estes inconvenientes os thermometros de alcool apresentam um outro, que consiste na perda de fluidez e de homogeneidade que o alcool experimenta quando submettido a temperaturas muito baixas, poisque n'estas circumstancias a agua separa-se do alcool absolutô. Estes inconvenientes levaram mr. Munke a propor a substituição do alcool pelo sulfureto de carbonio, liquido que tem a propriedade de não congelar sob os frios mais intensos, e que é facil obter n'um perfeito estado de pureza.

380. *Deslocamento do zero.* — Os thermometros, ainda os mais bem construidos, estão sujeitos a uma causa de erro im-

possivel de evitar, o qual consiste no deslocamento do ponto zero. De facto mergulhando no fim de algum tempo os thermometros em fragmentos de gêlo em fusão, acha-se que a parte superior da columna de mercurio estaciona acima do ponto zero. Esta causa de erro foi pela primeira vez observada em 1823 por mr. Flaugergues em França, e mr. Bellani em Italia: attribuida primeiramente a erro na graduação do thermometro, foi depois considerada como effeito da pressão atmospherica, que actuando pela parte exterior do reservatorio o fazia comprimir de uma quantidade apreciavel; porém esta rasão não colhe, porque o deslocamento do zero verifica-se do mesmo modo quando a parte interna do thermometro se conserva em contacto com o ar. Mas recentemente, este assumpto foi de novo estudado por mr. Legrand, que reconheceu ser o deslocamento do zero devido á diminuição da capacidade do reservatorio, por effeito da contracção lenta que o vidro soffre quando, elevado á temperatura da ebullicão da agua, se resfria em seguida.

Segundo mr. Despretz o deslocamento do zero, que muitas vezes chega a um grau e meio e mesmo a dois graus, parece continuar durante quatro a cinco annos: o calor fál-o diminuir e o frio augmentar. A fim de verificar o zero e de evitar a grande extensão dos thermometros, principalmente quando estes instrumentos são destinados a medir temperaturas elevadas, mrs. Walferdin e Person inventaram o thermometro chamado de reservatorio intermedio, que é apenas o thermometro ordinario de mercurio em que um certo numero de graus estão substituidos por um reservatorio, cuja capacidade é previamente determinada em relação á capacidade do grau.

381. *Influencia que tem sobre a indicação dos thermometros as substancias que entram na sua construcção* — A experiencia tem demonstrado que ha discordancia, quando se submettem á mesma temperatura entre as indicações dos thermometros construidos com liquidos diversos, embora estas se correspondam nas temperaturas da fusão do gêlo e da ebullicão da agua. Assim Deluc servindo-se dos thermometros de mercurio, azeite, alcool e agua, graduados segundo a escala de Réaumur, chegou aos seguintes resultados:

TEMPERATURAS DOS THERMOMETROS			
DE MERCURIO	DE AZEITE	DE ALCOOL	DE AGUA
80°	80°	80°	80°
70	69,4	67,8	62
60	59,3	56,2	45,8
50	49,2	45,3	32
40	39,2	35,1	20,5
30	29,3	25,6	11,2
20	19,3	16,5	4,1
10	9,5	7,9	0,2
0	0,0	0,0	0,0
-5	-	3,9	-
-10	-	7,7	-

Mr. Pierre, operando com doze thermometros construidos com liquidos differentes e graduados independentemente uns dos outros, concluiu, pela sua comparação com o thermometro de mercurio, que os thermometros mais perfeitos eram os construidos com ether ordinario, chlorureto de ethyle e bromureto de methyle, sendo o mais defeituoso o de agua.

Mas não é só a natureza dos liquidos que entram na construcção dos thermometros que tem influencia sobre a indicação d'estes instrumentos. A marcha dos thermometros varia tambem com a substancia que forma o reservatorio e o tubo que contém o liquido thermometrico. Mr. Regnault, comparando a marcha de dois thermometros, um construido com vidro e o outro com crystal, achou as seguintes differenças entre as temperaturas marcadas pelos thermometros de crystal e de vidro a partir de 100°:

TEMPERATURAS DOS THERMOMETROS		DIFFERENÇAS
DE CRYSTAL	DE VIDRO	
0°	0°	0°
100	100	0
191,66	190,51	1,15
254,67	251,87	2,70
282,50	279,08	3,42
315,28	310,69	4,59
340,07	333,72	6,35

Vê-se pois que dois thermometros em concordancia até 100°, discordam d'esta temperatura para cima, sendo as differenças entre as

temperaturas dadas pelos dois thermometros, successivamente crescentes.

382. *Sensibilidade do thermometro; thermometros metastaticos de Walferdin*—Distinguem-se no thermometro duas especies de sensibilidade: uma que se refere á rapidez com que este instrumento adquire a temperatura do meio ambiente, e uma outra relativa ás pequenas variações de temperaturas que póde accusar. A primeira especie de sensibilidade consegue-se com um thermometro, cujo reservatorio contenha uma pequena quantidade de mercurio distribuida por uma grande superficie, sendo n'este caso preferivel um reservatorio cylindrico ao espherico. Para realizar a segunda especie de sensibilidade emprega-se um thermometro, cujo tubo thermometrico esteja ligado a um reservatorio espaçoso, de modo que cada grau occupe uma grande extensão no tubo, podendo portanto o instrumento avaliar pequenas fracções do grau.

Os *thermometros metastaticos*, devidos a mr. Walferdin são destinados a medir differenças de temperatura em millesimas do grau. Estes thermometros são de mercurio e de alcool.

(a) *O thermometro metastatico de mercurio* é composto de um tubo thermometrico ordinario, cuja haste, comprehendendo apenas alguns graus, divididos em um grande numero de partes iguaes, comunica superiormente, por uma ponta afilada, com uma capacidade contendo mercurio.

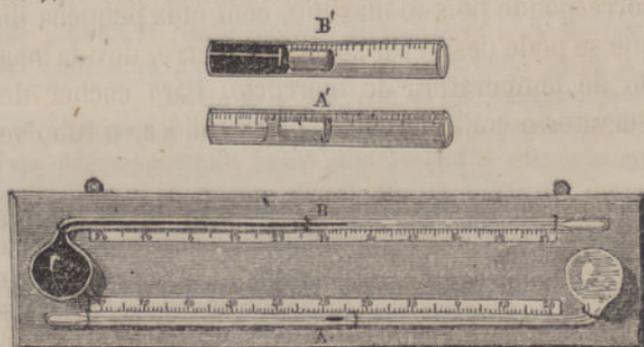
Para usar d'este thermometro, se a temperatura que se pretende avaliar é baixa, aquece-se o instrumento, a fim de que o mercurio saia pela extremidade superior do tubo, inverte-se e resfria-se em seguida, e por este modo o mercurio entra no tubo thermometrico. Se a temperatura que se quer determinar é elevada, basta aquecer o instrumento a uma temperatura proxima da que se pretende avaliar, a fim de fazer sair pelo extremo superior o mercurio em excesso. Feito isto introduz-se o thermometro n'um banho de temperatura conhecida, e que diffira pouco da do meio cuja temperatura se deseja conhecer, tomando nota da posição do apice da columna; depois colloca-se o aparelho no meio de que se quer determinar a temperatura e o numero de divisões percorridas pelo apice da columna dá a differença entre a temperatura do banho e a que se procura.

(b) *O thermometro metastatico de alcool* differe sómente do de mercurio em o tubo thermometrico não terminar em ponta no reservatorio superior, e na natureza do quilldo que contém. O reservatorio superior contém alcool e uma pequena porção de mercurio, destinada a

servir de indice. Aquecendo o instrumento, e deixando-o em seguida resfriar, o mercurio penetra no interior do tubo e por tentativas faz-se com que elle occupe proxivamente o meio do tubo para as temperaturas que se pretendem determinar. Pratica-se depois como com o thermometro metastatico de mercurio.

383. *Thermometros de maximo e de minimo*—No decurso das experiencias, principalmente nas que dizem respeito á meteorologia, é muitas vezes necessario conhecer o *maximo* e o *minimo* de temperatura que succederam durante certo intervallo de tempo. Para este fim, em vez do thermometro ordinario que seria necessario observar continuamente, empregam-se thermometros especiaes, que por meio de uma unica observação dão as temperaturas requeridas. D'estes thermometros descreveremos os de Rutherford, de Six e Bellani e de Walferdin.

384. *Thermometros de Rutherford*—Estes thermometros (fig. 235), um de *maximo* e o outro de *minimo*, estão dispo-



(Fig. 235)

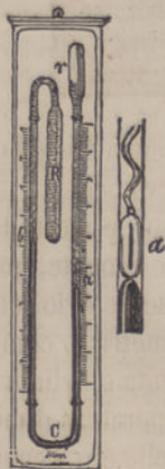
tos sobre uma mesma prancha de madeira, e têm a haste horizontal e recurvada nas proximidades do reservatorio.

(a) O *thermometro de minimo* A, é de alcool, e n'este liquido está mergulhado um cylindro ou index de esmalte, que se colloca, com o extremo mais distante do reservatorio, em correspondencia ao vertice da columna thermometrica, como se mostra em A'. Quando a temperatura augmenta o cylindro de esmalte fica estacionario, mas quando a temperatura diminue o cylindro é arrastado pela adhesão entre elle e o alcool. A posição do cylindro de esmalte indica pois a minima temperatura que houve n'um tempo dado.

(b) O *thermometro de maximo B*, é de mercurio e no interior da haste tem um pequeno cylindro ou index de ferro ou de aço, que se colloca em contacto com o apice da columna de mercurio, como se vê em *B'*. Quando a temperatura augmenta a columna thermometrica impelle o cylindro de ferro, que fica no logar a que foi levado, quando a temperatura diminue. Assim, a posição do cylindro de ferro indica a temperatura maxima que succedeu durante certo intervallo de tempo.

Mrs. Negretti e Zambra modificaram o *thermometro de maximo*, que acabámos de descrever, tornando-o mais portatil: collocaram na parte curva do tubo, perto do reservatorio, um pequeno cylindro de vidro que, permittindo a passagem do mercurio do reservatorio para o tubo quando a temperatura sobe, impede o retrocesso d'este liquido para o reservatorio, quando a temperatura desce; o vertice da columna de mercurio corresponde pois ao maximo, com uma pequena differença, que se póde desprezar sem grande erro, devida ao abaixamento de temperatura do mercurio. Para encher de novo o reservatorio com mercurio, basta collocar o tubo verticalmente.

385. *Thermometro de Six e Bellani*—Este instrumento (fig. 236), devido a Six e aperfeiçoado por Bellani, indica ao mesmo tempo o



(Fig. 236)

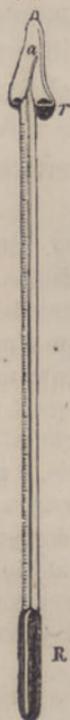
maximo e o minimo de temperatura que se succedem durante certo intervallo de tempo. Compõe-se d'um reservatorio *R*, ao qual se liga superiormente um tubo de vidro duplamente recurvado *bca*, que termina por um pequeno reservatorio *r*. A parte inferior dos dois ramos do tubo contém mercurio, e na parte superior dos mesmos existe alcohol. O reservatorio *R* e parte do ramo *bc* até á columna do mercurio estão cheios de alcohol, e o outro reservatorio *r* contém ar, que pela sua força elastica conserva constantemente em contacto as duas columnas de alcohol e mercurio no ramo *ab*.

Em cada ramo existe immergido no alcohol um pequeno cylindro ou index de esmalte, em torno do qual está collocada uma especie de mola de cabelo ou de vidro, que sustém o index na altura a que é levado pela columna de mercurio. Os dois cylindros contém interior-

mente uma porção de fio de ferro e são previamente collocados em contacto com os apices da columna de mercurio nos dois ramos, o que se consegue por meio de um *iman*. Quando a temperatura sobe, o alcool, dilatando-se, faz subir o mercurio no ramo *ca*, subindo pois o index correspondente e conservando-se estacionario o outro. O contrario se verifica quando a temperatura desce, de modo que o indice do ramo *cb* faz conhecer a temperatura minima e o do ramo *ca* a temperatura maxima.

386. *Thermometros de mr. Walferdin*—Os thermometros de maximo e de minimo de mr. Walferdin, são instrumentos mais perfeitos que os precedentes, e servem principalmente para determinar as temperaturas maximas e minimas do fundo dos mares, e dos poços, etc. Para este fim introduzem-se os thermometros em vasos metallicos de paredes resistentes e hermeticamente fechadas, a fim de obviar a que o peso da agua que supportam fracture os instrumentos, ou pelo menos comprima os seus reservatorios, o que tornaria falsas as indicações thermometricas.

(a) *O thermometro de maximo* (fig. 237) é de mercurio, e compõe-se de um tubo thermometrico ordinario, adelgaçado no extremo superior *a*, que é aberto e communica com um reservatorio superior *r*, contendo o mercurio sufficiente para envolver o extremo superior do tubo na occasião da inversão do instrumento.



(Fig. 237)

Para fazer uso d'este instrumento é primeiramente necessario encher completamente o tubo do thermometro n'uma temperatura inferior ao maximo que se pretende determinar, para o que se aquece o thermometro até que o mercurio chegue ao extremo superior do tubo e se resfria em seguida depois de invertido a uma temperatura inferior á que se deseja conhecer. Feito isto restitue-se o instrumento á posição normal, e colloca-se no lugar cujo maximo de temperatura se quer determinar. Quando a temperatura sobe, o mercurio, em virtude da sua dilatação, entra em parte no reservatorio *r*, de maneira que a haste fica completamente cheia de mercurio na occasião do maximo. Para depois se conhecer a maxima temperatura a que o thermometro se elevou, introduz-se este juntamente com um thermometro padrão n'um banho que se aquece gradualmente, até que o mercurio no thermometro de maximo chegue ao vertice da haste; n'estas circumstancias a temperatura indicada pelo thermometro padrão será o *maximo* de temperatura procurado.

(b). *O thermometro de minimo* (fig. 238) é de mercurio e de alcool, e constituido por um tubo thermometrico, communicando directamente

na parte superior com um reservatorio *r* que contém alcohol e terminando inferiormente em ponta afilada *o*, que penetra na capacidade do reservatorio *R*. Este ultimo contém mercurio e uma pequena quantidade de alcohol. Para empregar este instrumento, resfria-se primeiramente, a fim de que a columna de mercurio baixe a uma temperatura inferior ao minimo que se pretende determinar, depois inverte-se o thermometro, de modo que o extremo *o* do tubo se ponha em contacto com o mercurio, e eleva-se a temperatura; o mercurio entra em parte no interior da haste, onde fica depois de se collocar de novo o instrumento na posição inicial. Quando a temperatura baixa o mercurio cõe em parte no reservatorio *R*, de modo que, no momento do minimo, o mercurio chega ao extremo *o* do tubo.

Para depois determinar o minimo, mergulha-se o thermometro de minimo, bem como o padrão, n'um banho que se resfria gradualmente, até que o vertice inferior da columna de mercurio chegue á ponta *o*: a temperatura que o thermometro padrão designa será o *minimo de temperatura procurado*.

387. *Thermometros de ar*—O thermometro de ar, na sua maxima simplicidade, é constituido por um longo tubo capillar, aberto n'um dos extremos e soldado pelo outro a um reservatorio espherico: o ar contido no reservatorio e em parte do tubo está isolado da atmosphaera por meio de um indice de acido sulphurico corado, de dois a tres millimetros de extensão; é pelo deslocamento d'este indice que se conhecem as variações que experimenta o volume do ar isolado no aparelho. A gradação d'este instrumento faz-se, mergulhando o reservatorio, primeiro em fragmentos de gêlo em fusão, e depois em agua mantida a uma temperatura conhecida, 10° por exemplo, e marcando 0 e 10 nos pontos em que o indice estacionou n'estas circumstancias. O intervallo comprehendido entre estes dois pontos divide-se em 10 partes iguaes, e prolongam-se as mesmas divisões alem dos pontos determinados.

Este thermometro é muito sensivel, poisque indica rapidamente pequenas variações de temperatura, e, entre certos limites, acompanha as indicações do de mercurio; porém apresenta o inconveniente das posições do indice dependerem tam-



(Fig. 238)

bem das variações da pressão atmospherica, e em parte do seu proprio peso. Para empregar convenientemente este aparelho, é necessario pois attender áquellas variações e ao peso do indice. Costuma-se tambem dar ao thermometro de ar uma outra disposição: o reservatorio do thermometro é superior e a extremidade aberta do tubo thermometrico mergulha n'um liquido corado depois de previamente aquecido. Se a temperatura augmenta, o nivel do liquido no interior do tubo desce; se pelo contrario diminue, o liquido corado sobe.

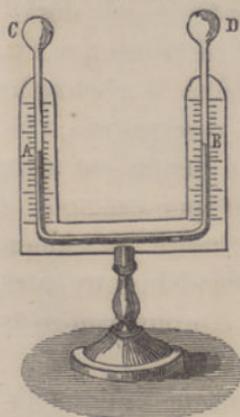
O thermometro de ar, que pouco se emprega para determinar pequenas elevações de temperatura, é preferivel ao de mercurio para as temperaturas elevadas, poisque este liquido desde 100° até a temperatura de ebullicão se dilata irregularmente, o que não acontece com o ar. Póde comtudo n'estas circumstancias empregar-se ainda o thermometro de mercurio, depois de graduado por comparação com um thermometro de ar.

Podem tambem empregar-se como thermometros de ar todos os aparelhos destinados a medir a dilataçã dos gazes e que adiante descreveremos.

388. *Thermometros differenciaes*—Denominam-se *thermometros differenciaes* os thermometros destinados a fazer conhecer as differenças de temperatura de dois logares mui proximos. Estes thermometros são de ar e não estão submettidos á acção da pressão atmospherica.

Descreveremos os thermometros differenciaes de Leslie e de Rumfort.

389. *Thermometro differencial de Leslie*.—Este instrumento (fig. 239), assim chamado do nome do seu auctor, o physico escocez Leslie, é composto de um tubo de vidro duplamente recurvado a angulo recto, fixo sobre uma prancha de madeira e terminando por duas espheras



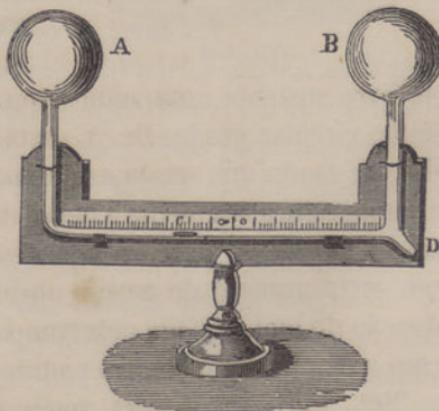
(Fig. 239)

ôcas *C* e *D* cheias de ar.

O tubo contém uma certa quantidade de acido sulphurico

corado, liquido que não produz sensivelmente vapores á temperatura ordinaria, e que deve subir á mesma altura nos ramos verticaes quando as esferas têm igual temperatura. Para que isto se verifique é comtudo preciso que as duas esferas e parte dos tubos acima do liquido conttenham igual quantidade de ar, o que se consegue por tentativas, fazendo passar o ar através do liquido de uma para outra esfera, até que o nivel do liquido nos dois ramos verticaes seja o mesmo quando as esferas experimentam igual temperatura. Os apices *A* e *B* das columnas liquidas, n'estas circumstancias, correspondem ao ponto zero; e o resto da graduação é feito, sujeitando uma das esferas a uma temperatura que exceda 10° a da outra. O ar dilata-se pois na primeira esfera, e o liquido desce no ramo correspondente e sobe no outro. Apenas se estabelece o equilibrio marca-se 10 nos pontos a que correspondem os vertices das columnas liquidas nos dois ramos; dividem-se os intervallos comprehendidos entre 0 e 10 em dez partes iguaes e continuam-se iguaes divisões para baixo e para cima do zero em todo o comprimento dos ramos verticaes. Este instrumento, destinado pelo seu auctor a medir a differença entre duas temperaturas, póde tambem servir para medir temperaturas absolutas, para o que basta cercar uma das esferas de gêlo em fusão.

390. *Thermometro differencial de Rumfort.*— Este instrumento (fig. 240), que o conde de Rumfort, seu auctor, chamou *thermoscopio*, differe pouco do precedente. É formado como o de Leslie de um tubo horisontal, mas de maior comprimento e os ramos

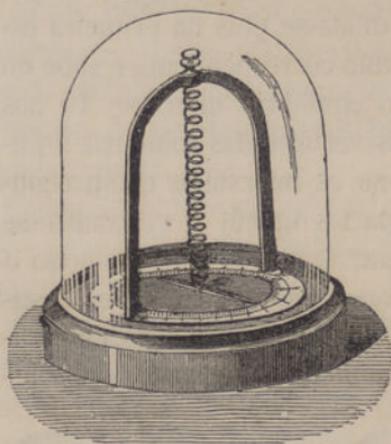


(Fig. 240)

verticaes que terminam por esferas ôcas, *A* e *B*, têm pequena altura. O liquido contido no aparelho apenas forma

um indice c de dois centímetros. Quando a temperatura é a mesma nas duas esferas o indice deve occupar a parte media do tubo horisontal. Quando isto não acontece recolhe-se o indice no appendice D , aquece-se a esfera que contém maior quantidade de ar, e introduz-se de novo o indice no tubo horisontal. O zero do thermoscopio corresponde a cada um dos extremos do indice quando este existe na parte media do tubo horisontal e as divisões ou graus estão marcadas alem do zero de um e de outro lado. Os usos d'este aparelho são os mesmos dos do thermometro de Leslie.

391. *Thermometro metallico de Bréguet.*—Este instrumento (fig. 241), devido a A. Bréguet, relojoeiro francez,



(Fig. 241)

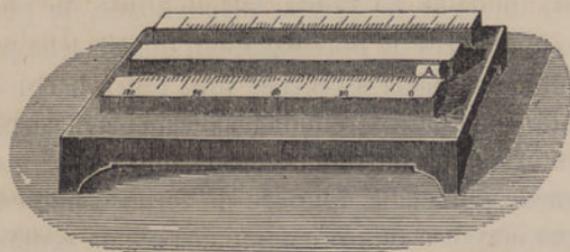
funda-se na desigual dilatabilidade dos metaes. É constituido por uma fita formada de tres finissimas laminas de prata, oiro e platina perfeitamente soldadas entre si, e sobrepostas pela ordem em que as mencionámos, que é a ordem decrescente da sua dilatabilidade. A fita está enrolada em helice e fixa pela extremidade superior a um suporte; a sua extremida-

de livre sustenta uma agulha que pôde mover-se sobre um limbo circular graduado. A prata occupa a parte interna da fita, de modo que sendo este o metal mais dilatavel, quando a temperatura augmenta a helice desenrola-se, e no caso contrario enrola-se, percorrendo a agulha em ambos os casos um certo numero de graus sobre o limbo graduado. A gradação do limbo é feita pela comparação da marcha da agulha com a de um thermometro padrão de mercurio.

392. *Pyrometros.*—O mercurio entrando em ebulição na temperatura de 360° centigrados, e não sendo possivel pois empregar o thermometro de mercurio, assim como o de ar na determinação das temperaturas muito elevadas, taes

como as que se produzem nos fornos de fundição, attenta a fusão do vidro; empregam-se n'estas circumstancias instrumentos especiaes, que, como sabemos, se denominam *pyrometros*.

393. *Pyrometro de Wedgwood*.—O pyrometro de Wedgwood (fig. 242), devido ao fabricante de louça d'este nome,



(Fig. 242)

baseia-se na contracção uniforme e permanente que a argilla experimenta quando submettida a temperaturas elevadas depois de convenientemente secca. Este aparelho é formado de uma chapa de cobre, sobre a qual estão fixas tres barras do mesmo metal. Estas barras dão origem a duas ranhuras cujas larguras vão successivamente diminuindo da parte anterior para a posterior, e estão dispostas de modo que a segunda ranhura é a continuação da primeira.

As barras estão divididas em 240 partes iguaes, cada uma das quaes constitue um grau do pyrometro. Para determinar a temperatura de um forno, empregam-se pequenos cones *A* de argilla, que depois de seccos n'uma estufa, se ajustam perfeitamente no extremo zero da ranhura. Introduzindo o cone de argilla no forno, cuja temperatura se pretende conhecer, a argilla contrahe-se em virtude de um augmento de cohesão. Tirando o cone do forno, pelo resfriamento, fica com um volume menor do que o que tinha primitivamente, e fazendo-o escorregar entre as ranhuras avança tanto mais quanto maior foi a contracção que experimentou. O ponto das ranhuras, que agora corresponde ao extremo de menor diametro do cone de argilla, designa a temperatura do forno.

Admitte-se que cada grau de pyrometro vale proximamente 72° da escala centigrada, e que o zero corresponde a 580° da mesma escala.

As indicações d'este pyrometro estão longe de serem precisas, mas são sufficientes para as necessidades da industria.

394. *Pyrometro de Brogniart.*— Este aparelho pela primeira vez empregado por Brogniart na fabrica de porcelana de Sèvres, funda-se na pouca dilatabilidade da porcelana. Consta de uma barra de porcelana, em que se acha praticada uma ranhura destinada a receber uma outra barra de ferro ou de prata. Uma das extremidades d'esta barra corresponde a um dos extremos da ranhura, e á outra está justaposta uma barra de porcelana, que sae do forno e põe em movimento uma alavanca que o communica a uma agulha que se move sobre um quadrante graduado. A graduação d'este instrumento é feita empiricamente pelo conhecimento das temperaturas necessarias para as differentes operações ceramicas.

395. *Pyrometro de ar.*— Este instrumento, empregado por mr. Pouillet para determinar a dilatação dos gazes, e tambem para medir as temperaturas muito elevadas, é um thermometro de ar em que o reservatorio de vidro foi substituido por um reservatorio de platina. Por meio d'este instrumento mr. Pouillet chegou a determinar as seguintes temperaturas, a que correspondem aspectos especiaes dos solidos quando incandescentes :

Temperaturas em graus centigrados	Cores da platina
525	Rubro nascente
700	Rubro sombrio
900	Côr de cereja
1100	Alaranjado escuro
1300	Branco
1500	Branco resplandecente

É muito importante o conhecimento d'este quadro, pois-que segundo mr. Pouillet basta, para quem tem alguma pratica,

examinar o aspecto de um corpo incandescente, para conhecer a temperatura com um erro que não é superior a 50°.

CAPITULO III

Dilatação

SECÇÃO 1.^a

Dilatação dos solidos

396. *Coefficientes de dilatação linear; formulas geraes da dilatação.*—Quando um corpo solido se dilata, pôde-se pretender estudar o effeito produzido sobre uma de suas dimensões, sobre duas ou sobre tres. No primeiro caso a dilatação denomina-se *linear*, no segundo *superficial*, e no ultimo *cubica* ou *de volume*.

Quando uma barra, cujo comprimento é C a zero de graus passa de zero a um grau de temperatura, experimenta um cero alongamento Ck proporcional ao comprimento primitivo C e a um coefficiente k muito pequeno, variavel para cada substancia, e que se denomina *coefficiente de dilatação linear*. Ese coefficiente designa a relação entre o alongamento experimentado pela barra por passar de zero a um grau e o seu comprimento a zero, ou, por outra, exprime a dilatação linear de unidade de comprimento da substancia de que a barra é constituida quando a sua temperatura sobe de 1°. A experiencia demonstra que em geral os solidos se dilatam uniformemente de zero a 100 graus de temperatura; e que por consequente entre esses limites os alongamentos crescem como as temperaturas; assim se o alongamento experimentado pela barra quando passa de 0° a 1° é Ck , o alongamento por passa da temperatura zero á temperatura t será Ckt e, representado por C_t o comprimento da barra n'esta ultima temperatura, ter-se-ha

$$C_t = C (1 + kt) \dots\dots\dots (1)$$

Tal é a formula que se emprega para determinar o comprimento de um corpo na temperatura t , quando se conhece o seu comprimento na temperatura zero; e para determinar qualquer d'estas quantidades, quando as outras forem conhecidas.

A formula (1) quando a temperatura do corpo é t' , dá

$$C_t' = C (1 + k_t')$$

e dividindo esta pela (1), desprezando os termos a partir do quadrado de k , por serem quantidades muito pequenas, obtém-se

$$C_t' = C_t [1 + k (t' - t)] \dots\dots\dots (2)$$

Esta formula serve para determinar o comprimento de um corpo n'uma temperatura t' , sem ser necessario conhecer o seu comprimento a zero.

As formulas (1) e (2) não são applicaveis quando a dilatação do corpo não é uniforme. N'este caso emprega-se um coefficiente medio de dilatação, que se determina, dividindo o alongamento que o corpo experimente por passar de 0° a uma temperatura qualquer, pelo numero de graus comprehendido n'esse intervallo.

Querendo determinar a dilatação superficial dos corpos, e notando que, se a superficie é homogenea, deve conser'ar uma figura semelhante, em qualquer temperatura, e que por consequente a sua area a zero e a t graus deve ser proporcional aos quadrados das linhas homologas, ter-se-ha, assignando por S e S_t as superficies a zero e t graus

$$\frac{S_t}{S} = \frac{C_t^2}{C^2} = (1 + k t)^2 \text{ e } S_t = S (1 + 2 k t) \dots\dots\dots 3)$$

desprezando como anteriormente as potencias de k , superiores á unidade. Para determinar a dilatação cubica dos solidos, advertindo que no caso d'elles serem homogeneos, os volumes a zero e a t graus são semelhantes, e portanto proporcionaes aos cubos das suas dimensões homologas, ter-se-h:

$$\frac{V_t}{V} = \frac{C_t^3}{C^3} = (1 + k t)^3$$

ou approximadamente

$$V_t = V (1 + 3 kt) \dots\dots\dots (4)$$

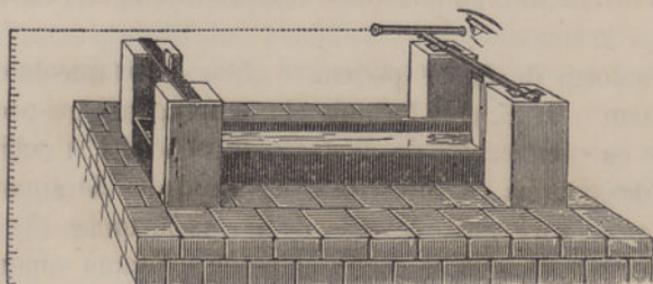
Os valores de S_t e V_t podem-se obter directamente como se obtem o de C_t pela formula (1), empregando respectivamente os coefficients de dilatação superficial k' e cubica K para designarem os acrescimos das unidades de superficie e volume, para uma elevação de 1° . As formulas (3) e (4) exprimem pois, que os coefficients de dilatação superficial e cubica k' e K , são respectivamente o dobro e o triplo do coefficiente de dilatação linear.

Das relações anteriores deduz-se immediatamente que todas as questões relativas á dilatação dos solidos poderão ser resolvidas quando se conheça o coefficiente k de dilatação linear.

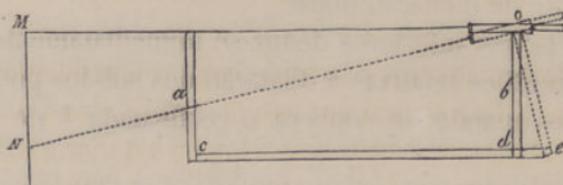
Differentes observadores têm procurado obter experimentalmente os coefficients de dilatação linear das substancias mais usuaes, empregando um methodo geral que consiste em medir a O e a t graus os comprimentos de barras ou régua mergulhadas em tinas, nas quaes se deita gêlo ou algum liquido cuja temperatura se faz variar.

397. *Processo de Lavoisier e Laplace.*—O apparelho de que se serviram, em 1782, Lavoisier e Laplace para determinar o coefficiente de dilatação linear de alguns solidos, constava essencialmente de uma caixa ou tina de cobre collocada sobre uma fornalha, entre quatro pilares de alvenaria solidamente assentes (fig. 243 e 244). A barra cd , de que se pretendia determinar a dilatação, era collocada dentro da tina sobre rolos de vidro que lhe permittiam facilmente o deslocamento longitudinal, e os seus dois extremos apoiavam-se um contra uma régua vertical de vidro a , fixa invariavelmente, e o outro n'uma régua semelhante b movel em torno de um eixo o . A barra cd fixa pelo extremo c , quando se dilatava impellia pelo outro extremo a régua movel b , e o movimento de rotação d'este communicava-se por meio de uma alavanca a um oculo que visava sobre uma escala vertical

colocada a 200 metros. A relação entre o alongamento d e a grandeza MN , que lhe correspondia na escala, era constante



(Fig. 243)



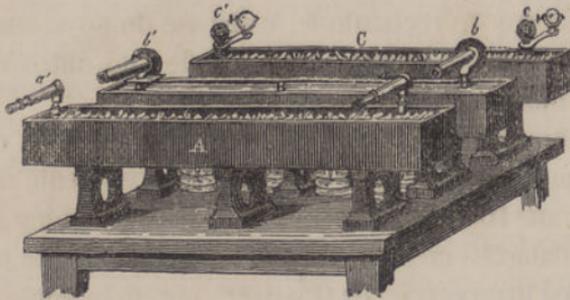
(Fig. 244)

e igual a $\frac{od}{oM}$, e por uma experiencia preliminar feita com uma barra um pouco maior que cd , achou-se ser igual a $\frac{1}{744}$. Nas figuras a escala está representada, por commodidade, a pequena distancia. O alongamento de um millimetro na barra sujeita á experiencia fazia pois percorrer ao oculo 744 millimetros sobre a escala, o que fornecia o meio de dividir o alongamento de um millimetro em 744 partes iguaes, e por conseguinte a possibilidade de apreciar a dilatação da barra até $\frac{1}{744}$ do millimetro.

Para operar enchia-se a tina com gêlo e observava-se a que ponto da escala correspondia o retilculo do oculo, e depois substituia-se o gêlo por agua ou azeite na temperatura t , e observava-se de novo a escala: da differença das duas leituras deduzia-se facilmente a quantidade de que a barra se havia dilatado.

398. *Processo de Ramsden e Roy.*—O aparelho que Ramsden construiu em 1785 sob a direcção de Roy, para

determinar o coeſſiciente de dilataçãõ linear de alguns solidos, era constituido por tres tinas metallicas parallelas *A*, *B* e *C* (fig. 245), no interior das quaes se collocavam parallelamente



(Fig. 245)

e bem horisontaes tres barras de igual comprimento. A barra collocada na tina central era assente sobre rolos, e constituida pela substancia de que se pretendia estudar a dilataçãõ, e as outras duas eram de ferro fundido. Nos extremos de todas as tres barras elevavam-se hastes verticaes da mesma altura, sendo as correspondentes á barra contida na tina *C*, munidas nos extremos de discos com orificios *c* e *c'*, cujos centros eram determinados pelo cruzamento de fios, como os dos recticulos dos oculos, e as das barras contidas nas tinas *B* e *A* munidas de tubos, contendo respectivamente as objectivas *b* e *b'* e oculares *a* e *a'* de um oculo astronomico tambem com recticulos.

As tres barras, estando primitivamente na temperatura zero, para o que se enchiam as tinas de gêlo, os fios dos recticulos eram regulados de modo que os cruzamentos dos tres de cada lado determinavam uma recta perpendicular aos comprimentos das barras. Depois substituia-se o gêlo da tina central por um liquido que se aquecia até um certo ponto, sendo a temperatura indicada por varios thermometros. N'estas circunstancias a barra central, tendo-se dilatado, os pontos de cruzamento dos respectivos recticulos *b* e *b'* deixavam de estar em correspondencia com os das outras barras. Fazendo porém com que um d'aquelles pontos, *b* por exemplo, se não deslocasse ou levando-o de novo á posiçãõ primitiva se elle se ti-

na deslocado, o afastamento do ponto b' representava precisamente o effeito da dilatação da barra central. O alongamento d'esta barra era apreciado com muito rigor por meio de um parafuso micrometrico, que se fazia mover até que o cruzamento dos fios do recticulo b' , estivesse de novo em correspondencia com os cruzamentos dos fios do outro recticulo a e c do mesmo lado.

399. *Resultados obtidos.*—Lavoisier e Laplace reconheceram que a dilatação dos solidos é sensivelmente uniforme desde 0° até 100° de temperatura, e Petit e Dulong acharam que as dilatações crescem com as temperaturas, de uma maneira quasi inapreciavel de 0° a 100° , porém bastante sensível entre 0° e 300° . O aço temperado faz porém excepção a esta regra; a sua dilatação diminue á medida que a temperatura se eleva, o que parece devido a uma especie de recozimento produzido pelo calor, porque se verificou mesmo que o aço recozido se dilata menos que o aço temperado. Em seguida damos os coefficients da dilatação linear dos solidos mais empregados nas artes, segundo diversos experimentadores.

Quadro dos coefficients de dilatação linear dos solidos mais empregados nas artes

SUBSTANCIAS	COEFFICIENTES
Aço não temperado (Lavoisier e Laplace).....	0,000010792
Cobre (idem)	0,000017173
Latão (idem)	0,000018782
Oiro (idem)	0,000014660
Ferro (Smeaton)	0,000012583
Estanho (idem)	0,000022833
Zinco (idem)	0,000029416
Bronze (idem)	0,000018167
Aço temperado (idem)	0,000012250
Vidro branco (idem).....	0,000008333
Prata (Troughton)	0,000020826
Platina (idem).....	0,000009918
Ferro fundido (Roy).....	0,000011100
Aço em vara (idem).....	0,000011445

Adiante daremos alguns dos resultados obtidos por Petit e Dulong sobre a dilatação cubica dos solidos.

Deve notar-se que a dilatação dos solidos, variando em geral com a pureza e estrutura especial das diversas substancias, os numeros indicados no quadro anterior representam apenas com rigor os coefficients de dilatação dos fragmentos experimentados, e servem apenas para dar uma idéa da ordem de grandeza d'esses numeros, com respeito ás substancias a que se referem.

Alguns corpos parecem fazer excepção á lei geral de dilatabilidade da materia. Assim a argilla bem secca contrahe-se pela acção do calor (393), o que é devido ao começo de vitrificação que se produz, isto é, uma certa alteração na natureza chimica da argilla. A madeira contrahe-se tambem quando é aquecida, porque perde a humidade. M. Joule mostrou tambem que o cautchuc diminue de volume pela acção do calor.

400. *Dilatação dos corpos excavados internamente.*—A capacidade interior de um corpo ôco augmenta tanto pela acção do calor como augmentaria o volume de um corpo da mesma substancia que a enchesse exactamente. Com effeito, considerando um vaso de fôrma e materia quaesquer, e suppondo-o cheio por um nucleo formado da mesma substancia, é evidente que os nucleos e as paredes do vaso constituirão, por assim dizer, um solido continuo, que, pela acção do calor se dilatará sem que o nucleo deixe de encher o seu involucro. Este experimentará pois a mesma dilatação que o volume do nucleo. Para tornar sensivel o effeito de dilatação das capacidades dos vasos, basta observar attentamente o que se passa quando se mergulha em agua ebulliente um tubo thermometrico cheio de liquido até certa altura. Quando se immerge o tubo na agua, o nivel do liquido interno desce, o que provém da dilatação de capacidade do tubo; porém no fim de um pequeno lapso de tempo, o liquido que elle contém aquece-se e o seu nivel sobe.

401. *Aplicações da dilatação dos solidos.*—A dilatação dos solidos, aindaque seja muito pequena em si mesma,



produz contudo sobre os corpos de grandes dimensões, variações a que em muitos casos se não póde deixar de attender.

Na construcção dos caminhos de ferro, por exemplo, é necessario deixar nos pontos da junção dos carris um intervallo sufficiente para que a dilatação se possa verificar. Se os carris se tocassem, a força de dilatação fal-os-ia curvar de distancia em distancia, ou faria rebentar as almofadas a que estão fixos. É igualmente necessario attender a dilatação nos cannos que conduzem a agua e o gaz de illuminação, fazendo que um dos extremos de cada tubo entre á vontade no do tubo immediato, para que cada tubo possa acompanhar os movimentos provenientes da dilatação. Deve tambem tomar-se em linha de conta a dilatação nas grelhas das fornalhas, nos telhados de zinco, etc. A desigual dilatação dos differentes metaes tem sido aproveitada especialmente na construcção dos pendulos compensadores.

402. *Pendulos compensadores.*—O pendulo, como sabemos, é empregado para regular a marcha dos relógios; mas para satisfazer perfeitamente a esta condição, é necessario que as suas oscillações sejam isochronas.

Se o comprimento do pendulo augmenta, as oscillações tornam-se mais demoradas e o relógio ou pendulo atraza-se; produz-se o effeito contrario se o comprimento do pendulo diminue. É por conseguinte necessario que o comprimento do pendulo se conserve invariavel apesar das variações incessantes de temperatura, e é isto o que se obtem por meio dos pendulos compensadores.

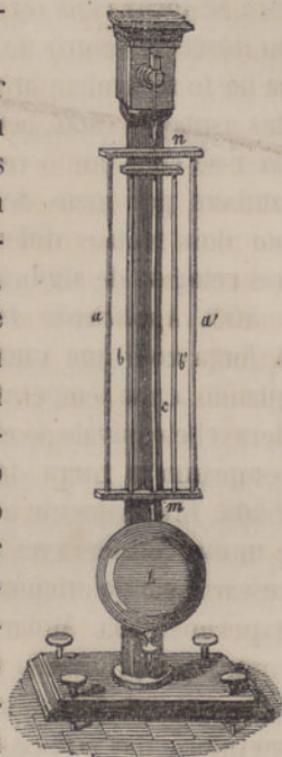
O pendulo compensador mais simples compõe-se de uma haste de vidro, no extremo inferior da qual existe um reservatorio cylindrico da mesma substancia contendo mercurio e que serve de lentilha. Quando a haste do pendulo se alonga pelo acrescimo de temperatura o mercurio dilata-se subindo no interior do reservatorio. A dilatação da haste faz descer o centro de gravidade da lentilha ao passo que a do mercurio o faz subir, e como este liquido se dilata mais do que o vidro póde-se dar ao cylindro de mercurio uma altura tal, que os



dois efeitos contrarios se compensem exactamente. Este pendulo é devido a Graham.

No pendulo compensador geralmente adoptado a haste do pendulo é substituida por uma serie de caixilhos (fig. 246), cujos elementos verticaes são alternativamente de aço e latão.

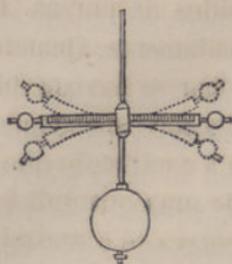
O caixilho exterior é constituido por duas barras transversaes m e n em cujos extremos estão soldadas duas hastes verticaes de aço a e a' . Sobre a barra transversal inferior estão soldadas duas hastes verticaes de latão b e b' , ligadas superiormente por outra que suspende uma haste de aço que passa livremente por uma abertura praticada na barra transversal m , e sustenta inferiormente a lente L . D'esta disposição resulta que pelo effeito da dilatação as hastes de aço tendem e fazem descer a lente, ao passo que as de latão tendem a fazel-a subir. Ora se o alongamento das hastes de aço for igual ao das hastes de latão, o centro de oscillação conservar-se-ha á mesma distancia do eixo do movimento, qualquer que seja a temperatura do ar ambiente. Este resultado obtem-se,



(Fig. 246)

dando ás hastes de aço e latão comprimentos que estejam na rasão inversa dos coefficients de dilatação d'estes dois metaes.

Tambem se obtem a compensação dos pendulos por meio de um systema, constituido por duas laminas de metaes diversos (fig. 247), soldadas uma a outra em todo o comprimento, e fixas transversalmente á haste do pendulo. A lamina mais dilatavel está collocada inferiormente á outra, de modo que, quando a tem-



(Fig. 247)

peratura se eleva o systema curva-se para a parte superior, e o contrario se verifica quando a temperatura baixa. D'este modo as duas espheras metallicas, collocadas nos extremos das laminas, elevam-se ou abaixam-se, conforme a temperatura se torna mais ou menos elevada tendendo a fazer subir ou descer o centro de gravidade do pendulo, ao passo que na haste se tende a produzir o effeito contrario. Se as massas das espheras estão bem calculadas, póde pois por este meio fazer-se com que o centro de oscillação se não desloque. É tambem por meio de laminas compensadoras constituidas por dois metaes differentes, que se obtem a compensação nos relógios de algibeira.

403. *Appliação de força de contracção dos solidos.*— A força com que uma barra não flexivel tende a dilatar-se quando a sua temperatura augmenta, é extremamente consideravel e equivale ao esforço que seria preciso empregar para comprimir a barra de uma quantidade igual á da que se dilata. Inversamente a força com que uma barra se contrahe é muito consideravel e equivalente ao esforço que seria necessario para a alongar de uma quantidade igual á contracção experimentada. Molard applicou vantajosamente a força de contracção produzida pelo resfriamento para collocar em posição estavel dois muros de uma galeria do edificio do conservatorio das artes e officios em Paris.

Molard fez atravessar os dois muros por uma serie de barras de ferro terminadas nos extremos por parafusos munidos de porcas. Estas barras eram depois aquecidas alternadamente. Quando as barras que se aqueceram em primeiro logar se haviam dilatado apertavam-se exteriormente as porcas correspondentes; depois deixavam-se resfriar estas barras e a contracção que experimentavam fez approximar os muros de uma quantidade igual a essa contracção. Em seguida executava-se o mesmo com as barras que não tinham sido aquecidas, e repetindo esta operação alternadamente com os dois systemas de barras conseguiu-se fazer desaparecer a inclinação dos muros.

A força de contracção produzida pelo resfriamento tem tam-

bem aproveitado com vantagens na collocação das chapas ou cintas de ferro que circumdam as rodas das viaturas, e na dos anneis de aço que se empregam nas bôcas de fogo cintadas. Os anneis e cintas depois de aquecidos são ajustados sob os contornos das peças ou das rodas, e pelo resfriamento contra-hem-se, apertando fortemente as partes que abraçam. Foi também por uma maneira analoga que se conseguiu, por meio de grandes anneis de ferro, consolidar o zimbório da igreja de S. Pedro em Roma.

SECÇÃO 2.^a

Dilatação dos liquidos

404. *Dilatação absoluta e apparente dos liquidos.*— Como os liquidos não affectam fôrma propria, apenas ha a estudar n'elles a dilatação cubica, que se diz *absoluta* quando se determina o acrescimo real do seu volume, e *apparente* quando se considera unicamente a differença entre esse acrescimo e o da capacidade em que o liquido está contido. A dilatação apparente é a que effectivamente se observa no volume de um liquido contido n'um vaso qualquer, ao passo que a dilatação absoluta é a que se observaria se o liquido estivesse n'um vaso indilatavel. Denomina-se coefficiente de dilatação de um liquido cuja dilatação seja uniforme o acrescimo experimentado pela unidade de volume d'esse liquido quando a sua temperatura se eleva de 1°. Como porém a dilatação dos liquidos não é uniforme, consideram-se apenas os coefficientes medios de dilatação (396).

405. *Dilatação absoluta de mercurio: idéa das experiencias de Petit e Dulong.*— Considerem-se dois tubos verticaes contendo mercurio e communicando entre si por meio de um tubo horisontal comprido e delgado, a fim de que o liquido que existe n'um dos tubos se não possa misturar com o do outro quando se acham em temperaturas diversas. Se d_0 e d_t representam as densidades do mercurio a 0° e t° e A_0 , A_t as alturas correspondentes das columnas de mercurio contidas nos tubos verticaes e mantidas respectivamente n'essas temperaturas,

ter-se-ha (205): $\frac{A_o}{A_t} = \frac{d_t}{d_o}$. E se v_o e v_t designam os volumes de uma massa de mercurio a 0° e t° ter-se-ha tambem $\frac{v_o}{v_t} = \frac{d_t}{d_o}$.

Combinando estas proporções acha-se $\frac{v_o}{v_t} = \frac{A_t}{A_o}$, d'onde se deduz

$$\frac{v_t - v_o}{v_o} = \frac{A_t - A_o}{A_o} = \delta_t.$$

representando por δ_t a dilatação experimentada pelo mercurio.

O coefficiente medio de dilatação absoluta obtem-se dividindo a dilatação δ_t pelo numero de graus thermometricos comprehendidos entre 0° e t° . Petit e Dulong e mais tarde mr. Regnault, servindo-se d'este principio, indicado primeiramente por Boile, fizeram experiencias notaveis, a fim de determinarem a dilatação absoluta do mercurio.

Nas experiencias de Petit e Dulong os tubos verticaes eram de vidro e contidos em dois vasos metallicos, um dos quaes estava cheio de fragmentos de gelo, a fim de manter a temperatura do mercurio a zero no tubo correspondente, e o outro continha agua, ou antes azeite, que se mantinha na temperatura em que se queria operar. A temperatura do banho de azeite ou a do mercurio contido no tubo respectivo era indicada por um thermometro de ar e outro *de peso*, que adiante será descripto, e cujos reservatorios occupavam quasi toda a altura do vaso.

Os tubos verticaes tinham na parte superior o diametro sufficiente para que os effeitos da capillaridade não fossem sensiveis. O tubo horisontal era quasi capillar, e apoiava-se sobre uma barra de ferro em fórma de T, cuja superficie superior plana, se collocava previamente horisontal.

Na parte superior do vaso que se mantinha sempre a zero, havia um ponto fixo de reparo, em relação ao qual se mediam em cada experiencia por meio do cathetometro as differenças entre as alturas A_t e A_o . A altura A_o podia facilmente obter-se, porque a distancia do ponto de reparo ao eixo do tubo horisontal havia sido determinada previamente com bastante rigor.

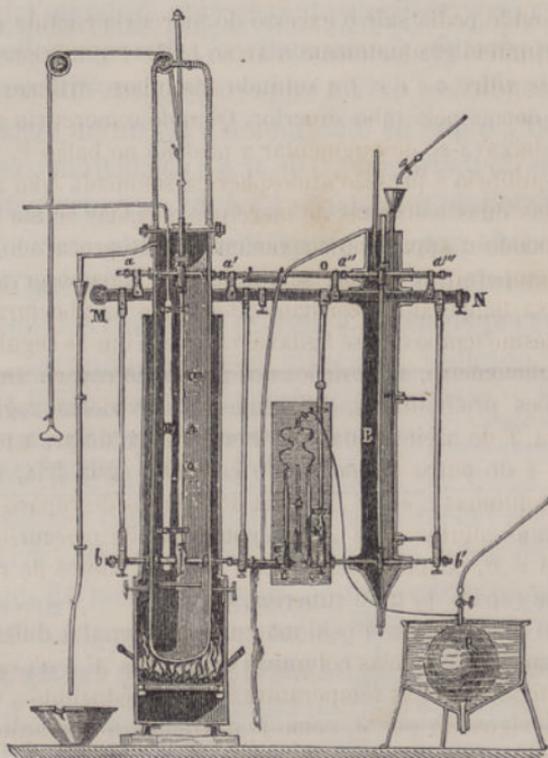
Petit e Dulong acharam que a dilatação do mercúrio era sensivelmente uniforme de 0° até 100° e que o valor do coeficiente medio de dilatação entre 0° e 100°, 0° e 200°, 0° e 300° era progressivamente crescente. Notaram tambem que os dois apparatus thermometricos, postoque collocados nas mesmas condições, davam numero de graus differentes a partir de 100°, o que os determinou a seguirem unicamente as indicações do thermometro de ar e a calcularem o coeficiente medio, dividindo a dilatação total do mercúrio pelo numero de graus dado por este ultimo instrumento.

Eis os resultados deduzidos por Petit e Dulong das medias de muitas experiencias:

Temperatura do thermometro de ar	Coeficiente medio de Dilatação do mercúrio a partir de 0°	Temperatura indicada pela dilatação do mercúrio suppondo-a constante
100°	$\frac{1}{5550} = 0,00018018$	100°
200°	$\frac{1}{5425} = 0,00018433$	204°,61
300°	$\frac{1}{5300} = 0,00018868$	314°,15

406. *Experiencias de mr. Regnault.* — O apparatus empregado por mr. Regnault para determinar a dilatação absoluta do mercúrio, compunha-se de dois tubos verticaes de ferro A e B (fig. 248) de 1^m, 5 de comprimento, reunidos superiormente por um tubo horizontal a a' a'' a''', tambem de ferro, e inferiormente por dois pequenos tubos horizontaes da mesma substancia, b c, b' c', cujos extremos c e c' se ligavam por meio de dois tubos verticaes de vidro c e e' e c' f abertos na parte superior e reunidos por um conducto de chumbo, que a seu turno podia communicar com um balão cheio de ar comprimido e circumdado de agua fria. Os tubos A e B eram abertos superiormente sendo por elles que se introduziu o mercúrio no apparatus. O tubo A estava contido em uma caldeira cylindrica, cheia de azeite, sendo esta, a fim de evitar o seu resfriamento, circumdada pela chaminé tubular da fornalha que servia para a aquecer. A temperatura do azeite, que se tornava quanto possivel uniforme, por meio de agitadores L, L', era indicada por um thermometro de ar, cujo reservatorio R, de grande extensão, adquiria a temperatura media do azei-

te. O outro tubo vertical *B* era circumdado por uma manga de folha de ferro, no interior da qual se fazia continuamente passar uma corrente de agua fria, cuja temperatura constante era dada por alguns thermometros.



(Fig. 248)

Esta agua descia até o fundo da manga de ferro por um tubo e saia, transbordando pela abertura superior, sendo ainda em parte aproveitada depois para resfriar os tubos horisontaes, para o que era convenientemente dirigida por meio de cordas ou de fios.

Sustentava o aparelho uma forte barra de ferro *M N*, movel em torno do eixo *M*, e que assentava sobre dois parafusos, collocados um na parte media e outro no extremo *N*. O tubo *a a' a'' a'''* apoiava-se sobre a barra *M N*, por meio de quatro estribos de ferro, e era muni-do de quatro pontos de reparo *a, a', a'', a'''*, cada um constituido pelo cruzamento de duas linhas e correspondendo todos ao eixo re-tilineo do tubo. Estes pontos de reparo eram observados por meio do cathetometro e collocados todos na mesma horisontal, para o que se regulava convenientemente a posição da barra *M N*. Quatro tiran-tes verticaes de ferro sustentavam os tubos inferiores cujos eixos se podiam tornar horisontaes como os do tubo superior, por meio de pa-

rafusos adaptados no extremo de cada tirante, e com o auxilio dos pontos de reparo b, b', c e c' , que correspondiam aos eixos dos tubos respectivos.

Na parte media e superior do tubo $a a''$ havia um pequeno orificio O , por onde podia sair o excesso do mercurio contido no aparelho: comprimindo gradualmente o ar no balão P o mercurio baixava nos tubos de vidro c e $c' f$ e subindo nos tubos verticaes A e B espalhava-se depois pelo tubo superior. Quando o mercurio afflorava o orificio O , deixava-se de augmentar a pressão no balão P . Esta pressão fazia equilibrio á pressão atmospherica sommada com as que resultavam das duas columnas de mercurio elevadas acima dos niveis e e f . Suppondo o aparelho convenientemente preparado, e que se attingia a temperatura em que se queria fazer uma observação, mantinha-se essa temperatura constante, fechando as aberturas da fornalha, ao mesmo tempo que se agitava o azeite, e que se regulavam, por meio do cathetometro, as posições dos pontos de reparo. Depois d'estas operações preliminares, diferentes observadores registavam a temperatura T do azeite dada pelo thermometro de ar, a temperatura interior t do outro cylindro que continha agua fria, as alturas a' e a das columnas c e $c' f$, acima dos pontos de reparo dos tubos inferiores e as alturas A' e A das columnas de mercurio contidas nos tubos A e B , contadas desde esses mesmos pontos de reparo até os pontos de reparo do tubo superior.

A pressão exercida em e pelo mercurio era igual á differença das pressões transmittidas pelas columnas de alturas A' e a' , e que estavam respectivamente nas temperaturas T e t . Reduzindo a zero estas alturas, e designando por δ , como já o fizemos, á dilatação absoluta do mercurio, o valor d'aquella pressão é

$$\frac{A'}{1 + \delta_T} - \frac{a'}{1 + \delta_t}$$

Do mesmo modo a pressão em F é representada por

$$\frac{A}{1 + \delta_T} - \frac{a}{1 + \delta_t}$$

e como as duas pressões são iguaes, porque equilibram com a do ar contido no balão, tem-se

$$\frac{A'}{1 + \delta_T} - \frac{a'}{1 + \delta_t} = \frac{A}{1 + \delta_T} - \frac{a}{1 + \delta_t}$$

d'onde se tira

$$1 + \delta_T = (1 + \delta_t) \frac{A'}{A + a' - a}$$

A dilatação δ_t , não era conhecida, porém como t era uma temperatura pouco elevada e que o termo $(1 + \delta_t)$ era mui proximo da unidade, o btinha-se δ_T por meio de aproximações successivas ou tomava-se para δ_t , o valor dado pelas experiencias de Petit e Dulong.

Depois das experiencias, feitas segundo o modo que indicámos, com o apparelho tal como o descrevemos mui succintamente, mr. Regnault substituiu os tubos inferiores por um tubo unico, e interrompeu na parte media o tubo superior, ligando a cada uma das partes separadas por esta interrupção um tubo vertical de vidro aberto superiormente, analogo áquelles que precedentemente estavam collocados na parte inferior do apparelho. O processo n'este caso approximava-se muito do seguido por Petit e Dulong.

Mr. Regnault executou quatro series de experiencias, empregando um ou outro dos methodos indicados, e para melhor comprehender a marcha do phenomeno, e conhecer a lei de progressão seguida pelos valores da dilatação, representou-as por ordenadas de uma curva, tomando para abscissas as temperaturas correspondentes. A construcção foi feita com extremo rigor n'uma lamina de cobre, na qual traçou um quadrado. Cada lado d'este era dividido em 100 partes iguaes por meio de uma machina de dividir, e a area total em 10000 pequenos quadrados por meio de rectas que passavam pelos pontos de divisão. As divisões do lado horisontal representavam os graus de temperatura, e as do lado vertical millesimas das dilatações. A curva construida tem a sua convexidade voltada para o eixo das abscisas, o que mostra que a dilatação augmenta com a temperatura. D'aqui se conclue que o coefficiente de dilatação não é um numero constante, e que pelo contrario augmenta progressivamente com a temperatura.

Em seguida damos alguns resultados obtidos por mr. Regnault:

Temperatura do thermometro de ar	Dilatação de 0° a t° δ_t	Coefficiente medio de dilatação de 0° a t	Coefficiente real de dilatação entre t° e $(t+1^\circ)$	Temperatura deduzida da dilatação do mercurio
0°	0,000000	0,00000000	0,00017905	0°
50°	0,009014	0,00018027	0,00018152	49°,650
100°	0,018153	0,00018153	0,00018305	100°
150°	0,027419	0,00018279	0,00018657	151°,044
200°	0,036811	0,00018405	0,00018909	202°,782
250°	0,046328	0,00018531	0,00019161	255°,214
300°	0,055973	0,00018658	0,00019413	308°,340
350°	0,065743	0,00018784	0,00019666	362°,160

Em geral chama-se coefficiente real de dilatação a t° , a dilatação experimentada pelo corpo quando a sua temperatura se torna $t^{\circ} + \lambda$, sendo λ uma quantidade infinitamente pequena. No quadro anterior λ tem um valor finito igual a 1° .

407. *Dilatação aparente do mercurio; termometro de peso.* — O aparelho empregado para determinar a dilatação aparente do mercurio, é constituido por um vaso ou reservatorio cylindrico de vidro (fig. 249) soldado a um tubo capillar duplamente recurvado e aberto na sua extremidade.



(Fig. 249)

O vaso depois de cheio com mercurio, que se expurga, pela ebullicão, do ar e da humidade, immerge-se em fragmentos de géllo, tendo o cuidado de manter sempre mergulhado o extremo do tubo em mercurio puro e secco. Tendo pesado o vaso vasio, e pesando-o de novo quando está completamente cheio de mercurio na temperatura zero, a differença entre o ultimo e o primeiro peso designa o peso P do mercurio que o enche a zero. Expondo depois o vaso a uma temperatura t , sáe pelo extremo aberto uma porção de mercurio que se recolhe n'uma capsula, e do qual se determina o peso p ; o peso do mercurio restante no aparelho, e que o enche na temperatura t é pois $P - p$. Representando pois v e v' os volumes de mercurio a zero correspondentes aos pesos p e $P - p$, tem-se (148)

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

mas v representa precisamente o augmento apparente experimentado pelo volume do mercurio, cujo peso é $P - p$, e por conseguinte a relação $\frac{v}{v'}$ exprime a dilatação apparente Δ_t , por unidade de volume do mercurio de peso $P - p$ por passar de zero á temperatura t . Ter-se-ha pois:

$$\Delta_t = \frac{p}{P-p}$$

Da dilatação Δ_t , entre zero e a temperatura t póde deduzirse o coefficiente medio de dilatação apparente do mercurio,

dividindo essa dilatação pelo numero de graus comprehendidos entre 0 e t . Petit e Dulong, empregando o processo que acabámos de indicar, acharam que o coefficiente medio entre 0 e 100° da dilatação apparente do mercurio n'um vaso de vidro ordinario, era expresso por $\frac{1}{6480}$. O valor do coefficiente medio cresce com a temperatura.

O apparelho (fig. 249) denomina-se thermometro de peso, porque effectivamente pôde servir para determinar a temperatura a que está sujeito, quando se conhece o peso do mercurio que o enchia a zero e o do que então é expulso do apparelho. Com effeito substituindo $\frac{\Delta t}{t}$ pelo valor determinado por Petit e Dulong, a formula anterior dá

$$t = \frac{6480 p}{P-p}.$$

O estudo da dilatação apparente de mercurio é de grande importancia, não só porque simplifica consideravelmente a determinação da dilatação absoluta dos outros liquidos, mas porque fornece um methodo geral para determinar reciprocamente a dilatação cubica dos solidos.

408. *Dilatação cubica do vidro.* — O thermometro de peso pôde servir para determinar a dilatação cubica do vidro de que é constituido. Ora a equação (4) do numero anterior, juntando-lhe a unidade e ambos os membros dá,

$$\frac{v + v'}{v'} = \frac{P}{P-p} = 1 + \Delta_t$$

e designando por v o volume commum na temperatura zero da capacidade do apparelho e do mercurio que o enche, é claro que $v + v'$ representará precisamente o volume dilatado do mercurio ou $v (1 + \delta_t)$ e v' o volume dilatado da capacidade do vaso de vidro ou $v (1 + k_t)$, designando respectivamente por δ_t e k_t a dilatação absoluta do mercurio e a do vidro; ter-se-ha pois

$$\frac{1 + \delta_t}{1 + k_t} = 1 + \Delta_t$$

e como as dilatações δ_t e Δ_t são conhecidas, poder-se-ha determinar a dilatação cubica do vidro k para qualquer temperatura t . A relação anterior póde escrever-se d'este modo

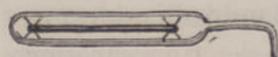
$$1 + \delta_t = (1 + k_t) (1 + \Delta_t)$$

ou desprezando o termo $k_t \times \Delta_t$, por ser muito pequeno

$$k_t = \delta_t - \Delta_t$$

o que se exprime dizendo que a dilatação do vidro é a differença entre as dilatações absoluta e apparente do mercurio.

409. *Dilatação cubica dos solidos.* — Petit e Dulong quizeram applicar o processo anterior para determinar a dilatação cubica de alguns solidos, construindo com estes, thermometros de peso, porém abandonaram este methodo por um mais simples, baseado no conhecimento da dilatação absoluta do mercurio e da dilatação cubica do vidro. Encerravam um prisma alongado do solido de que se pretendia determinar a



(Fig. 250)

dilatação dentro de um tubo de vidro (fig. 250), e construiam depois com este tubo um thermometro de peso. A

maneira de operar era analogo á que indicámos para este aparelho. Se p e d representam o peso e a densidade do prisma a zero, p' o peso de mercurio contido no aparelho na mesma temperatura, e p'' o peso do que sáe na temperatura t , a dilatação x_t da substancia de que é constituido o prisma zero dado pela seguinte equação, em que D representa a densidade do mercurio a zero δ_t e k_t as dilatações do mercurio e do vidro,

$$\frac{p}{d} (1 + x_t) + \frac{p'}{D} (1 + \delta_t) - \left(\frac{p}{d} + \frac{p'}{D} \right) (1 + k_t) = \frac{p''}{D} (1 + \delta_t).$$

Petit e Dulong determinaram assim a dilatação do ferro, da platina e do cobre. Como esta substancia é atacada pelo mercurio, oxydavam-lhe levemente a superficie ou revestiam-na com uma pequena camada de verniz.

Em seguida damos os valores dos coefficients medios de

dilatação cubica, determinados por Petit e Dulong para as diversas temperaturas dadas pelo thermometro de ar.

	Entre 0° e 100°	Entre 0° e 200°	Entre 0° e 300°
Vidro.....	0,000008631	0,000009225	0,000010108
Platina.....	0,000008842	»	0,000009183
Ferro.....	0,000011821	»	0,000014684
Cobre.....	0,000017182	»	0,000048832

410. *Dilatação absoluta de diversos liquidos.*—A dilatação apparente dos diversos liquidos póde determinar-se, como a do mercurio, pelo processo do thermometro de peso. E a dilatação absoluta póde facilmente deduzir-se d'esta, quando é previamente conhecida a dilatação cubica do vidro que constitue aquelle aparelho. Todavia se o emprego do thermometro de peso é facil e seguro quando se opera com o mercurio, não satisfaz perfeitamente quando se trata dos outros liquidos. Como estes têm menor densidade que o mercurio, e são mais ou menos volateis, os pesos P e p são muito pequenos e, pela evaporação, perde-se sempre uma parte do liquido expulso do aparelho na temperatura t . É por estas razões que se prefere o thermometro ordinario de haste para determinar a dilatação absoluta dos diversos liquidos.

O aparelho empregado é constituido por um tubo thermometrico ordinario, cujo reservatorio é do mesmo vidro que a haste, sendo esta dividida em partes de igual capacidade. Depois de conhecida a relação que existe entre a capacidade do reservatorio e a de uma divisão (489), determina-se a dilatação do vidro de que o instrumento é formado, o que se executa pelo seguinte modo. Deixa-se dentro do aparelho uma certa porção de mercurio que serviu para a operação anterior, e supponha-se que na temperatura zero esse mercurio attinge uma certa altura na haste e occupa n divisões. Aquecendo o aparelho até a temperatura t o nivel do mercurio subirá na haste e occupará n' divisões e o seu volume real será $n'(1 + k_t)$, tomando por unidade a capacidade de

uma divisão. Mas como por outro lado se conhece a dilatação absoluta δ_t , do mercurio será

$$n' (1 + k_t) = n (1 + \delta_t).$$

Esta formula dará o valor de k_t para qualquer temperatura t .

Depois d'isto substitue-se o mercurio pelo liquido de que se pretende conhecer a dilatação x_t , e opera-se com elle do mesmo modo que com o mercurio, sendo portanto a dilatação x_t dada pela formula

$$n' (1 + k_t) = n (1 + x_t).$$

Este methodo, empregado por Deluc e Biot, foi posteriormente aperfeiçoado por mr. Pierre ao qual se devem importantes trabalhos sobre a dilatação dos liquidos.

A experiencia demonstra que a dilatação dos liquidos, o mercurio inclusivè (406), está, como a dos solidos, longe de ser uniforme, e que portanto se não pôde designar por um numero constante o coefficiente de dilatação de um liquido. A dilatação δ_t pôde, porém, exprimir-se por uma formula

$$\delta_t = a t + b t' + c t',$$

em que os coefficientes a , b e c , são dados para cada liquido por tres observações.

No seguinte quadro damos alguns dos resultados obtidos por mr. Pierre sobre a dilatação de diversos liquidos.

Nomes das substancias	Coefficientes		
	a	b	c
Bromio	0,001038186235	0,000001741380853	0,00000005447118
Acido sulfurozo	0,001496377527	0,000022337479463	0,000000495759153
Alcool	0,001048630106	0,000001750960620	0,00000001345183
Ether	0,001543244795	0,000002359182884	0,000000040051240
Sulfureto de carbonio	0,001439803833	0,000004370654328	0,000000019122540
Chloroformio	0,001107145896	0,000004664734417	0,000000017432753

411. *Correcção da altura barometrica.* — Dissemos (252) que para ter a altura verdadeira da columna barometrica era necessario corrigil-a dos effeitos da dilatação sobre o mercurio e sobre a escala. A altura a da columna barometrica a 0° obtem-se dividindo a altura a' , observada na temperatura t

pelo binomio $1 + \delta_t$ ou $1 - \delta_t$, segundo esta temperatura é positiva ou negativa, e multiplicando-a pelo binomio $1 + k_t$ ou $1 - k_t$, designando por δ_t a dilatação ou a contracção absoluta do mercurio, e por k_t a dilatação ou a contracção linear ad escala desde 0 até a temperatura t .

Com effeito supponhâmos em primeiro logar a temperatura da observação superior a 0° , e consideremos separadamente os effeitos da dilatação sobre o mercurio e sobre a escala, o que na formula do numero 252 designâmos por d e d' .

Suppondo pois a altura barometrica a' já correcta dos effeitos da capillaridade, e abstrahindo por um momento do effeito da dilatação sobre a materia da escala será

$$a = a' - d$$

a altura a 0° da columna barometrica, e ter-se-ha pois representando por D_0 e D_t as densidades do mercurio a 0° e a t°

$$\frac{a'}{a' - d} = \frac{D_0}{D_t}$$

ou

$$\frac{d}{a'} = \frac{D_0 - D_t}{D_0}$$

d'onde

$$d = a' \times \frac{D_0 - D_t}{D_0}$$

e como é

$$\frac{D_t}{D_0} = \frac{1}{1 + \delta_t} \quad (405)$$

será

$$d = \frac{a' \delta_t}{1 + \delta_t} \dots \dots \dots (1)$$

e consequentemente

$$a = \frac{a'}{1 + \delta_t} \dots \dots \dots (2)$$

tal seria a altura barometrica correcta, suppondo nullos os effeitos da dilatação sobre a escala de 0° a t_0 . Como isto, porém, não succede assim, e como os effeitos da dilatação sobre a escala se devem addicionar á altura achada (2) será

$$a = \frac{a'}{1 + \delta_t} + d'$$

Ora como cada divisão de escala por passar de o a t° augmenta de k_t será

$$d' = \frac{a' \cdot k_t}{1 + \delta_t} \dots \dots \dots (3)$$

e portanto

$$a = \frac{a'}{1 + \delta_t} + \frac{a' k t}{1 + \delta_t} = \frac{a' (1 + k_t)}{1 + \delta_t}.$$

É esta pois a altura verdadeira da columna barometrica quando a temperatura t é inferior a 0° .

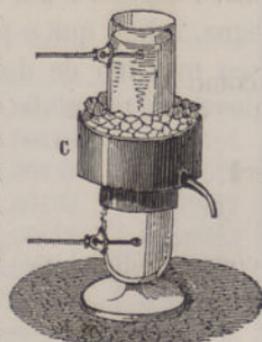
No caso da temperatura ser inferior a 0° os valores de d e d' serão respectivamente:

$$d = \frac{a' \delta_t}{1 - \delta_t} \text{ e } d' = \frac{a' k_t}{1 - k_t}$$

e teremos pois

$$a = a' + \frac{a' \delta_t}{1 - \delta_t} - \frac{a' k_t}{1 - \delta_t} = \frac{a' (1 - k_t)}{1 - \delta_t}.$$

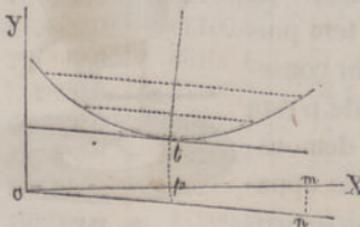
412. *Dilatação da agua; maximo de densidade d'este liquido.*—O estudo da dilatação da agua é muito importante, não só pelo emprego continuo que se faz d'este liquido, mas tambem porque a agua, sob a acção do calor, não se comporta como os mais liquidos. O seu volume diminue desde a temperatura zero até 4° , e é só d'esta temperatura em diante que segue as leis ordinarias da dilatação dos liquidos. A agua tem pois o volume minimo a 4° , e está por conseguinte no maximo de densidade n'esta temperatura. Esta propriedade demonstra-se experimentalmente com o apparelho (fig. 251) devido ao physico escocoz Hope, apparelho que é constituido por um vaso de vidro cercado na parte media por uma capacidade annular c de metal, e tendo superior e inferiormente dois orificios, nos quaes estão fixos dois thermometros. Se o vaso contém agua a 0° , lançando agua quente na capacidade c , nota-se que o thermometro inferior marca 4° emquanto o outro marca



(fig. 251)

ainda 0° . E se a agua contida no vaso tem a temperatura de 10° a 12° , e lançando na capacidade c gêlo ou uma mistura frigorifica, nota-se que o thermometro inferior desce rapidamente até 4° , enquanto o superior se conserva estacionario, baixando depois este até zero, ao passo que o outro se conserva a 4° . Estas experiencias mostram que a densidade da agua, augmentando successivamente quando este liquido se resfria até 4° , diminue depois quando o resfriamento progride alem d'esta temperatura. Tem-se tambem provado que, quando a agua se conserva liquida abaixo da temperatura zero, a sua dilatação continua á medida que o resfriamento progride.

Para determinar precisamente a temperatura em que se verifica o maximo de densidade da agua, Hällström, baseando-se no principio de Archimedes (199), pesou successivamente em agua, mantida a temperaturas diversas, uma esphera de vidro lastrada com areia, e attendendo á dilatação do vidro, achou que era a $4^{\circ},1$, que a esphera perdia uma maior parte do seu peso, e que era portanto esta a temperatura correspondente ao maximo de densidade da agua. Porém mr. Despretz n'um trabalho importante sobre a dilatação da agua, achou que é precisamente a 4° que este liquido tem o seu maximo de densidade. Mr. Despretz empregou tubos thermometricos de vidro, cujo coefficiente de dilatação era



(Fig. 252)

previamente determinado, e os quaes enchia de agua, introduzindo-os depois n'um banho que se resfriava gradualmente, sendo a temperatura d'este indicada pôr thermometros de mercurio rigorosamente construidos e de que se verificava

o zero em cada experiencia. Os resultados eram representados graphicamente por uma curva (fig. 252), tomando para abscisas as temperaturas e por ordenadas linhas proporcionaes ás dilatações apparentes da agua, dadas pelo numero de divisões dos tubos que a continham. Esta curva differe muito

pouco de uma parabola até certa distancia do maximo de densidade. Calculando a dilatação do tubo para uma certa temperatura t° , e tomando para a parte inferior do eixo ox a ordenada mn correspondente a essa temperatura, a linha on representa a dilatação regular do vidro entre 0° e t° , e a dilatação absoluta da agua será dada pelas ordenadas contadas a partir d'esta linha. Traçando a tangente á curva parallelamente a on , a abscisa op do ponto de tangencia t indica a temperatura para a qual a agua tem o minimo volume. Para obter precisamente o ponto t , basta traçar duas cordas parallelas a on , porque a linha que passa pelos meios d'estas cordas corta a curva no ponto procurado. Mr. Despretz empregou ainda outro processo, cujo principio era analogo ao do que Hope se servira para demonstrar a existencia do maximo de densidade. Mr. Despretz construiu uma tabella que dá os volumes e as densidades da agua de grau em grau desde -9° até 100° , tomando como unidades respectivas o volume e a densidade da agua a 4° . Em seguida damos uma parte d'essa tabella.

Temperaturas	Volumes	Densidades	Temperaturas	Volumes	Densidades
0°	1,0001269	0,999873	46°	1,0010215	0,998979
1	1,0000730	0,999927	47	1,0012067	0,998794
2	1,0000331	0,999966	48	1,00139	0,998612
3	1,0000083	0,999999	49	1,00158	0,998422
4	1	1	20	1,00179	0,998213
5	1,0000083	0,999999	21	1,00200	0,998004
6	1,0000309	0,999969	22	1,00222	0,997784
7	1,0000708	0,999929	23	1,00244	0,997566
8	1,0001216	0,999878	24	1,00271	0,997297
9	1,0001879	0,999812	25	1,00293	0,997078
10	1,0002684	0,999731	26	1,00321	0,996800
11	1,0003598	0,999640	27	1,00345	0,996562
12	1,0004724	0,999527	28	1,00374	0,996274
13	1,0005862	0,999414	29	1,00403	0,995986
14	1,0007146	0,999285	30	1,00433	0,995688
15	1,0008751	0,999125	100	1,04315	0,958635

A agua quando contém sães em dissolução, tambem tem um maximo de densidade como a agua pura; mas a temperatura que lhe corresponde é sempre inferior a 4° , variando com a natureza e proporção do sal. Alem d'isso acha-se que o abaixamento da temperatura do maximo de densidade das dissoluções aquosas a partir de 4° , e o abaixamento do ponto de congelação são sensivelmente proporcionaes á quantidade da substancia dissolvida.

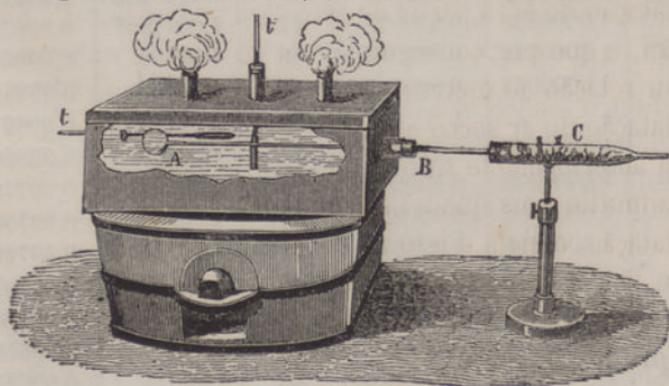
O maximo de densidade de agua do mar verifica-se a $-3^{\circ},67$.

SECÇÃO 3.^a

Dilatação dos gases

413. *Experiencia de leis de Gay Lussac.* — Os gases são de todos os corpos os mais dilataveis, e ao mesmo tempo aquelles cuja dilatação apresenta maior regularidade.

Os primeiros trabalhos importantes sobre a dilatação dos gases devem-se a Gay Lussac. Depois de ter operado sobre diferentes gases humidos e achado o numero 0,375 para valor de sua dilatação entre 0° e 100° , Gay Lussac fez algumas experiencias sobre o ar deseccado. O aparelho, que este sabio empregou para esse fim, era essencialmente constituido por um vaso *AB* (fig. 253) composto de um reser-



(fig. 253)

vatorio esferico e de uma haste perfeitamente calibrada e dividida em partes de igual capacidade.

Depois de determinada a relação entre a capacidade de uma divisão e a do reservatório, o aparelho era cheio de mercurio que se purgava de ar e da humidade pela ebullicão, e adaptava-se ao extremo da haste um tubo *c* cheio de chlorureto de calcio, corpo mui avido da humidade.

Em seguida collocava-se o aparelho verticalmente com o reservatório para a parte superior e fazia-se sair o mercurio gota a gota, introduzindo na haste através do tubo *c* um fio de platina que se agitava. O mercurio era substituido pelo ar que, por ter atravessado o tubo *c*, se considerava perfeitamente secco. No fim d'esta operação deixava-se na haste uma pequena gota de mercurio, que separava o ar contido no aparelho do ar exterior e servia ao mesmo tempo de indice.

Assim preparado, introduzia-se horisontalmente o aparelho em uma caixa de folha, collocada sobre uma fornalha. Enchia-se a caixa primeiramente com gèlo e depois com agua ou azeite que se aquecia, sendo a temperatura, que se tornava quanto possivel uniforme por meio de agitadores, indicada pelos thermometros *t* e *t*. Notando as posições do indice a zero e em diferentes temperaturas, determinavam-se os volumes apparentes do ar que lhes correspondiam. Fez-se uma serie de medidas, tendo o cuidado de deixar resfriar a caixa, e, depois de correctos os resultados dos effeitos da dilatação do vidro e das differenças de pressão, Gay Lussac achou que a dilatação do ar, a partir de zero, era proporcional á temperatura, e que por conseguinte o ar se dilatava uniformemente em relação ao mercurio, e finalmente que entre 0° e 100° a dilatação do ar secco era expressa pelo numero 0,375, que tinha anteriormente sido obtido para o ar humido. Gay Lussac admittiu pois que a humidade não tinha influencia sobre a dilatação, e alem d'isso que as suas primeiras experiencias eram tão exactas para o ar como para os outros gazes. Por outro lado Davy tinha feito algumas experiencias sobre o ar comprimido e sobre o ar rarefeito, e indicára que entre os mesmos limites de temperatura, a dilatação era independente da pressão. Gay Lussac, resumindo os resultados das suas experiencias e das de Davy, estabeleceu as tres seguintes leis:

- 1.^a Todos os gases se dilatam igualmente;
- 2.^a A dilatação dos gases é independente da pressão;
- 3.^a A dilatação commum de todos os gases entre 0° e 100° é expressa pelo numero 0,375.

Chamando coefficiente de dilatação de um gaz a dilatação experimentada pela unidade de volume d'esse gaz quando a sua temperatura se eleva de um grau, a ultima lei de Gay Lussac, por ser a dilatação uniforme, pôde exprimir-se dizendo que o coefficiente de dilatação de todos os gases entre 0° e 100° é expresso pelo numero 0,00375.

As leis de Gay Lussac foram, assim como a de Mariotte, admittidas por muito tempo na sciencia como absolutamente verdadeiras, o que fez crer que todos os gases possuiam propriedades physicas identicas. Porém depois de 1837 Rudberg na Suecia e mais tarde Regnault em França e Magnus na Allemanha provaram por meio de processos mais precisos que os differentes gases não têm o mesmo coefficiente de dilatação, que a humidade tem sobre esta uma influencia notavel, e que aquelle coefficiente augmenta, para cada gaz, com a pressão.

414. *Formulas da dilatação dos gases.*—Como o volume de uma massa gazosa varia, não só com a temperatura, mas tambem com a pressão, assim no estabelecimento das formulas de dilatação dos gases é necessario considerar igualmente tanto uma como outra. Designando por v e v' os volumes do mesmo peso de gaz nas temperaturas t e t' e sob as pressões A e A' , e por α o coefficiente medio de dilatação d'esse gaz, $\frac{v}{1+\alpha t}$ e $\frac{v'}{1+\alpha t'}$, representarão respectivamente os volumes na temperatura zero, sob as pressões A e A' e em virtude da lei de Mariotte, ter-se-ha

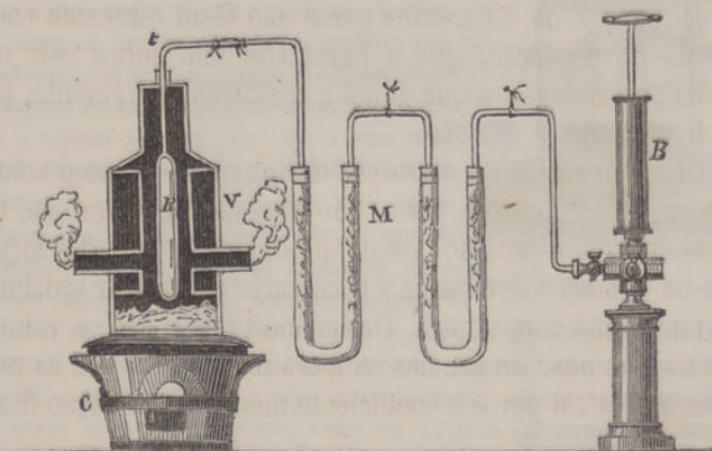
$$\frac{vA}{1+\alpha t} = \frac{v'A'}{1+\alpha t'} \dots\dots\dots (1)$$

Esta equação mostra que o volume de um gaz n'uma temperatura qualquer t , dividido pelo binomio de dilatação $(1 + \alpha t)$ e multiplicado pela pressão A , é uma quantidade constante.

Deve porém notar-se que para estabelecer esta formula se admite como verdadeira a lei de Mariotte, o que só é sensivelmente exacto para pequenas diferenças de pressão e para gases pouco compressiveis, e que α designa o coefficiente medio de dilatação entre 0 e t e entre 0 e t' graus. Este numero varia com a natureza dos gases, com a pressão e com a temperatura.

415 *Experiencias de mr. Regnault.*—Mr. Regnault, empregando diversos modos de experimentação e evitando quanto possivel todas as causas de erro, determinou o coefficiente de dilatação do ar e de outros gases. Descreveremos succintamente os methodos empregados por este sabio experimentador.

1.º O primeiro methodo, que tinha sido inventado por Dulong e empregado com algumas modificações por mr. Rudberg, foi ainda aperfeiçoado por mr. Regnault. O apparatus que se emprega é um vaso de vidro com a fórma de um thermometro de peso, isto é, constituido por um reservatorio cylindrico de vidro *R* (fig. 254); terminado por

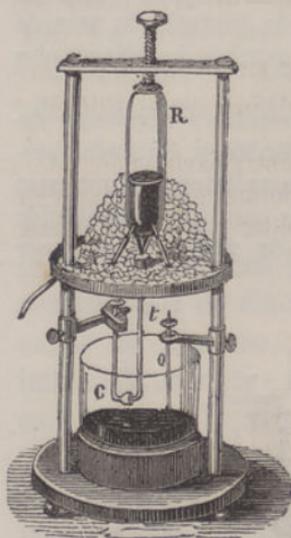


(Fig. 254)

um tubo capillar recurvado *t*. Para o encher de ar perfeitamente secco, colloca-se o reservatorio no interior de um vaso de folha *V* analogo ao que serve para a determinação do ponto 100 no thermometro centigrado, e liga-se o tubo *t* a uma serie *M* de tubos em *U*, cheios de fragmentos de pedra pomes calcinada, embebidos de acido sulfurico concentrado, communicando a seu turno estes tubos com uma bomba pneumática *B*. Quando a agua entra em ebullição no vaso *V*, faz-se o vacuo dentro do apparatus, e deixa-se em seguida penetrar de novo e lentamente o ar no mesmo. Repetindo vinte a trinta vezes

estas operações, de cada vez que se faz o vacuo se extrahê o ar humido para deixar entrar o ar deseccado pelo acido sulfurico; e, como a humidade adherente se tem transformado em vapor, consegue-se assim encher o aparelho de ar completamente secco. Separa-se então o reservatorio do aparelho deseccador, e fecha-se ao maçarico a extremidade do tubo capillar. O reservatorio *R* fica por conseguinte cheio de ar secco na temperatura da ebullicão da agua, e sob uma pressão conhecida *A*.

Depois de resfriado colloca-se verticalmente o reservatorio no aparelho representado na figura 255, ficando o extremo do tubo ca-



(Fig. 255)

pillar *t* mergulhado inferiormente em uma tina cheia de mercúrio, e em seguida quebra-se a ponta do tubo. Pela condensação do ar interior, o mercúrio sobe no tubo *t* até o reservatorio pelo effeito da pressão atmospherica. O reservatorio é depois circumdado de gelo, e, depois de algum tempo, o ar tendo adquirido a temperatura zero, move-se uma colhêr *C*, que está mergulhada na tina, a fim de tapar com a cera que contém o extremo aberto do tubo¹. O reservatorio *R* contém a mesma quantidade de ar que anteriormente, mas na temperatura zero e sob uma pressão menor e occupando tambem um menor volume. Para medir esta pressão o aparelho é munido de um parafuso vertical *O* de duas pontas e de grandeza previamente determinada.

Fazendo com que a ponta inferior rase o nivel do mercúrio na capsula, e determinando por meio do cathetometro a distancia vertical entre a ponta superior e o nivel do mercúrio no reservatorio, obtem-se com todo e rigor a altura *a* da columna de mercúrio, contida no reservatorio e acima do nivel do mesmo liquido na capsula. Se *A'* é no momento da experiencia a altura barometrica, *A' - a* designa a pressão do ar a zero. A fim de determinar o volume d'este ar, afasta-se a colhêr com precaução e como uma porção de cera tem penetrado no extremo do tubo *o* que o mantém fechado, pôde facilmente tirar-se o reservatorio do aparelho que o sustentava. Pesando depois o reservatorio e designando por *p* o peso do mercúrio que contém, se *P* representa o peso d'este liquido que o enchia completamente a zero e *D* a densidade do

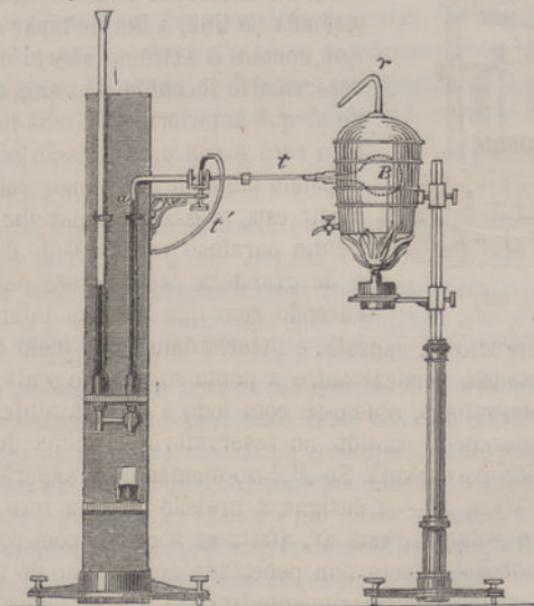
¹ Na figura a colhêr e o extremo do tubo *t*, estão representados a descoberto, a fim de se perceber melhor a sua disposição.

mercurio n'esta temperatura, $\frac{P-p}{D}$ designa o volume que o ar occupa a zero sob a pressão $A' - a$. Sendo k o coefficiente medio de dilatação do vidro de que é constituído o reservatorio, α o coefficiente de dilatação do ar, T a temperatura da ebulição da agua na primeira phase da experiencia, em que a pressão era A , o volume do ar n'essa temperatura seria $\frac{P(1+kT)}{D(1+\alpha T)}$. Tem-se pois para determinar α a seguinte relação

$$\frac{P(1+kT)}{D(1+\alpha T)} A = \frac{P-p}{D} (A' - a) \dots\dots\dots (2)$$

A media de quatorze experiencias, feitas por mr. Regnault, pelo methodo descripto, deu para coefficiente de dilatação do ar entre 0° e 100° o numero 0,0036623.

2.º No segundo methodo, que tambem Rudberg havia empregado, o gaz é introduzido com as precauções anteriormente indicadas n'um balão B (fig. 256) munido de um tubo capillar t , e communicando



(Fig. 256)

com um aparelho manometrico. O balão existe no interior de uma caldeira de latão a qual se enche de agua, cuja temperatura se faz elevar por meio de uma lampada de alcool collocada inferiormente. O balão pôde tambem communicar pelo tubo t' com um aparelho dessecador, identico ao que se empregou no outro methodo, e por

meio do qual se enche o balão de ar secco, tendo cuidado de fazer ferver ao mesmo tempo a agua contida na caldeira. O aparelho manometrico, depois de perfeitamente secco, enche-se de mercurio secco e ainda quente. Em seguida faz-se sair mercurio pela torneira inferior até que o nivel que é o mesmo nos dois ramos, desça até o ponto de reparo a . Separa-se então o aparelho deseccador e nota-se a altura A do barometro. Deixa-se em seguida resfriar o balão, substituindo a agua quente na caldeira por fragmentos de géló e ao mesmo tempo faz-se sair do manometro nova porção de mercurio para que o nivel no ramo menor se conserve em a .

Quando o balão está na temperatura zero, mede-se por meio do cathetometro a differença a entre as alturas das columnas de mercurio nos dois ramos do manometro, e toma-se ao mesmo tempo nota da altura A' do barometro.

O ar contido no aparelho nas duas phases de experiencia compõe-se de duas partes, uma que enche o balão e outra que enche a parte do aparelho comprehendida entre a parede da caldeira e o ponto a do ramo menor do manometro. Se V designa a capacidade do balão a zero e v o volume do espaço restante occupado pelo ar, espaço que por ser extremamente pequeno em relação á capacidade do balão, se pôde considerar como constante e como tendo a temperatura t ou t' da atmospheria, segundo a phase de experiencia, a fórmula (1) do numero 414 será, no caso presente, conservando as notações precedentes

$$\left(\frac{V(1+kT)}{1+\alpha T} + \frac{v}{1+\alpha t} \right) A = \left(V + \frac{v}{1+\alpha t'} \right) (A' - a) \quad (3)$$

Para obter o valor de α por meio d'esta formula deve notar-se que as quantidades $\frac{v}{1+\alpha t}$ e $\frac{v}{1+\alpha t'}$ são muito pequenas e apenas figuram como termos de correcção; os seus valores podem ser calculados substituindo por α o valor obtido nas outras experiencias e dando por consequente a equação anterior o valor de $1+\alpha T$ e o de α . Faz-se de novo o calculo, substituindo nos termos de correcção este valor de α , e deduz-se assim um segundo valor de $1+\alpha T$. Continuam-se os calculos por esta fórmula até que dois valores obtidos successivamente sejam identicos. O methodo que se acaba de indicar para obter o valor de α por meio da equação anterior denomina-se de *approximações successivas*.

Mr. Regnault achou assim por esta nova serie de experiencias o numero 0,0036645 para coefferente medio de dilatação entre 0 e 100°.

3.º Por meio do methodo de que acabámos de dar uma resumida idéa estudára mr. Regnault a dilatação do ar sob volume constante e pressão variavel baseando-se portanto os calculos na lei de Mariotte con-

siderada como exacta. mr. Regnault empregou ainda um outro modo de experimentação em que o volume de ar era variavel e a pressão sensivelmente constante. O aparelho é analogo ao empregado no methodo anterior. O nivel de mercurio attinge um certo ponto de reparo no ramo manometrico que communica com o balão quando este está a zero. Quando se aquece depois o ar contido no balão, fazendo ferver a agua da caldeira, deixa-se descer livremente o nivel de mercurio abaixo d'aquelle ponto de reparo. As differenças entre os niveis de mercurio nos dois ramos conservam-se porém sensivelmente constantes nas duas phases da experiencia, fazendo na segunda saír o mercurio do ramo maior do manometro por meio de uma torneira de tres vias que o manometro possui.

Se o nivel do mercurio é o mesmo em ambos os ramos nas duas phases da experiencia, o ar conservar-se-ha sob a pressão atmospherica que é sensivelmente constante, e o seu volume augmentará na segunda phase de todo o espaço abandonado pelo mercurio, espaço que poderá ser facilmente avaliado se o aparelho tem sido previamente graduado. Assim se A e A' designam as alturas barometricas correspondentes ás duas phases da experiencia, a formula (1) do n.º 414 dá, conservando as notações precedentes :

$$\left(V + \frac{v}{1 + \alpha t} \right) A = \left(\frac{V(1 + k T)}{1 + \alpha T} + \frac{v'}{1 + \alpha t'} \right) A'.$$

O aparelho manometrico está no interior de uma caixa de folha cheia de agua e cuja face anterior é fechada por um vidro; a temperatura da água que se torna uniforme por meio de um agitador, é dada por um thermometro. mr. Regnault achou por este methodo o numero 0,0036706 para representar o coefficiente medio de dilatação do ar entre 0 e 100°. Comparando este resultado com o das outras experiencias conclue-se que a dilatação experimentada por um volume de gaz que augmenta livremente quando a pressão não varia é superior á dilatação para volume constante e pressão variavel. O desacordo entre os numeros obtidos pelos dois methodos oppostos provém de se ter considerado como exacta a lei de Mariotte, o que, como se sabe, não é rigoroso.

416. *Dilatação dos differentes gazes; resultados geraes das experiencias de mr. Regnault.* — Mr. Regnault, operando sobre diversos gazes purificados, pelos dois methodos que acabam de ser indicados, determinou as suas dilatações entre 0° e 100°, sob volume constante e sob pressão constante. D'aquellas dilatações passa-se facilmente para os coefficientes medios de dilatação, dividindo por cem os numeros que as designam.

Mr. Regnault fez ainda outras experiencias sobre a dilatação dos gazes submettidos a diversas pressões, empregando os dois methodos

indicados. N'estas experiencias os gazes eram introduzidos no balão ou reservatorio sob pressões maiores ou menores do que a da atmosphera e os ramos dos manometros tinham grandezas variaveis segundo as pressões.

No seguinte quadro estão indicados os resultados mais importantes obtidos por mr. Regnault.

Gazes	Dilatação entre 0° e 400°		Dilatação sob fortes pressões	
	Sobre pressão constante de 760 ^{mm}	Sobre volume constante	Dilatação entre 0° e 400° sob pressão constante	Pressão em millimetros
Hydrogenio.	0,3661	0,3667	0,36616	2545
Azote		0,3668	—	—
Oxydo de carbonio	0,3669	0,3667	—	—
Ar	0,3670	0,3665	0,36964	2620
Acido carbonico..	0,3710	0,3688	0,38455	2520
Protoxydo de azote	0,3719	0,3676	—	—
Cyanogenio.	0,3877	0,3829	—	—
Acido sulfuroso ..	0,3903	0,3845	0,39800	980

Dos resultados das experiencias precedentes, pôde concluir-se que os coefficients de dilatação dos gazes impermanentes differem bastante uns dos outros, e que os dos gazes permanentes são sensivelmente iguaes sob a pressão normal, e que os coefficients de dilatação dos gazes, excepto o hydrogenio, augmentam com a pressão, e tanto mais quanto mais esses gazes se afastam da lei de Mariotte. Pôde pois deduzir-se d'aqui que os coefficients de dilatação dos gazes differem tantò menos entre si quanto menores são as pressões a que estão submettidos.

Para os gazes que seguem sensivelmente a lei de Mariotte, pôde-se considerar pois como verdadeira, sob a pressão normal, a primeira lei de Gay Lussac, parecendo que se os gazes seguissem na sua compressibilidade aquella lei, teriam todos igual dilatação, que seria pouco differente da do hydrogenio, e independente da pressão. Porém, como em geral os gazes se comprimem mais rapidamente que o indicado pela lei de Mariotte, e a compressibilidade dos gazes varia

com a sua natureza e diminue com o augmento de temperatura, assim a sua dilatação é desigual, cresce com a pressão, sendo tambem tanto maior quanto mais compressiveis elles são. D'aqui resulta que é necessario distinguir nos gazes os dois coëfficientes de dilatação, um sob volume constante e outro sobre pressão constante. Todavia, como a differença entre as dilatações dos differentes gazes não são mui sensiveis, poder-se-ha na pratica admittir como verdadeira a lei de Mariotte, continuando a empregar a formula geral (1) da dilatação dos gazes, substituindo n'ella por α o valor correspondente a cada gaz, segundo as condições em que elle se acha.

417. *Thermometro e pyrometro de ar.*—Osapparelhos empregados para determinar a dilatação dos gazes, podem, como dissemos (387), servir de thermometros de ar. Para isso basta medir a zero e na temperatura T , que se quer determinar, o volume e a pressão do ar e substituir na formula (1) do numero 414 o coëfficiente α de dilatação do ar. Dulong e Petit e mais tarde mr. Regnault empregaram thermometros de ar d'esta especie nas experiencias sobre a dilatação do mercurio (408). O balão que servia nas experiencias da dilatação dos gazes era substituido por um reservatorio cylindrico de vidro, ligado a um tubo capillar e cheio de ar secco, que se immergia (fig. 248) no espaço de que se pretendia avaliar a temperatura. O reservatorio era fechado ao maçarico, resfriado depois n'um aparelho analogo ao da figura 255, e immergida a ponta do tubo no mercurio da capsula. Quebrava-se depois a ponta do tubo quando o ar interior tinha a temperatura zero, e media-se a columna a do mercurio elevado dentro do reservatorio acima do nivel da capsula. Se A representa a pressão quando o tubo se fechava ao maçarico, P o peso do mercurio que enchia o reservatorio a zero, p o de que saía na temperatura T , e D a densidade do mercurio a zero; a temperatura T era dada pela formula

$$\frac{P}{D} \frac{1+kT}{1+\alpha T} A = \frac{P-p}{D} (A-a).$$

O pyrometro de ar de mr. Pouillet (395) é constituido por um reservatorio de platina ligado a um aparelho manometrico, e na sua fórma e disposição geral é analogo ao aparelho representado na fig. 248, que serviu a mr. Regnault como thermometro de ar.

Os thermometros de ar, apesar dos cuidados e do tempo que o seu emprego requisita, têm sobre os de mercurio a vantagem de serem extremamente sensiveis e de serem sempre comparaveis entre si, qualquer que seja a substancia de que são constituidos os seus reser-

vatorios, o que não succede com os de mercurio (381). Com effeito ao passo que em geral dois thermometros de mercurio concordam apenas entre -36° e 100° , porque a dilatação do vidro, sendo proxima-mente $\frac{1}{7}$ da de mercurio, influe sensivelmente no effeito resultante, os thermometros de ar são sempre comparaveis entre si, porque a dilatação de diversas especies de vidro é muito pequena em relação á dilatação do ar. É por este unico motivo que os thermometros de mercurio não devem ser empregados para medir temperaturas superiores a 100° .

418. *Comparaçào dos thermometros de diferentes gazes.*—Mr. Regnault completou as suas importantes experiencias sobre a dilatação dos gazes pela comparaçào de thermometros de diferentes gazes. Os gazes eram introduzidos em balões mergulhados no mesmo banho e communicando com manometros iguaes, sendo o modo de experimentação analogo ao seguido no ultimo methodo indicado (415). Comparou primeiramente dois thermometros que continham ar a $\frac{1}{2}$ e a 4 atmosferas e de que se tinham previamente determinado os coefficients medios α e α' ; calculando para cada um a temperatura do banho, achou sempre os mesmos resultados. Depois mr. Regnault substituiu successivamente o ar de um dos thermometros por hydrogenio, acido carbonico e acido sulphuroso, e comparou de novo os apparatus, substituindo na formula geral o valor de α particular a cada gaz. Mr. Regnault achou que os thermometros de ar de hydrogenio e de acido carbonico davam ainda as mesmas temperaturas e que as do thermometro de acido sulphuroso eram sensivelmente differentes. Finalmente mr. Regnault modificou as substancias dos reservatorios, e as temperaturas indicadas foram sempre as mesmas. Este resultado provém, como dissemos (417), da dilatação das differentes especies de vidro ser uma fracção muito pequena ($\frac{1}{160}$ proxima-mente) da dilatação dos gazes.

419. *Aplicações da dilatação de gazes; thermo-barometro.*—A dilatação dos gazes tem muitas applicações; apenas daremos porém algumas noções sobre o thermo-barometro, sobre a tiragem das chaminés e caloriferos de ar quente.

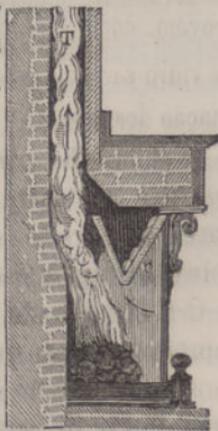
O thermometro de ar aberto superiormente, e mantido em temperatura constante, póde servir para medir a pressão atmospherica. Com effeito se V representa o volume occupado pelo ar que o thermometro contém sob a pressão normal, r o raio de tubo e a a quantidade de que o index se afasta da posição correspondente á pressão normal; para uma differença de pressão x , ter-se-ha $(V \pm \pi r^2 a) 760 \mp x = V 760$. Para uma determinada temperatura o volume V póde ser tal,

que a diferença x seja dada por uma grandeza a igual a $n x$, por exemplo, de modo que então o thermometro de ar ou o *thermo-barometro* será n vezes mais sensivel que o barometro ordinario. Para se obter a escala correspondente a uma certa temperatura t , basta dividir o espaço comprehendido entre duas posições do index correspondentes a 760^{mm} e a $760^{\text{mm}} + a$ em tantas partes iguaes quantos millimetros contém a . Como porém a equação anterior mostra que a não é proporcional a x , seria mais exacto fazer a gradação por comparação com um barometro.

Como as variações de temperatura fazem tambem mover o index, a posição d'este, correspondente á pressão normal, e a grandeza das divisões da escala variam com a temperatura, o que faz com que o instrumento precise de uma escala para cada temperatura.

No thermo-barometro ou *sympiezometro* de Bunsen constroem-se com todo o rigor duas escalas correspondentes a duas temperaturas 0° e t° . Estas duas escalas traçam-se parallelamente sobre uma peça movel, e juntando por meio de linhas rectas os pontos de divisão correspondentes ás mesmas pressões obtem-se sobre parallelas equidistantes a essas escalas e em numero igual ao dos graus comprehendidos entre 0 e t , escalas parallelas e correspondentes a essas temperaturas intermedias.

420. *Tiragem das chaminés.* — Quando se faz lume n'uma chaminé, a columna de ar interior dilatando-se, diminue de densidade, e tende por conseguinte a elevar-se no interior do canal T da chaminé (fig. 257), em virtude do principio de Archimedes, com uma força igual á diferença entre o seu peso e o de igual volume de ar frio exterior. Este movimento ascensional da columna de ar, aquecida no foco de combustão, conjunctamente com os productos d'esta, denomina-se *tiragem da chaminé*. A força que produz a tiragem augmenta



(Fig 257)

com o volume e com a temperatura da columna gazosa interior. Para ter pois boa tiragem é necessario dar a uma chaminé grande altura e secção, e que a differença entre a temperatura interior e a exterior seja grande. A secção não deve ser porém extremamente grande, a fim de evitar correntes descendentes que fariam fumar a chaminé para o interior do local onde está situada. A altura não deve tambem exceder um certo limite, porque a fricção que a columna ascensional experimenta das paredes da chaminé, augmenta com a altura d'ellas. É tambem para diminuir esta fricção que o conducto da chaminé deve ser vertical e liso quanto possivel interiormente. Os conductos de secção circular são preferiveis aos de secção rectangular, porque para superficie equivalente o contorno da primeira é minimo. A velocidade theorica v da columna gazosa é dada pela seguinte formula: $v = \sqrt{2gA\alpha(t' - t)}$, em que A designa a altura da chaminé, α o coefficiente de dilatação dos gazes, t e t' as temperaturas do ar exterior e interior. Na pratica a velocidade V póde ser dada pela seguinte formula empirica: $V = 0,48 \sqrt{2gA(0,0036)(t' - t)}$. Conhecido o volume dos gazes e a sua velocidade, póde facilmente obter-se a secção da chaminé.

Para que a differença entre as temperaturas interior e exterior seja grande, é necessario que o ar frio não penetre no conducto, ou por outra, que afflua ao foco de combustão, passe através do fogo e se aqueça todo. É o que não acontece nas chaminés ordinarias das nossas habitações. Póde-se remediar em parte este inconveniente por meio de um diaphragma c , que reduza a grandeza da bôca da chaminé. O ar exterior necessario para a tiragem de uma chaminé ordinaria entra pelas juntas das portas e das janellas ou por aberturas praticadas para esse fim.

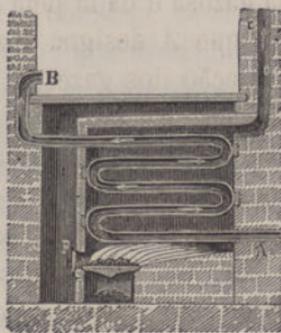
N'uma casa hermeticamente fechada a corrente de ar que deve levar os productos da combustão não se estabeleceria, ou estabelecendo-se, entraria pela propria chaminé um volume de ar igual ao saido, e em ambos os casos a casa encher-se-ia de fumo. Deve-se sempre evitar o fazer communicar os conductos de duas chaminés, porque se a tiragem é maior n'uma

que n'outra, produzem-se n'esta correntes descendentes, que fazem fumar a chaminé.

421. *Caloriferos; fogões coloriferos.*—Denominam-se em geral *caloriferos* osapparelhos compostos de uma fornalha que aquece ar, agua ou vapor aquoso e de um systema de tubos que os distribuem pelas differentes partes de um edificio que se pretende aquecer. Distinguem-se tres especies de caloriferos; a saber: caloriferos de ar quente, de agua quente e de vapor.

Os caloriferos de ar quente constituem uma applicação da força ascensional do ar dilatado. Estes caloriferos são de dois systemas differentes; n'um a chaminé da fornalha circumda um tubo por onde o ar circula, aquecendo-se e transportando-se por canaes ascendentes a differentes aberturas denominadas *bôcas de calor*, e n'outros

pelo contrario a chamma aquece interiormente um tubo, e o ar aquece a seu turno pelo contacto exterior com este tubo. A figura 258 representa um calorifero de primeiro systema. A fornalha *F* estabelecida no sub-solo do edificio cujas differentes partes se pretendem aquecer, envolve com a sua chamma um systema de tubos recur-

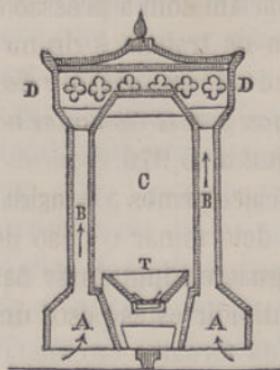


(Fig. 258)

vados. O ar, entrando pelo orificio inferior *A*, aquece pelo contacto com as paredes do tubo, e subindo no interior d'este chega por differentes ramificações ás bôcas de calor como *B*, e espalha-se em seguida pelo espaço que se pretende aquecer. N'estes caloriferos perde-se uma parte do calor communicado ás paredes da fornalha.

Nos caloriferos do outro systema a fornalha está tambem ordinariamente no sub-solo do edificio, a chamma e os productos da combustão percorrem um systema de tubos recurvados que communica com a chaminé, e o ar aquece-se exteriormente pelo contacto com estes tubos, sendo depois levado por outros tubos ás differentes bôcas de calor como no primeiro systema. Este segundo systema permite a collo-

cação dos caloriferos em pequenos espaços. A figura 259 representa um fogão calorifero. N'estes fogões o ar penetra pela



(Fig. 259)

parte inferior A, eleva-se no espaço B que circumda o fogão propriamente dito, e aquecendo pelo contacto com as paredes d'este, são superiormente por muitas bôcas de calor.

Nos caloriferos de agua quente, a agua aquece-se n'uma caldeira collocada no sub-solo do edificio, e sobe em virtude da sua leveza especifica por um tubo até diferentes reservatorios situados nos pontos do edificio que se pretendem aquecer. N'estes reservatorios a agua resfria-se, cedendo o seu calor ao ar que os circumda. Depois de resfriada a agua, augmentando em densidade, desce por outro tubo e vae entrar de novo na caldeira pela parte inferior. A agua pôde no seu movimento descendente passar por diferentes reservatorios, cedendo a cada um d'elles parte do calor que ainda tem. Os caloriferos de agua quente têm sobre os de ar a vantagem de fornecer uma temperatura mais suave é que se conserva por mais tempo, em virtude da lentidão com que se resfria a agua em circulação.

Finalmente nos caloriferos de vapor aquoso, este é gerado n'uma grande caldeira, circula depois por uma serie de tubos, e condensa-se em grandes recipientes collocados nas diferentes partes do edificio, abandonando o calor que contém em virtude da mudança de estado, o que adiante será explicado. A agua condensada volta depois pelo interior dos mesmos tubos novamente para a caldeira.

SECÇÃO 4.^a

Densidade dos gazes e correções às densidades dos solidos e liquidos

422. *Densidade dos gazes.*—Denomina-se *densidade de um gás* a relação que existe entre o peso de um dado volume

d'esse gaz e o peso de um igual volume de ar em identicas circumstancias de pressão e de temperatura.

Ora como as densidades dos gazes variam com a pressão e com a temperatura, segundo attestam os trabalhos de mr. Regnault, considerámos como densidade de um gaz: *a relação entre pesos de iguaes volumes de gaz e de ar tomados na temperatura O e sobre a pressão normal de $0,76$.*

Do que precede infere-se que para calcularmos a densidade de um gaz qualquer é necessario determinar o peso de um dado volume d'este e o de um igual volume de ar nas circumstancias acima mencionadas, e dividir estes pesos um pelo outro

423. *Processo de Biot e Arago.*—O processo que Biot e Arago empregaram para a determinação das densidades dos gazes é o seguinte:

Toma-se um balão de 8 a 10 litros de capacidade, a cujo collo está adaptada uma virola de cobre, munida da competente torneira, e secca-se extrahindo-lhe o ar que contém por meio da machina pneumatica, e deixando-o entrar de novo depois de completamente secco (415), operações estas que se repetem 5 ou 6 vezes successivas, a fim de que o ar secco dissolva a humidade contida no balão. Depois d'isto, pesa-se este cheio de ar completamente secco e isento de acido carbonico, para o que se faz atravessar uma serie de tubos em U contendo chlorureto de calcio e potassa caustica, e toma-se nota do peso P , bem como da pressão A e da temperatura t , no acto da pesagem. N'estas circumstancias rarefaz-se o ar no interior do balão até que o manometro de rarefação da machina pneumatica indique uma pequena tensão f , e determina-se o peso p do balão n'essas circumstancias.

Determina-se em seguida o peso P' do balão cheio de gaz, cuja densidade se pretende conhecer, na temperatura t' e debaixo da pressão A' , e faz-se-lhe de novo o vacuo no interior, notando a tensão do gaz f' n'esta temperatura e o peso p' do balão.

Feito isto, é evidente que $(P-p)$, representando o peso do ar contido no balão na temperatura t e sob a pressão $A-f$, o

peso d'este fluido á temperatura 0° e sob a pressãõ normal deverã ser:

$$(P - p) \frac{760}{A - f} (1 + \alpha t),$$

designando por α o coefficiente de dilataçãõ do ar; porẽm como o vidro por passar da temperatura t á temperatura 0° experimenta uma diminuiçãõ de volume que ẽ representada por $\frac{1}{1 + kt}$ (representando k o coefficiente de ditataçãõ do vidro), o peso do ar a 0° serã expresso por

$$(P - p) \frac{760}{A - f} \frac{1 + \alpha t}{1 + kt} \dots\dots\dots (1)$$

Do mesmo modo representando por α' o coefficiente de dilataçãõ do gaz, cuja densidade se pretende conhecer, o peso d'este gaz que enche o balãõ na temperatura t' e sob a pressãõ $A' - f'$ serã:

$$(P' - p') \frac{760}{A' - f'} \frac{1 + \alpha' t'}{1 + k t'} \dots\dots\dots (2)$$

E dividindo uma pela outra as expressões (2) e (1) a densidade do gaz serã expressa pela seguinte formula:

$$D = \frac{(P' - p') (A - f) (1 + \alpha' t') (1 + kt)}{(P - p) (A' - f') (1 + \alpha t) (1 + k t')}$$

È esta a formula geral que nos dá o valor da densidade de um gaz qualquer, e que pòde simplificar-se quando alguma ou algumas das circumstancias de que depende forem identicas nas duas phases da experiencia.

O valor de D depende, pois, das pressões, assim como das temperaturas a que se acha sujeito o ar e o gaz que se considera, e que devem portanto determinar-se com a maior exactidãõ.

As pressões a que os gazes se acham submettidos determinam-se facilmente, observando a altura barometrica na occasiãõ das pesagens, bem como a tensãõ da pequena quantidade de gaz contida no balãõ, quando se opera a rarefacçãõ no interior.

As temperaturas em que os dois gases se acham são, porém, mais difficeis de determinar exactamente. Biot e Arago mediam-nas por meio de um thermometro collocado perto do balão, porém este meio era muito incorrecto, porque o thermometro sendo influenciado por circumstancias extranhas, difficilmente indicava a temperatura do gaz contido n'aquelle.

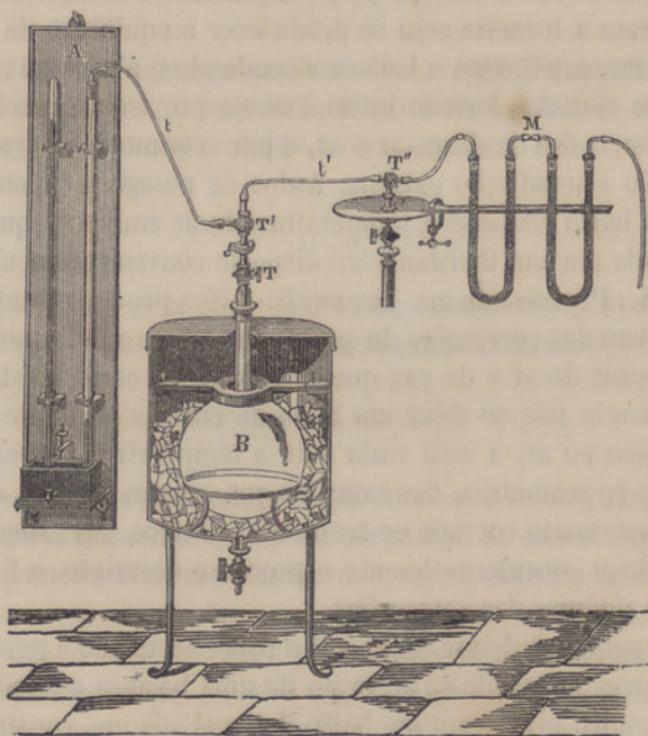
A fim de obviar a este inconveniente, mrs. Dumas e Bous-singault modificaram o processo anterior, dispondo o thermometro no interior do balão, e collocaram este, a fim de o encher, n'uma caixa de zinco de paredes duplas, sendo o intervallo d'estas cheio com agua que conservavam n'uma temperatura pouco differente da do ar ambiente. Alem d'isto não fechavam a torneira sem se estabelecer o equilibrio de temperatura, e pesavam o balão suspendendo-o n'uma caixa dupla de chumbo forrada interiormente por uma camada de cal viva, a fim de dessecar o ar, e por este modo subtrahiam o balão á irradiação externa. Antes da pesagem esperavam que o balão tomasse a temperatura do ar ambiente que era indicada por um thermometro disposto convenientemente.

424. *Processo de mr. Regnault.* — Nos processos anteriores, alem das correccões de que n'elles carece a determinação dos pesos do ar e do gaz que se considera, como n'esta determinação não se toma em linha de conta a perda de peso do balão no ar, a qual varia com a temperatura, pressão e estado hygrometrico das camadas que cercam o balão, é por isso necessario corrigir os resultados obtidos. Mr. Regnault modificou consideravelmente o processo descripto, a fim de evitar algumas das correccões.

No processo de mr. Regnault o balão destinado á pesagem dos gazes suspende-se ao prato de uma balança e equilibra-se no outro prato com um balão de igual volume, construido com o mesmo vidro e hermeticamente fechado; os dois balões sendo igualmente influenciados pelas variações atmosfericas, durante a pesagem deslocam iguaes volumes de ar, d'onde resulta que a temperatura, a pressão e o estado hygrometrico d'este, assim como a propria dilatação do balão, não têm a minima influencia nas pesagens.

Se os balões não tiverem exactamente o mesmo volume, o que se pôde verificar por meio do principio de Archimedes, adiciona-se ao de menor volume um tubo, do mesmo vidro do balão, fechado nas extremidades, de modo que o seu volume perfaça a differença dos volumes dos dois balões. Se tiverem igual volume e differente peso, introduz-se no menos pesado uma certa quantidade de mercurio, a fim de que os dois balões se equilibrem.

Para obter o gaz, cuja densidade se pretende conhecer, e o ar secco e na temperatura zero, colloca-se um dos balões *B* (fig. 260) no interior de uma caixa de zinco, contendo gelo,



(Fig. 260)

e munida inferiormente de uma torneira para o esgoto da agua de fusão. À tubuladura *T* do balão adapta-se uma torneira *T'* de tres vias, de modo que o balão pôde communicar por meio do tubo *t* com o aparelho *A*, ou por intermedio do outro tubo *t'*, com uma outra torneira de tres vias *T''*, a qual

a seu turno o póde pôr em communição com uma machina pneumática ou com um reservatorio de gaz por meio do aparelho deseccador M . Com o auxilio d'esta machina, e regulando convenientemente a posição da torneira T'' , faz-se o vacuo dentro do balão, e deixa-se depois penetrar n'elle o gaz. Estas operações repetem-se alternadamente muitas vezes, até que finalmente se faz o vacuo no interior do aparelho, e se interrompe por meio da torneira T'' a communição entre a machina pneumática e o balão. Este communiça então pelo tubo t com o barometro differencial A , isto é, com um aparelho composto de dois barometros, um dos quaes serve para dar a tensão do gaz rarefeito, e outro serve de norma¹. O barometro differencial dá pois a força elástica f' do gaz contido no balão. Interrompe-se então a communição com o barometro, fecha-se e limpa-se o balão, e suspende-se ao prato de uma balança, estabelecendo o equilibrio pela addição de grenalha de chumbo ao prato em que o outro está suspenso. Colloca-se de novo o balão no interior da caixa de zinco, enche-se de gaz á pressão da atmosphera A' , sendo portanto a pressão do gaz introduzido $A' - f'$. Feito isto e depois de limpo exteriormente, determina-se o peso P' de gaz contido no balão. Praticando o mesmo com o ar, determina-se o peso P d'este fluido, que enche o balão a 0° e sob a pressão $A - f$.

Resta sómente reduzir os pesos do gaz e do ar á pressão normal, o que se obtem do modo seguinte. Representando P'_1 e P_1 os pesos do gaz e do ar sob a pressão normal, como os pesos do gaz e do ar sob o mesmo volume são proporcionaes ás pressões, ter-se-ha

$$P'_1 = \frac{P' \times 0^m,76}{A' - f'} \text{ e } P_1 = \frac{P \times 0^m,76}{A - f};$$

e portanto a densidade procurada, será

$$D = \frac{P' \times (A - f)}{P \times (A' - f')}.$$

¹ Este aparelho tem a mesma applicação que o manometro de rarefação e funda-se nos mesmos principios.

425. *Determinação da densidade dos gazes que atacam o cobre.*—As densidades dos gazes que atacam o cobre não podem ser determinadas pelos methodos descriptos. Os gazes em taes circumstancias recolhem-se n'um pequeno frasco de rolha esmerillada, pondo este em communição com apparelhos productores dos mesmos, mergulhando o tubo abductor até o fundo do frasco, e conservando este na sua posição normal ou invertida, conforme são mais ou menos densos do que o ar. Tendo calculado previamente o volume V do frasco, pesando-o cheio de agua a 4° , e suppondo o gaz mais denso do que o ar, representem P e P' os pesos do frasco cheio de gaz e de ar. É evidente que $P - P'$ exprime o excesso do peso do gaz sobre o do ar, e portanto $P - P' + p$ representará o peso do gaz que enche o frasco, designando por p o peso do ar que o enche igualmente. A densidade que se pretende achar será por conseguinte

$$D = \frac{P - P' + p}{p},$$

No caso do gaz ser menos denso do que o ar, a densidade será representada do modo seguinte

$$D = \frac{p'}{P' - P + p'},$$

designando p' o peso do gaz que enche o frasco. Convém advertir-se que o frasco antes da experiencia deve ser completamente secco, assim como o ar e o gaz, e que se devem fazer sobre os pesos dos gazes as devidas correcções relativas á temperatura e á pressão.

426. *Densidade dos gazes em differentes pressões e differentes temperaturas.*—Como já dissemos a densidade dos gazes não se conserva constante em todas as temperaturas e sob todas as pressões, assim o demonstrou mr. Regnault. Como exemplo apresentaremos os resultados obtidos por este physico com respeito ao acido carbonico:

Temperaturas 0°	0°	0°	100°	100°
Pressões	224 ^{mm} ,00	374 ^{mm} ,13	760 ^{mm} ,000	383 ^{mm} ,000
Densidades ..	1,52145	1,52366	1,52910	1,52410
			1,52410	1,52418

Os resultados precedentes, alem de demonstrarem a variação da densidade dos gazes com a temperatura e com a pressão, provam que a 100° e até a pressão de uma atmosphera o acido carbonico segue a lei de Mariotte, como já mr. Regnault previra, poisque n'estas circumstancias a densidade se conserva constante, o que não acontece a 0°

427. *Medida do coefficiente de dilatação dos gazes que atacam o mercurio.*—Servindo-nos do modo de experimentação que Regnault empregou para determinar a densidade dos gazes em temperaturas elevadas, podemos medir o coefficiente de dilatação dos gazes que atacam o mercurio, bem como comprovar o d'aquelles que não têm acção sobre este metal. Com effeito seja P o peso do gaz contido n'um balão a 0° e sob a pressão $A-f$; o peso do gaz a 0° sobre a pressão A será $\frac{PA}{A-f}$. Aquecendo em seguida o balão á temperatura t , o que se consegue mergulhando-o em vapor de agua n'esta temperatura, e abrindo a torneira durante um pequeno intervallo de tempo, uma pequena parte do gaz escapa-se, e a porção restante adquire a pressão A' da atmosphera, o seu peso é pois sensivelmente igual a

$$P \frac{(A') \cdot (1+kt)}{(A-f) \cdot (1+\alpha t)}$$

designando por k o coefficiente de dilatação do vidro, e por α o do gaz. A differença dos dois pesos que se pôde determinar experimentalmente, é pois

$$\pi = \frac{PA}{A-f} - \frac{PA'}{A-f} \cdot \frac{1+kt}{1+\alpha t}$$

equação d'onde se tira o valor de α .

428. *Densidade dos gazes em relação á agua e peso de um litro de gaz secco; densidade e peso de um litro de differentes gazes.*—Não é bastante saber determinar a densidade dos gazes relativamente ao ar, é preciso tambem conhecer em muitos casos a sua densidade em relação á agua. Para isto basta determinar a densidade do ar em relação á agua, e multiplicar este valor pelas densidades dos differentes gazes. Esta determinação faz-se segundo o processo de mr. Regnault precedentemente descripto. Determina-se primeiramente o peso do ar contido no balão a 0° e sob a pressão de 0^m,76 (n.º 424)

$$P_1 = \frac{P \cdot 0^m,76}{A-f}$$

e em seguida mede-se com todo o rigor o peso da agua no maximo de condensação que encheria o balão a 0° ; o quociente d'estas duas quantidades representa a densidade do ar relativamente á agua. Ora é evidente que o numero que representa o peso em grammas da agua no maximo de condensação designará a capacidade do balão expressa em centimetros cubicos, e por consequencia o numero que designa a densidade do ar em relação á agua é o mesmo que representa o peso de um centimetro cubico de ar a 0° e sob a pressão normal. Este numero é, segundo mr. Regnault, igual a $0,001293187$ ou $\frac{1}{773}$.

O peso de um litro de ar secco é pois a 0° e sob a pressão normal

$$1^{\text{gr}},293187;$$

e, em geral, o peso de um litro de qualquer gaz secco nas mesmas condições é expresso por

$$1^{\text{gr}},293187 \times d$$

representando por d a densidade do gaz. E em uma temperatura qualquer t e sob a pressão A este valor tornar-se-ha

$$\frac{1^{\text{gr}},293187}{1 + \alpha t} \cdot \frac{A}{760} \cdot d$$

designando por α o coefficiente de dilatação do gaz.

Finalmente quando o ar ou um gaz qualquer estiver humido, pôde considerar-se composto de gaz secco sob a pressão $A - f$, e de vapor aquoso com a tensão f . Ora, como adiante se verá, o vapor aquoso pesa $\frac{5}{8}$ de um igual volume de ar, sob a pressão f e na mesma temperatura t . O peso de um litro de gaz será pois n'estas circumstancias

$$d \left(\frac{1^{\text{gr}},293187}{1 + \alpha t} \cdot \frac{A - f}{760} + \frac{5}{8} \cdot \frac{1^{\text{gr}},293187}{1 + \alpha t} \cdot \frac{f}{760} \right) = \frac{1^{\text{gr}},293187}{1 + \alpha t} \cdot \frac{A - \frac{3}{8}f}{760} \cdot d$$

Em seguida apresentâmos, como exemplo, a tabella das densidades e dos pesos de um litro de differentes gazes.

Tabella das densidades e dos pesos de um litro de diferentes gazes

Nomes dos gazes	Densidades	Peso de um litro a 0° e 0 ^m ,76	Nomes dos observadores
Hydrogenio	0,06926	0 ^{gr} ,089578	Regnault
Proto-carbureto de hydrogenio	0,55500	0,727000	Thomson
Ammoniacio	0,59670	0,775200	Biot e Arago
Oxydo de carbonio	0,95690	1,245100	Cruikshanks
Azote	0,97137	1,256167	Regnault
Ar	1,00000	1,293187	Regnault
Bioxydo de azote	1,03880	1,349500	Berard
Oxygenio	1,10563	1,429802	Regnault
Acido sulphydrico	1,19120	1,547500	Thenard e Gay-Lussac
Acido chlorhydrico	1,24740	1,620500	Biot e Arago
Protoxydo de azote	1,52040	1,975200	Colin
Acido carbonico	1,52901	1,977414	Regnault
Cyanogenio	1,80640	2,346700	Gay-Lussac
Acido sulfuroso	2,23400	2,881800	Thenard
Chloro	2,47000	3,208800	Thenard e Gay-Lussac
Acido iodhydrico	4,42880	5,771900	Gay-Lussac

429. *Correcção das pesagens.*— Como qualquer corpo perde no ar uma parte do seu peso, igual ao do ar deslocado, segue-se que o peso real de um corpo, isto é, o que elle teria no vacuo, é differente do seu peso apparente ou que elle tem no ar. O primeiro peso é constante, porém o segundo varia, não só porque o volume do ar deslocado augmenta ou diminue quando o corpo se dilata ou contrahe, mas tambem porque a densidade do ar muda continuamente em virtude das alterações da temperatura, pressão e estado hygrometrico. No acto das pesagens aquella perda de peso fazendo-se sentir ao mesmo tempo e desigualmente nas substancias que se pesam e nos pesos padrões, segue-se que devem ser essencialmente variaveis as pesagens obtidas com a balança, a qual, como se sabe, apenas accusa a igualdade entre os pesos apparentes.

Se p_r designar o peso real de um corpo ou de um peso padrão, p o seu peso apparente no ar, $v(1+kt)$ o seu volume no momento da pesagem, c o peso de um centimetro cubico de ar atmosferico na mesma occasião e d a densidade a zero da substancia que constitue o corpo, será

$$p = p_r - v(1+kt)c \text{ ou } p = p_r \left[1 - \frac{c}{d}(1+kt) \right] \dots (1)$$

Ora como o peso de um centimetro cubico de ar a t^o e sob a pressão A , suppondo que f designa a tensão do vapor aquoso que contém, é (428).

$$c = \frac{0^{gr},001293}{1 + \alpha t} \cdot \frac{A - \frac{3}{8}f}{760}$$

Substituindo este valor na equação (1), ter-se-ha

$$p = p_r \left(1 - \frac{0^{gr},001293}{d} \cdot \frac{1 + kt}{1 + \alpha t} \cdot \frac{A - \frac{3}{8}f}{760} \right) \dots \dots \dots (2)$$

Esta formula serve para calcular o valor apparente de um peso padrão, porque o valor real d'este peso é o que elle tem marcado sobre a superficie. Assim para ter rigorosamente o valor apparente P de um peso padrão P_r seria necessario conhecer d , k , A , f e t . Porém, como a densidade da substancia do peso é sempre muito grande, a correcção será uma fracção pequena de $\frac{0,001293}{d}$ que se póde desprezar. A expressão (2) póde pois reduzir-se n'este caso, a

$$P = P_r \left(1 - \frac{0^{gr},001293}{d} \right)$$

ou mais simplesmente

$$P = P_r (1 - \sigma) \dots \dots \dots (3)$$

Os valores de σ para os metaes abaixo designados mostram que a correcção é em geral quasi insensivel, em virtude da grande densidade dos mesmos. Os valores de σ são os seguintes:

	σ		σ
Platina	0,000060	Prata	0,000123
Mercurio	0,000083	Latão	0,000154
Chumbo	0,000114	Aluminio	0,000504

No caso de simples pesagens, se X_r e X designarem os pesos real e apparente de um corpo collocado n'um prato de uma balança, e cuja densidade é d' , e o coefficiente de dilatação k' , P_r e P os valores real e apparente do peso padrão, que lhe faz equilibrio no outro prato, e do qual k e d designam o coefficiente de dilatação e a densidade, a equação (1) dará os valores X e P dos dois pesos apparentes, e estabelecendo a equação entre os momentos d'estes pesos, designando por b' e b os braços da alavanca respectivos será

$$X_r = P_r \frac{b}{b'} \cdot \frac{1 - \frac{c}{d}(1 + kt)}{1 - \frac{c}{d'}(1 + k't)}$$

No caso de dupla pesagem se δ representar a densidade do corpo que serve de tara e μ o seu coefficiente de dilatação ter-se-ha, conservando-se as notações precedentes e designando por t e t' , c e c' as temperaturas e os pesos de um centimetro cubico de ar nas duas phases da operação,

$$X_r = P_r \frac{1 - \frac{c'}{d'} (1 + k' t')}{1 - \frac{c}{d} (1 + k t)} \cdot \frac{1 - \frac{c}{\delta} (1 + \mu t)}{1 - \frac{c'}{\delta} (1 + \mu' t')}$$

Vê-se pois que no methodo de dupla pesagem se desaparece o erro resultante da desigualdade dos braços da balança, é necessario uma nova correcção em virtude da differença do peso apparente da tara nas duas phases. Esta correcção será porém nulla quando o ar se conservar nas mesmas condições atmosphericas durante as duas pesagens, ou se δ for muito grande, que é o caso que se dá quando a tara é constituída por grenalha de chumbo. N'esse caso a equação anterior reduz-se a

$$X_r = P_r \frac{1 - \frac{c'}{d'} (1 + k' t')}{1 - \frac{c}{d'} (1 + k' t')} \quad \text{ou} \quad X_r = P_r \frac{1 - \sigma}{1 - \frac{c}{d'} (1 + k' t')}$$

430. *Peso da agua.*—Como na temperatura de 4° um centimetro cubico de agua distillada pesa um gramma, segue-se que n'esta temperatura o numero que designa em grammas o peso de uma certa massa de agua é o mesmo que designa o seu volume em centimetros cubicos. Representando por V_4 o volume de agua a 4° , cujo peso real é P_r , será $P_r = V_4$ e como na temperatura t o volume da agua é $V_t = V_4 (1 + \delta_t) = V_4 m_t$, será $P_r = \frac{V_t}{1 + \delta_t} = \frac{V_t}{m_t}$, sendo a correcção $1 + \delta_t$ ou m_t dada pela tábua de Despretz (412).

Quando se mergulha em agua distillada um corpo cujo peso, densidade e volume a zero e coefficiente de dilatação são P_r , d , V e k , esse corpo perderá uma parte do seu peso igual ao da agua deslocada, e o seu peso apparente será pois:

$$P_r - \frac{V (1 + k t)}{1 + \delta_t} \quad \text{ou} \quad V d - V \frac{1 + k t}{1 + \delta_t}$$

431. *Correcções ás densidades dos solidos e liquidos.*—Tendo-se indicado na secção 5.^a do capitulo 3.^o do livro 2.^o os processos geraes para a determinação das densidades dos solidos e liquidos, resta

agora dar conta das correções que esses processos exigem. Como a densidade de um corpo é a relação entre o seu peso real P_r e o peso de um volume de agua a 4° igual ao seu, sendo V o volume de um corpo a 0° o seu volume a t° e o peso de um igual volume de agua a 4° serão designados por $V \cdot (1 + kt)$.

A densidade d_t a t° , se d representa a densidade a 0° , será pois, como já indicámos (405),

$$d_t = \frac{P_r}{V(1+kt)} = \frac{d}{1+kt}.$$

Deve-se porém entender em geral que quando se falla da densidade de um corpo, se trata da densidade d a zero.

Para obter a densidade dos solidos no caso do emprego da balança hydrostatica, se c representa o peso de um litro de ar no momento da experiencia e p_r e p'_r os pesos que fazem equilibrio ao corpo, quando se pesa no ar e na agua, o estabelecimento da igualdade entre os pesos apparentes do corpo e os pesos padrões no ar dá, conservando as notações precedentes,

$$Vd - V(1+kt)c = p_r(1-\sigma) \dots\dots\dots (1)$$

Quando o corpo se immerge em agua suppondo que a temperatura se conserva constante durante as pesagens, o que é geralmente verdadeiro, ter-se-ha analogamente (430)

$$Vd - V \frac{(1+kt)}{1+\delta_t} = p'_r(1-\sigma) \dots\dots\dots (2)$$

Das equações (1) e (2) tira-se o valor da densidade a zero,

$$d = \frac{p_r}{p_r - p'_r} \cdot \frac{1+kt}{1+\delta_t} - \frac{p'_r}{p_r - p'_r} (1+kt)c$$

Nos processos do frasco de volume constante e do areometro, procedendo analogamente, chega-se a equações identicas ás precedentes e obter-se-ia o mesmo valor para d . Deve porém notar-se que tanto n'estes processos como no da balança hydrostatica se deve proceder nas pesagens pelo methodo de dupla pesagem. Nas equações (1) e (2) os dois membros representam os pesos que equilibram os pesos π e π' das taras nas duas phases da experiencia. Isto mesmo se applica aos processos para obter a densidade dos liquidos.

Para determinar por meio da balança hydrostatica a densidade

de um liquido, designando por d , V e k a densidade, volume a zero e coefficiente de dilatação de um solido que se immerge primeiro em agua distillada a 4° e depois no liquido cuja densidade x se pretende obter, e cujo coefficiente de dilatação se designa por δ' , estabelecem-se, como anteriormente, as duas equações que indicam a igualdade entre pesos apparentes de volumes iguaes de agua a 4° e do liquido de densidade x com os pesos padrões correspondentes p_r e p_r' ; e como o peso do solido empregado é expresso por $Vd - V(1 + kt)c$ será,

$$Vd - V(1 + kt)c - \left[Vd - V \frac{(1 + kt)}{1 + \delta_t} \right] = p_r(1 - \sigma)$$

ou

$$V(1 + kt) \left(\frac{1}{1 + \delta_t} - c \right) = p_r(1 - \sigma) \dots\dots\dots (3).$$

e

$$V(1 + kt) \left(\frac{x}{1 + \delta't} - c \right) = p_r'(1 - \sigma) \dots\dots\dots (4)$$

d'onde se deduz

$$x = \frac{p_r'}{p_r} \cdot \frac{1 + \delta't}{1 + \delta_t} + c \frac{p_r - p_r'}{p_r} (1 + \delta't)$$

Do mesmo modo se obtem a densidade de um liquido qualquer empregando os processos do frasco e do areometro de Farenheit.

Postoque os valores marcados nos pequenos pesos padrões do commercio não representem sempre mui rigorosamente os valores reaes d'esses pesos, como para obter os pesos apparentes é necessario multiplicar os valores reaes pelo factor $(1 - \sigma)$ e este factor não figura nas formulas das densidades, basta pois que os valores relativos de uma serie de pesos padrões sejam exactos para que se possam empregar esses pesos.

432. *Medida da capacidade de um vaso.*—Para determinar com todo o rigor o volume V de um vaso, pesa-se este cheio de agua a t° , e designando por π o peso da tara que lhe faz equilibrio e F o peso do vaso será

$$\pi = F + V \frac{(1 + kt)}{1 + \delta_t} - V(1 + kt)c$$

Em seguida despeja-se o vaso, e designando por P_r os pesos padrões que é necessario collocar no mesmo prato da balança, a fim de restituir o equilibrio, ter-se-ha

$$\pi = F + P_r(1 - \sigma)$$

E subtrahindo estas duas equações uma da outra ter-se-ha para determinar V a seguinte relação (equação (3) do n.º 431).

$$V(1 + kt) \left(\frac{1}{1 + \delta_t} - c \right) = P_r(1 - \sigma).$$

Este methodo, bastante rigoroso quando a capacidade V é muito consideravel, é menos preciso para a determinação da capacidade de pequenos tubos. N'esse caso augmenta-se a sensibilidade do methodo, empregando o mercurio. A equação precedente daria então, designando por D a densidade do mercurio a zero,

$$V(1 + kt) \left(\frac{D}{1 + \Delta t} - c \right) = P(1 - \sigma)$$

ou simplesmente

$$V(D - c) = P_r(1 - \sigma)$$

se o tubo for cheio de mercurio a zero. Em geral c pôde desprezar-se em relação a D .

CAPITULO III

Mudanças d'estado

SECÇÃO 1.ª

Fusão e solidificação

433. *Fusão; suas leis.*—Quando se sujeitam os corpos solidos á acção do calor começam por se dilatar; porém se a temperatura continua a augmentar successivamente chega um instante em que elles passam ao estado liquido. A transformação ou passagem do estado solido para o liquido pela acção do calor denomina-se *fusão*. Ha todavia um grande numero de substancias, taes como o papel, a madeira, a lã e diversos saes, que submettidas á acção do calor, em vez de se fundirem, se decompõem. Ha tambem outras substancias que não tem sido possivel liquefazer, e que se denominam ordinariamente *fixas ou refractarias*; porém á medida que se tem podido produzir temperaturas mais altas, o numero de corpos considerados como refractarios tem diminuido.

De todos os corpos simples o unico que não tem sido possível obter fundido, é o carbonio; mr. Despretz submettendo-o á acção de uma fortissima corrente electrica, conseguiu porém amollecê-lo e tornal-o flexivel. Póde pois admittir-se que não ha corpos verdadeiramente refractarios, e que todos se poderiam liquefazer, se fosse possível aquecel-os sufficientemente.

O phenomeno da fusão está submettido ás seguintes leis:

1.^a *Cada substancia chimicamente definida, funde a uma temperatura determinada e constante, que se chama o seu ponto de fusão;*

2.^a *A temperatura de um corpo, fundindo-se, permanece constante por todo o tempo que dura a fusão, qualquer que seja a intensidade do foco calorifico e a grandeza da massa que se funde.*

No quadro seguinte estão designados os pontos da fusão de muitas das substancias mais usuas.

Tabella dos pontos de fusão de diferentes substancias

Substancias	Graus centigrados	Substancias	Graus centigrados
Ferro batido inglez.	1600	Sodio	90
Ferro doce francez.	1500	Acido stearico	70
Aço	1400 a 1300	Cera branca	69
Oiro puro	1250	Cera amarella	61
Ferfundido, pardo	1200 a 1100	Stearina	60
Ferfundido, branco	1100 a 1050	Potassio	58
Prata pura	1000	Spermaceti	49
Bronze	900	Phosphoro	43
Antimonio	432	Sebo	33
Zinco	360	Manteiga	32
Chumbo	326	Gêlo	0
Bismutho	262	Essencia de terebin-	
Estanho	230	thina	— 10
Enxofre	110	Bromio	— 20
Iodo	107	Mercurio	— 39

Alguns corpos passam rapidamente do estado solido ao estado liquido, como os metaes, o gêlo, o enxofre, etc.; ou-

tros pelo contrario amollecem successiva e gradualmente, de modo que se não pôde fixar o seu ponto de fusão, taes são, por exemplo, o vidro, o acido phosphorico, os silicatos, as resinas, etc. Este modo de fusão denomina-se fusão vitrea, por se dar em alto grau no vidro, e é n'esta propriedade que são baseados os processos para trabalhar esta substancia.

434. *Calor latente.*—Como a temperatura de um corpo fundido, se conserva constante durante a fusão, segue-se que o calor que o foco calorifico continua a produzir é todo empregado na mudança d'estado, e tem por unico effeito o manter o corpo no estado liquido. Este calor empregado para produzir a fusão, e que o thermometro não accusa, denomina-se *calor latente*, segundo a theoria material. Adiante veremos o sentido que se deve ligar a esta expressão segundo a theoria dynamica do calor.

435. *Liquefacção por dissolução; misturas frigorificas.*
—A passagem do estado solido ao estado liquido pôde effectuar-se por dissolução, isto é, pelo effeito de uma acção chimica ou de uma força especial, em virtude da qual as moléculas dos solidos em contacto com os liquidos se desaggregam, disseminando-se pela massa d'estes. A gomma arabica, o assucar e um grande numero de saes dissolvem-se na agua, a maior parte das resinas no alcool, e o oiro e a prata no mercurio. Muitas vezes a combinação chimica das duas substancias precede ou acompanha o phenomeno physico da dissolução.

Quando se verifica a combinação chimica pôde haver augmento de temperatura. Quando porém não se forma combinação, ou que esta se tem effectuado já, o phenomeno da dissolução é acompanhado de um resfriamento que provém da absorpção de uma certa quantidade de calor que se torna latente. A temperatura pôde tambem conservar-se invariavel se os dois effeitos se contrabalançam.

Para produzir artificialmente frio recorre-se ordinariamente ao phenomeno da absorpção do calor por dissolução, empregando o que se chama *misturas frigorificas*.

Quadro das substancias commumente empregadas
para formar misturas frigorificas

Nomes das substancias	Partes em peso	Abaixamento de temperatura a partir de 40°
Agua	1	-16°
Azotato de ammoniaco	1	
Sulphato de soda	8	-17°
Acido chlorhydrico	5	
Neve ou fragmentos de gèlo	2	-18°
Sal commum.....	1	
Sulphato de soda	3	-19°
Acido azotico	2	
Phosphato de soda	9	-29°
Acido azotico	4	
Cal em pó	4	-41°
Neve.....	3	

436 *Solidificação; suas leis.*—O phenomeno inverso da fusão, isto é, a passagem do estado liquido ao estado solido, denomina-se *solidificação*. A solidificação recebe o nome de *congelação* quando se verifica a temperatura baixa. Em geral todos os corpos liquidos são susceptiveis de se solidificarem, uma vez que possam ser sufficientemente resfriados; a impossibilidade que ha em congelar alguns provém certamente da limitação dos meios de resfriamento que actualmente se conhecem. Mr. Despretz mostrou que o alcool, corpo que se considerava como refractario ao frio, se pôde tornar viscoso, quando está contido n'um vaso circumdado d'uma mistura de ether, acido carbonico solido e protoxydo de azote liquido. O phenomeno da solidificação está submettido ás seguintes leis:

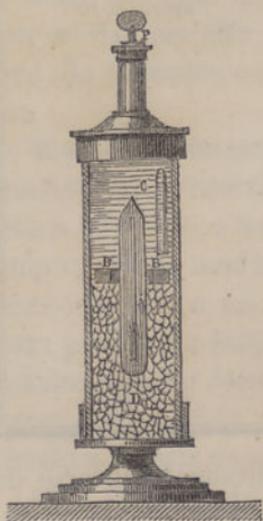
1.^a *A temperatura em que cada corpo se solidifica é constante e precisamente a mesma que a da fusão.s*

2.^a *A temperatura conserva-se constante emquanto dura a solidificação.* Assim pela solidificação os liquidos abandonam todo o calor latente que tinham absorvido pela liquefacção.

437. *Variações dos pontos de fusão e solidificação.*—As leis de fusão e solidificação não são absolutamente verdadeiras. Mr. James Thomson, baseando-se em considerações theoricas relativas á trans-

formação do calor em trabalho mecânico, fôra levado a concluir que a pressão devia fazer baixar a temperatura da fusão da água, cujo volume augmenta, como se sabe, pela solidificação, ao passo que devia fazer elevar a temperatura da fusão dos corpos que se contraem pela solidificação.

Mr. W. Thomson verificou experimentalmente a primeira conclusão empregando um aparelho (fig. 261) analogo ao piezometro de Oersted. Compõe-se de um vaso de vidro de paredes mui resistentes que contém gelo em pequenos fragmentos, mantido na parte inferior por meio de uma rodella de chumbo *B*, sendo a parte superior cheia de água. O vaso é munido de um parafuso *P*, com que se exerce a pressão e contém no seu interior um thermometro e um manometro *C*. Sob a pressão normal o thermometro marca 0° , porém esta temperatura baixa quando se comprime a água interior, chegando a $-0^{\circ},049$ e a $-0^{\circ},129$ sob as pressões de 8 e 16,8 atmospheras. M. Mousson, empregando fortes pressões, chegou mesmo a fazer baixar o ponto de

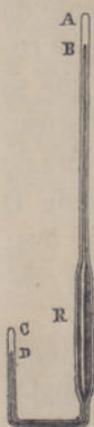


(Fig. 261)

congelação da água a -20° .

Por outro lado mr. Bunsen, operando sobre a parafina e espermaceti, que pela solidificação se contraem, verificou a segunda conclusão de mr. J. Thomson. Mr. Bunsen introduziu as substancias sobre

que operava na parte *CD* do ramo menor de um siphão fechado (fig. 262), encheu de mercúrio o espaço *DRB*, e deixou no extremo do ramo maior uma porção *AB*, cheia de ar e destinada a servir de manometro. Introduzindo a parte inferior d'este aparelho n'um banho quente, o mercúrio dilata-se augmentando a pressão interior. Quando a substancia contida em *CD* começa a fundir-se mede-se a pressão interior e a temperatura do banho. Mr. Bunsen operando com aparelhos de dimensões diferentes observou que a temperatura de fusão das substancias que empregava crescia sensivelmente com a pressão.



(Fig. 262)

O abaixamento do ponto de congelação da água pôde explicar uma especie de ductilidade, que apresenta o gelo e que uma curiosa experiencia de mr. Tyndall torna bem frizante. Mr. Tyndall comprimiu fortemente um pedaço de gelo entre duas peças de madeira que deixavam entre si um espaço lenticular. O gelo reduziu-se a pequenos fragmentos, porém no fim de alguns segundos estes soldaram-se, e a massa ficou constituindo uma

lente transparente e compacta de géllo. Este resultado pôde explicar-se do seguinte modo: pela compressão o ponto de fusão do géllo descendo abaixo de 0°, este liquefaz-se em parte, produzindo portanto um abaixamento de temperatura resultante da absorpção do calor latente; a agua comprimida e resfriada enche os intervallos que existem entre os fragmentos, e diminuindo então a pressão, o seu ponto de fusão sobe novamente a 0°, soldando portanto, pela congelação, os differentes fragmentos. Esta experiencia serve para explicar os movimentos das geleiras e a facilidade com que o géllo se adapta aos vales.

438 *Retardamento do ponto de solidificação dos liquidos; sobrefusão.*—Alem da pressão ha ainda outras causas que podem fazer baixar notavelmente o ponto de solidificação dos liquidos. Taes são a quantidade e qualidade das substancias dissolvidas (412), a ausencia do ar em dissolução, a completa immobilidade ou uma grande agitação.

O phenomeno do abaixamento do ponto de solidificação, produzido por alguma ou algumas d'estas causas denomina-se *sobre-fusão*. Este phenomeno, que tem sido principalmente observado com a agua, verifica-se tambem com outros liquidos.

Introduzindo-se agua pura n'um balão de vidro, cercado por uma mistura frigorifica, protegendo a sua superficie do contacto do ar, por meio de uma camada de oleo, e evitando qualquer agitação, a agua conserva-se liquida n'uma temperatura de 10° e mesmo 12° abaixo de zero. Mas n'estas circumstancias imprimindo ao vaso o menor movimento, ou lançando fragmentos solidos na massa liquida, uma parte d'esta congela-se immediatamente, e a parte restante sobe rapidamente á temperatura zero. Esta elevação de temperatura resulta do calor latente que se tornou livre em virtude da formação do géllo. Mr. Despretz observou tambem que a agua muito agitada se conservava liquida em tubos thermometricos até -20°, e achou que á medida que a temperatura baixa, o volume augmenta.

O enxofre pôde conservar-se liquido até a temperatura ordinaria, quando o resfriamento se opera lenta e socegadamente. O salitre fundido lançado n'um vaso de porcelana, conserva-se muitas vezes liquido abaixo do seu ponto de so-

lidificação. O phosphoro e o estanho podem tambem conservar-se liquidos abaixo dos respectivos pontos de solidificação. Aquecendo uma dissolução saturada de sulphato de soda n'um tubo de vidro afilado, a fim de expulsar o ar, e fechando-o em seguida ao maçarico, a dissolução conserva-se liquida, postoque pelo resfriamento se torne cada vez mais saturada, porém crystallisa-se immediatamente quando se quebra a ponta do tubo.

Os phenomenos de *sobre-fusão* não têm tido até hoje explicação satisfactoria.

439 *Varição de volume durante a solidificação.* — No momento da solidificação ha geralmente uma variação no volume do corpo que se solidifica. Essa variação é ordinariamente uma contracção como succede com o mercurio, o phosphoro, o enxofre e a stearina, porém em alguns corpos, taes como a agua, o ferro fundido, o bismutho e o antimonio, a solidificação é acompanhada de um acrescimo de volume.

É em virtude do augmento de volume da agua pela congelação, que o gêlo fluctua sobre a agua, o que demonstra que elle é menos denso que esta. A congelação da agua opera-se lentamente, porque esta solidificando-se, cede o seu calor latente ao resto do liquido. O acrescimo de volume do gêlo é acompanhado de uma força expansiva consideravel, como se prova pela seguinte experiencia devida a Huyghens. Enche-se de agua um pequeno tubo de ferro que se fecha hermeticamente por meio de uma rolha aparafusada e immerge-se n'uma mistura frigorifica. No fim de algum tempo o tubo fende-se com ruido, saído pela fenda uma lamina de gêlo. É tambem em virtude do acrescimo de volume, durante a solidificação, que o ferro fundido toma exactamente a fôrma dos moldes, e que o bismutho faz rebentar pela solidificação os tubos de vidro, onde tem sido lançado fundido. Alem dos corpos indicados, ainda outras substancias augmentam tambem de volume pela solidificação.

É em virtude da força expansiva do gêlo que os vasos fechados e os tubos que contêm agua, rebentam por occasião dos grandes frios. Nos paizes frios, o solo incha em virtude

da expansão do gêlo, a ponto de fazer elevar as casas. Certas pedras mui porosas que se reduzem a pó depois da geada, devem estes resultados á agua se introduzir nos seus poros e ali se congelar. A destruição de muitas plantas durante os intensos frios é devida em parte tambem á expansão do gêlo que se forma nos seus vasos.

440. *Fusão das ligas; allotropia.*—As ligas de dois ou mais metaes liquefazem-se completamente, quando a composição chimica é constante, sendo geralmente esta temperatura inferior aos pontos de fusão dos diversos metaes componentes. Na maior parte dos casos, a fusão completa é porém precedida de uma fusão parcial ou pelo menos de um amolecimento da massa. Explica-se este phenomeno admittindo que a liga se divide em duas de composição chimica diferente, e que se fundem a temperaturas diversas, de modo que pelo acrescimo de temperatura, a mais fusivel se liquefaz primeiramente. Quando a liga mais fusivel abunda na massa total, separa-se d'ella pela fusão. Esta fusão parcial denomina-se *liquacção*. Se aquella liga entra porém na mistura total em menor proporção, produz apenas o amolecimento da massa.

Algumas substancias, como o enxofre, o selenio e o phosphoro podem pela acção do calor em dadas circumstancias adquirir propriedades diferentes das que as caracterizam ordinariamente, constituindo um modo de ser particular que se denomina *estado allotropico*. Aquecendo o enxofre e o selenio allotropicos progressivamente até 100° proximaente, chega um instante em que a temperatura do primeiro sobe espontanea e rapidamente a 110°, e a do 2º a 140°, depois do que retomam as suas propriedades ordinarias. Estes dois corpos no estado allotropico, conservam pois o seu calor latente que abandonam com as suas novas propriedades, quando são aquecidos gradualmente. Póde pois suppor-se que a allotropia é devida ao calor latente conservado. Phenomenos analogos se dão no phosphoro allotropico.

441. *Solidificação lenta e rapida; tempera.*—Quando a passagem do estado liquido ao estado solido se opera gradual e lentamente, as moleculas grupam-se regularmente constituindo *crystaes* (169). A *crystallisação* diz-se pela *via secca* quando os *crystaes* se formam pelo resfriamento de um corpo que estava fundido, e pela *via humida*, se provêm da dissolução de um corpo n'um liquido que se fez evaporar.

Quando porém se faz passar rapidamente um liquido a uma temperatura inferior á do seu ponto de solidificação, as moleculas tomam uma disposição que parece menos regular que

no caso de solidificação lenta, adquirindo por isso o solido certas propriedades particulares. As gotas de vidro fundido, por exemplo, lançado em agua fria constituem pequenas massas em fôrma de pera, que se denominam lagrimas batavicas, e que se reduzem a pó quando se quebra a pequena ponta afilada que as termina. Este phenomeno explica-se notando que pelo resfriamento rapido a camada exterior se solidifica immediatamente, conservando-se fundido o nucleo interior n'um espaço maior do que occuparia se o resfriamento fosse gradual; para encher este espaço as moleculas do nucleo solidificando-se a seu turno, em vez de se contrahirem, ficam submettidas a uma certa tensão, mantendo-se n'um estado de equilibrio particular, que apenas dura enquanto o involucro subsiste. Assim quando se põe a descoberto um ponto do nucleo o equilibrio destroe-se immediatamente, ao passo que percutindo o involucro duro e convexo nada se produz. A operação pela qual se resfria rapidamente um corpo solido, denomina-se *tempera*, e opera-se geralmente mergulhando o corpo n'um liquido frio. A tempera é tanto mais forte quanto maior e mais rapido é o abaixamento de temperatura.

Os effeitos da *tempera* são destruidos pelo *recozimento*, operação que consiste em fazer aquecer o corpo temperado e em o deixar resfriar depois gradualmente.

O aço aquecido até o rubro alaranjado tempera-se adquirindo propriedades analogas ás do vidro temperado, quando é resfriado rapidamente pelo contacto com um liquido frio. Ao passo que o aço não temperado é ductil, molle, flexivel e pouco elastico, o aço temperado é extremamente duro e fragil, mui elastico e menos denso do que aquelle. Tira-se partido da *tempera* para o fabrico dos differentes objectos de aço. Para obter o grau de tempera proprio a cada caso, ou se escolhem convenientemente o liquido em que se opera a tempera e as temperaturas d'este e do aço, ou se recoze parcialmente o aço depois de fortemente temperado.

Explicam-se em geral os effeitos da tempera, suppondo que as moleculas dos corpos se agrupam de um modo particular durante esta operação, o que até certo ponto a fractura parece

comprovar, porque ao passo que o aço antes da tempera apresenta a estructura fibrosa, depois d'esta operação torna-se granuloso, dependendo a fórma e grandeza do grão do grau da tempera. No caso do aço fortemente temperado parece que se deve admittir uma certa alteração no modo de combinação das moleculas do ferro e do carbonio que o constituem. O ferro adquire tambem pelo resfriamento propriedades diversas, especialmente no momento em que se solidifica.

SECÇÃO 2.^a

Vaporação; formação e propriedades dos vapores

442. *Vaporação, evaporação e ebullição.*—A transformação dos liquidos em vapores (166) tem o nome geral de *vaporação*; mas esta póde verificar-se por evaporação ou por ebullição. A *evaporação* verifica-se quando o vapor se forma lentamente á superficie dos liquidos, e a *ebullição* quando o vapor se produz rapida e tumultuosamente no interior da massa liquida.

Alguns liquidos, como os oleos gordos, chamam-se *fixos*, porque se não têm podido reduzir a vapores por mais elevadas que sejam as temperaturas a que se submettam, outros pelo contrario, como a agua, o alcool, o ether, etc., possuem a propriedade de poderem ser convertidos em vapores, pelo que se denominam *volateis*. A expressão *volateis* applicada aos liquidos, toma-se, geralmente, em sentido mais restricto, designando apenas aquelles que facilmente se transformam em vapores.

Existem tambem alguns corpos solidos *volateis*, isto é, que produzem vapores sem previamente ter passado ao estado liquido, taes são, por exemplo, a camphora, o gêlo, o iodo, etc.

Denomina-se *ponto de volatilisação* de uma substancia o grau de temperatura em que ella começa a emittir vapores.

O ponto de volatilisação não é o mesmo para todas as substancias volateis; assim o mercurio volatilisa acima de -10° , o acido sulphurico só emittie vapores de 30° para cima, e o

gêlo produ-l-os a partir de -15° . Alem d'isso a evaporação dos liquidos volateis effectua-se em todas as temperaturas a partir do ponto de volatilisação, ao passo que a ebullicão dos mesmos, sob uma determinada pressão, só se verifica a uma temperatura fixa e invariavel.

443. *Formação dos vapores; suas leis.*—Os vapores produzem-se todas as vezes que se eleva a temperatura dos liquidos acima dos respectivos pontos de volatilisação.

As leis da formação dos vapores, independentemente do modo como esta se opera, são as seguintes:

1.^a *Os vapores têm, como os gases, força elastica e a intensidade d'esta força augmenta com a temperatura.*

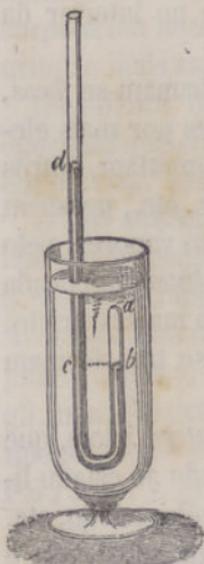
2.^a *Os vapores têm em cada temperatura, uma força de tensão que se lhes não póde fazer ultrapassar, e por cujo motivo se chama tensão maxima.*

3.^a *No vacuo os vapores produzem-se instantaneamente.*

4.^a *Os vapores de diferentes liquidos na mesma temperatura têm tensões diversas.*

5.^a *O volume do vapor formado é sempre maior que o do liquido que o produziu.*

6.^a *Os vapores produzem-se igualmente no vacuo e n'uma atmosphera de qualquer gaz; e a sua tensão maxima n'um dado espaço cheio d'este é igual á que adquiririam no mesmo espaço vasio e submettido á mesma temperatura.*



(Fig. 263)

(a) Para provar a primeira lei toma-se um tubo recurvado *abcd* (fig. 263), enche-se de mercurio, e em seguida introduz-se-lhe uma pequena porção de ether no ramo fechado. Mergulhando o tubo assim preparado n'um banho de agua quente ver-se-ha o mercurio descer lentamente no ramo menor até o ponto *b* por exemplo: este phenomeno é devido ao vapor de ether que se formou pela acção do calor do banho, e que enchendo a capacidade *ab* equilibra por sua força elastica com o peso da columna de mercurio *cd*, adicionado

da pressão atmospherica. Deixando em seguida resfriar a agua do vaso ou tirando o tubo do banho, o vapor que enchia a capacidade *ab* principia a desaparecer pouco a pouco, e ao mesmo tempo a reaparecer o ether liquido, e se, pelo contrario, se augmenta a temperatura do banho, a columna de mercurio no ramo fechado descera abaixo do ponto *b*. Estes resultados mostram pois, que o vapor de ether tem tensão e que esta augmenta com a temperatura. E o que dizemos do vapor de ether applica-se igualmente aos vapores de todos os liquidos volateis, como era facil de provar de um modo analogo.

(*b*) Para demonstrar a segunda lei emprega-se um barometro *A*, contendo na camara barometrica vapor de ether ou de outro qualquer liquido volatil, e mergulhado n'uma capsula alongada contendo mercurio *BC* (fig. 264). Mergulhando o barometro cada vez mais, a fim de reduzir o vapor que elle contém a menor volume, nota-se que a columna de mercurio não varia de altura, como succedia com os gazes, e que o estrato de ether liquido sobreposto á columna de mercurio augmenta de espessura, isto é, o vapor, em vez de augmentar em força elastica pela diminuição de volume, volta ou passa ao estado liquido. Este limite de resistencia que os vapores oppõem a ser liquefeitos, que varia com a temperatura e que n'uma determinada temperatura é independente da pressão, constitue a sua *tensão maxima*. Esta experiencia prova tambem que á mesma temperatura, n'uma capacidade ou espaço dado, ha um limite para a quantidade de vapor que n'elle póde existir. Isto exprime-se dizendo que o espaço está *saturado*, e que o vapor está tambem *saturado* ou á *saturação*. Estes phenomenos verificam-se sempre que no espaço dado existir uma porção, por muito pequena que seja, do liquido que gera o vapor.



(Fig. 264)

Levantando agora o tubo do barometro de um modo progressivo, observa-se: que o estrato de ether liquido principia a diminuir successivamente de espessura, por se transformar em vapor, e que enquanto esta transformação se opera, a altura de columna de mercurio se conserva constante. Se desde o momento porém em que o ether liquido tiver desapparecido, isto é, desde que o espaço deixar de estar saturado, se continuar a levantar o tubo, a columna de mercurio principia a subir cada vez mais. A força elastica do vapor diminue por conseguinte com o augmento do espaço que lhe é offerecido por não estar á saturação. Os vapores em taes circumstancias dizem-se *vapores não saturados ou dilatados*, seguem a lei de Mariotte e dilatam-se como os gazes.

(c) Na experiencia que demonstra a primeira lei o vapor forma-se lentamente e o mesmo succede quando um liquido volatil se acha ao ar livre, porque a pressão atmospherica se oppõe á vaporação; mas quando os liquidos volateis se acham



(Fig. 265)

no vacuo, os vapores formam-se instantaneamente, porque nenhum obstaculo se oppõe á sua formação. De feito, mergulhando n'uma capsula (fig. 265) quatro tubos barometricos *A, B, C* e *D* cheios de mercurio e dispostos symmetricamente ao lado de uma régua graduada *R*, reservando o tubo *A* para servir de norma, e introduzindo uma pequena porção de agua no tubo *B*, uma igual porção de alcool no tubo *C* e a mesma quantidade de ether no tubo *D*, notar-se-ha que cada um dos liquidos atravessa a columna de mercurio, e que no momento em que cada um d'elles penetra no vacuo barometrico o nivel da columna de mercurio desce no interior dos tubos respectivos até uma altura indicada pela régua *R*. Ora como se não pôde admittir que as depressões das columnas de mercurio sejam devidas aos pesos dos liquidos introduzidos nos tubos, porque estes pesos são pequenissimas fracções dos pesos das columnas de mercurio deslocadas, segue-se que houve uma producção instan-

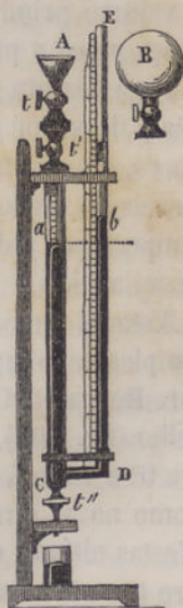
tanea de vapor, que pela sua força elastica deprime as columnas de mercurio. Os tubos barometricos assim preparados *B*, *C* e *D* dizem-se barometros de vapor de agua, de vapor de alcool e de vapor de ether.

(*d*) A experiencia descripta mostra tambem que a depressão da columna de mercurio é minima no barometro de vapor d'agua, e maxima no de vapor d'ether, d'onde se deduz que na mesma temperatura o vapor d'alcool tem maior tensão do que o vapor d'agua, e que o vapor d'ether tem maior tensão do que os vapores d'estes dois liquidos. Assim na temperatura de 20°, a depressão produzida pelo vapor d'ether, é de 0^m,400, a do vapor d'alcool de 0^m,060, e a que se verifica no barometro de vapor d'agua apenas de 0^m,017. Ficam portanto assim plenamente demonstradas as 3.^a e 4.^a leis da formação dos vapores.

(*e*) Emquanto á 5.^a lei, é uma consequencia da mudança d'estado dos liquidos, poisque os corpos no estado aeriforme tendo as moleculas consideravelmente distanciadas umas das outras, occupam necessariamente muito maior volume do que os liquidos de que provêem.

(*f*) Pelo que respeita á ultima lei, a primeira parte pôde tornar-se evidente, submettendo um liquido volatil a uma temperatura superior á do seu ponto de volatilisação n'um espaço limitado contendo um gaz qualquer, porque n'estas circumstancias se opera uma producção de vapor lenta, até que este adquira, como no vacuo, uma tensão maxima, isto é, até que o gaz esteja saturado de vapor.

A segunda parte d'esta lei conhecida tambem pelo nome de *lei da mistura dos gazes e dos vapores*, demonstra-se com um aparelho devido a Gay Lussac (fig. 266) e que se compõe essencialmente de dois tubos verticaes communicando pela parte inferior: um *A C* de maior diametro é munido de tres torneiras, *t*, *t'* e *t''* e termina por



(Fig. 266)

uma capacidade alargada em fórma de funil A com a construcção propria para se poder separar da parte restante, e ao outro DE está adaptada lateralmente uma régua graduada. O tubo AC enche-se de mercurio por meio do funil A , até á torneira t' . Enche-se em seguida o balão B de gaz bem secco, atarracha-se em logar do funil, e abrem-se as torneiras do aparelho e a do balão; o mercurio sae pela torneira t'' , e o gaz penetra no tubo pela torneira t' . O nivel do mercurio no tubo AC fica inferior ao do tubo DE : esta differença dos niveis do mercurio addicionada á pressão atmospherica representa a força elastica do gaz empregado contido no tubo. Substitue-se então o balão pelo funil, e introduz-se gota a gota um liquido volatil no tubo; o vapor produzido pelo liquido deprime o nivel do mercurio no tubo AC até a , em consequencia do que este liquido sobe no tubo DE até uma altura b .

Quando o gaz está saturado de vapor, faz-se pela addição de mercurio no tubo DE com que a mistura gazosa adquira o volume primitivo do gaz, e n'estas circumstancias a differença entre a pressão primitiva do gaz, e a que agora supporta a mistura gazosa representa evidentemente a força elastica f do vapor que satura o gaz na temperatura em que se opera, e se com uma porção igual do liquido se faz a experiencia no vacuo barometrico, reconhecer-se-ha que n'aquella temperatura a depressão do nivel do mercurio será f , o que prova a lei.

Esta lei, que assim fica demonstrada, não é verdadeira mas simplesmente approximada, como se infere dos trabalhos de mr. Regnault. Com effeito este physico empregando o aparelho (fig. 269), que adiante descreveremos, determinou entre 0° e 40° a força elastica do vapor de agua no vacuo, assim como no ar e n'uma atmospherica de azote e reconheceu que n'estas ultimas circumstancias as tensões do vapor eram sempre um pouco menores do que o indicado pela lei.

Consignando pois aqui estas observações, consideraremos comtudo a lei, como sensivelmente exacta, e n'esta hypothese podemos deduzir d'ella os seguintes corollarios: 1.º, *n'uma dada temperatura a quantidade de vapor que satura um espa-*

ço cheio de gaz é igual á que satura o mesmo espaço completamente vazio; 2.º, a tensão da mistura dos dois fluidos elasticos é igual á somma das forças elasticas do vapor e do gaz.

444. *Equilibrio de tensão entre o vapor contido em espaços de desigual temperatura.*—No numero anterior dissemos que a tensão maxima dos vapores cresce com a temperatura, e das experiencias que citámos concluímos que esta tensão é independente do volume occupado pelo vapor, comtantoque exista um pequeno estrato do liquido producto d'este acima do nivel de mercurio, d'onde se infere que a quantidade de vapor necessaria para saturar um espaço dado, augmenta com a temperatura e é proporcional ao volume, devendo pois diminuir, ou, o que é o mesmo, liquefazer-se em parte, pelo decrescimento do volume ou pelo abaixamento da temperatura. Não é porém preciso, para operar a condensação parcial de um vapor, diminuir a temperatura em todos os pontos do espaço em que este existe, basta apenas resfriá-lo em parte, ou fazel-o communicar com um espaço mais frio. Com effeito consideremos dois vasos, que designámos por V e V' , communicando por meio de um tubo munido de torneira, e contendo o mesmo liquido mantido em temperaturas differentes. Supponhamos, por exemplo, que este liquido é a agua, e que a do vaso V é constantemente mantida na temperatura de 30° e a do vaso V' na temperatura de 40° , e que no principio da experiencia a communicação dos dois vasos está interrompida.

No momento em que se estabelecer a communicação dos dois vasos não poderá haver equilibrio entre os vapores n'elles contidos, e uma porção de vapor do vaso V precipitando-se no vaso V' , em virtude do seu excesso de tensão, condensar-se-ha no mesmo instante, porque este vaso está saturado de vapor na temperatura de 40° .

O vaso V emittirá novas porções de vapor, que irão como as precedentes condensar-se no vaso V' , e este phenomeno se repetirá emquanto não houver equilibrio de tensão entre os vapores contidos nos dois vasos, e quando isto se verificar, a tensão do vapor em todos os pontos do espaço total será correspondente á temperatura do vaso mais frio.

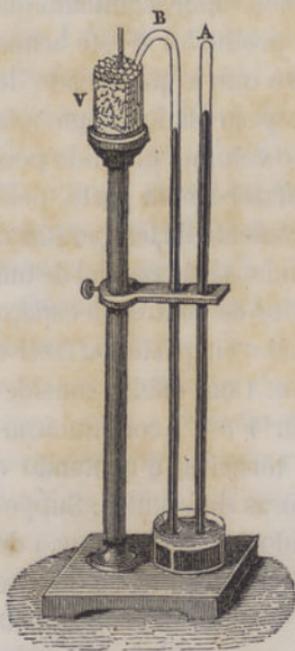
O vaso V' nas circumstancias suppostas tende a aquecer-se a expensas do calor emitto pelo vapor condensado, e aquecer-se-ha effectivamente, se não for mantido a uma temperatura constante, e quando o equilibrio se estabelecer, a tensão do vapor será superior á que tinha no começo da experiencia.

Esta propriedade dos vapores, conhecida geralmente pelo nome de *propriedade das paredes frias*, tem, como veremos,

uma importante applicação nas machinas de vapor com condensador.

445. *Medida das tensões do vapor de agua em temperaturas diversas.*—Para diversos fins e sobretudo em meteorologia e no emprego do vapor de agua como força motora nas machinas de vapor, é necessario conhecer a força elastica ou tensão maxima d'aquelle vapor, desde as temperaturas mais baixas até ás temperaturas elevadas a que póde ser submettido.

Vamos em seguida descrever os processos empregados para determinar as tensões do vapor de agua entre diferentes limites de temperatura.



(Fig. 267)

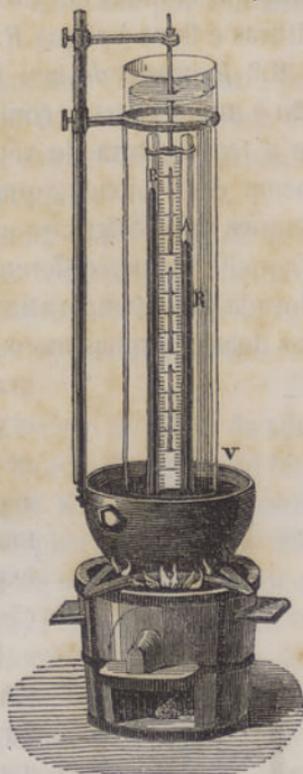
(A) *Tensões em temperaturas inferiores a 0° .*—Para medir a força elastica maxima do vapor de agua em temperaturas inferiores a 0° , empregam-se dois barometros (fig. 267) mergulhados na mesma capsula, um verdadeiro A, e outro de vapor de agua B, cuja camara curva mergulha n'um vaso V em que existe uma mistura frigorifica; a temperatura d'esta é dada por um thermometro. Depois de estabelecido o equilibrio de tensão (n.º 444) entre o vapor contido na camara do barometro, a força elastica do vapor obtem-se pela differença dos niveis das columnas de mercurio, depois de feitas as devidas correções relativas á temperatura e á capillaridade. Este processo deve-se a Gay

Lussac, e por meio d'elle reconheceu este physico que o gèlo produz vapor, cuja tensão é igual á do produzido pela agua na mesma temperatura.

Mr. Regnault modificou ligeiramente este processo empregando como mistura frigorifica a que resulta da addição progressiva de fragmentos de gèlo a uma dissolução concentrada de chlorureto de calcio crystallizado. Esta mistura tem a vantagem de ser fluida, podendo portanto ser facilmente agitada, e tornar-se estacionaria em quanto dura a observação, ajuntando-lhe pequenos fragmentos de gelo (433).

(B) *Tensões em temperaturas desde 0° até 100°*.—Para medir as tensões do vapor de agua entre 0° e 100°, podemos empregar dois processos:

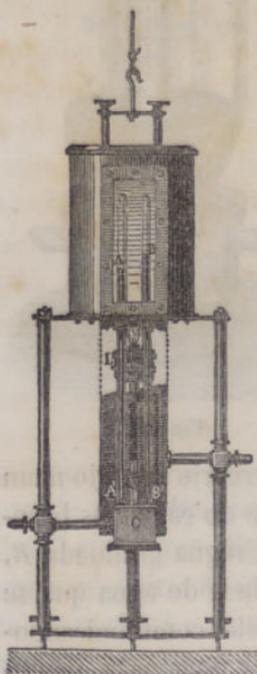
1.º *Processo de Dalton*.—Para medir, entre as temperaturas indicadas, as tensões do vapor de agua, por meio d'este processo, empregam-se dois barometros, um verdadeiro *B* e outro de vapor de agua *A* (fig. 268), invertidos sobre o mercurio contido n'um vaso de ferro *V*, que se submete á acção do calor. Os barometros assim preparados e fixos a uma régua graduada *R*, são cercados de uma manga de vidro cheia de agua que se aquece gradualmente. A temperatura d'esta, communicando-se á agua do barometro *A*, faz desenvolver uma certa quantidade de vapor, que por sua força elastica deprime a columna de mercurio no barometro *A*, e tanto mais quanto mais elevada é a temperatura, chegando o nivel do mercurio no barometro a coincidir com o nivel do mesmo liquido na capsula, quando a temperatura for 100°.



(Fig. 268)

A differença dos niveis do mercurio nos dois barometros, dada pela régua *R*, reduzida a 0° e correcta dos efeitos capillares, dá pois a medida de força elastica do vapor de agua em diversas temperaturas, que são as medias das temperaturas observadas em thermometros dispostos em diferentes alturas e fixos á régua *R*.

2.º *Processo de mr. Regnault.*—O processo antecedente não é muito exacto; com effeito na sua applicação considerase a temperatura do vapor como uma quantidade perfeitamente determinada, quando o não é, e isto porque existe sempre uma differença entre a temperatura que se mede e a d'aquelle vapor, differença que é tanto maior quanto mais elevada for a temperatura. Alem d'isto a differença da altura das duas columnas mercuriaes é dada por meio de uma régua graduada, o que é uma nova causa de erro. De feito, o rigor do methodo exige o emprego do cathetometro; mas ainda assim empregando este instrumento, a espessura do vidro da manga, exporia a erros provenientes da refração irregular da luz através d'elle.



(Fig. 269)

Para obviar pois aos erros que provinham da applicação d'este processo, mr. Regnault restringiu este, empregando-o sómente entre 0° e 50°; alem d'isso substituiu a manga de vidro por uma caixa de zinco (fig. 269) n'uma das paredes da qual está disposta uma lamina de vidro perfeitamente trabalhada, permitindo por este modo a observação por meio do cathetometro através d'ella.

A caixa contém agua e envolve as partes superiores de dois barometros *A A'* e *B B'*, invertidos sobre o mercurio contido na capsula *C*; o barometro *B B'* é normal, e o outro *A A'* contém uma pequena porção de agua distillada e purgada de ar.

Para operar por meio d'este processo, aquece-se a agua da caixa por meio de uma lampada d'alcool *L*, e abaixando ou levantando esta, e por meio d'um agitador, que atravessa a parede superior da caixa, póde manter-se a agua que a enche n'uma temperatura constante, que é indicada por um thermometro no acto da observação.

A differença das alturas das columnas de mercurio nos dois barometros é medida por meio do cathetometro e depois correcta dos effeitos da temperatura e da capillaridade; esta differença mede a tensão procurada.

Deve ter-se em attenção a pequena quantidade de agua que está sobreposta á columna de mercurio no barometro de vapor, não só porque este liquido prime o mercurio, mas ainda porque faz variar o effeito de capillaridade sobre este metal.

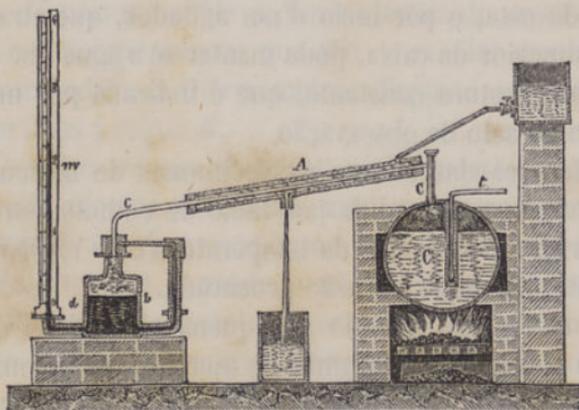
Quando se pretende determinar a tensão do vapor de agua á temperatura ambiente, elimina-se a caixa de zinco; tal foi o meio já anteriormente empregado por Kaemtz, na determinação das tensões do vapor de atmosphaera entre 19° e 26°. E quando a temperatura é inferior á do ambiente introduz-se na caixa qualquer mistura frigorifica. Para as tensões do vapor de agua em temperaturas superiores a 50°, emprega-se o processo do mesmo physico, que adiante será descripto na determinação das tensões de 100° para cima.

(*C*) *Tensões em temperaturas superiores a 100°*.—Para determinar as tensões do vapor de agua de 100° para cima, têm-se proposto dois processos, um devido a Dulong e Arago, e o outro de mr. Regnault.

1.º *Processo de Dulong e Arago*—O aparelho empregado em 1830 por estes physicos na determinação das tensões máximas do vapor de agua em temperaturas elevadas está representado em córte na fig. 270.

Compõe-se de uma caldeira de ferro ou de cobre *C*, de paredes resistentes, productora de vapor de agua e da qual parte um tubo *c*, communicando por meio de um outro *A* convenientemente refrigerado com uma capsula de ferro *d b* contendo mercurio.

As temperaturas da agua e do vapor são dadas por meio de dois thermometros contidos em capacidades tubulares de



(Fig. 270)

ferro cheias de mercurio e perfeitamente soldadas á caldeira, um dos quaes se acha representado em *t*. E as tensões são indicadas por um manometro de ar comprimido *m*, previamente graduado e em communição com a capsula *d b*. Um tubo lateral de vidro communicando com as partes superior e inferior d'esta capsula indica o nivel de mercurio no interior d'ella.

A caldeira, que deve ser munida de uma valvula de segurança, é aquecida n'um forno de que se fecham as communições com o exterior na occasião da observação; o thermometro e o manometro indicam então um maximo que se determina. Esta determinação deve ser rapida, porque este maximo varia de um momento para o outro, e alem d'isso pelo que respeita ao thermometro, póde este instrumento indicar o maximo quando a temperatura já tiver baixado no interior da caldeira.

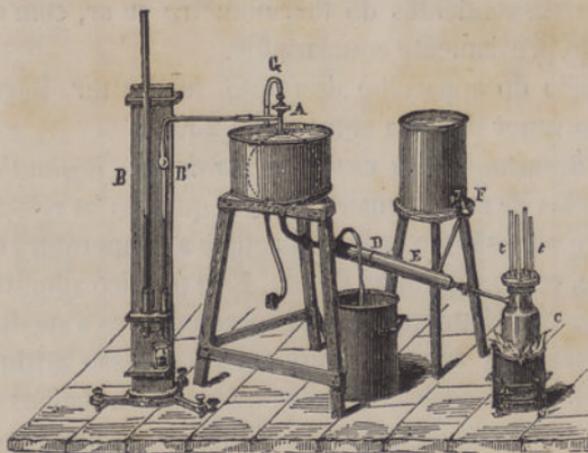
É este um dos inconvenientes do processo. Alem d'este porém ha outros, como os que resultam do emprego do thermometro de mercurio e do manometro de ar comprimido nas determinações da temperatura e da pressão, poisque a sensibilidade do manometro de ar comprimido diminue com o augmento de pressão, e os thermometros de mercurio não são comparaveis entre si em temperaturas elevadas.

2.^o *Processo de mr. Regnault.*—O processo empregado

por mr. Regnault, cuja idéa é devida a Dalton, funda-se *na igualdade que, como já vimos, existe entre a tensão maxima do vapor d'agua na temperatura da ebullição e a pressão atmospherica.*

O processo resume-se pois em produzir a ebullição da agua sob pressões conhecidas e em determinar as temperaturas em que ella se verifica.

O aparelho empregado é constituido por uma caldeira de cobre *C* (fig. 271), em que a agua se sujeita á acção do calor,



(Fig. 271)

communicando por meio de um tubo com um balão de cobre imergido em agua existente no vaso *A*; este balão pôde pôr-se directamente em communicacão com um barometro differencial *BB'*, ou por meio de um tubo *G*, e alternadamente, com uma machina pneumatica ou de compressão.

A caldeira *C* é atravessada superiormente por quatro tubos fechados inferiormente *t, t*, contendo oleo, em que mergulham outros tantos thermometros que fazem conhecer a temperatura do vapor em differentes alturas; e o tubo de communicacão com o balão é envolvido por um outro, *DE*, em que circula constantemente uma corrente de agua fria, proveniente do vaso *F*.

Para pôr em pratica este processo, estabelece-se no aparelho uma dada pressão maior ou menor do que a ordinaria, segundo se quer, a qual é indicada pelo barometro differen-

cial, e a esta pressão corresponde uma temperatura constante dos thermometros introduzidos na caldeira *c*. Por este meio, fazendo variar a pressão interior, e segundo o principio já citado, obtêm-se as tensões correspondentes a temperaturas diversas e perfeitamente determinadas. Este processo tem sobre todos os outros a vantagem de ser muito simples e geral. Alem d'isto tem, sobre o de Dulong e Arago, a vantagem da determinação das tensões não depender da lei de Mariotte, e das temperaturas, dadas pelos thermometros, serem reduzidas ás correspondentes do thermometro de ar, com que tenham sido previamente comparados.

Por meio do apparelho descripto, mediu mr. Regnault a tensão do vapor de agua entre 30° e 230°.

446. *Resultados das experiencias de mr. Regnault.*—As experiencias de mr. Regnault provam que não ha relação simples entre a tensão do vapor de agua e a temperatura correspondente, como suppunha Dalton. Este physico admittiu que: as tensões cresciam em progressão geometrica á medida que as temperaturas augmentavam em progressão arithmetica, lei que só é verdadeira, como se infere dos trabalhos de mr. Regnault, entre limites de temperatura muito proximos.

Mr. Regnault recorreu ainda ao methodo graphico para representar a lei do phenomeno, e construiu uma curva em que as abscissas representavam as temperaturas e as ordenadas as pressões. Por meio d'esta curva póde determinar-se a tensão do vapor correspondente a uma dada temperatura.

Tem-se querido exprimir a equação da curva por differentes formulas empiricas. A que parece mais exacta é a seguinte, devida a Biot

$$\log. F = a + b \alpha^x + c \beta^x;$$

na qual *x* designa a temperatura e *F* a tensão do vapor. Mr. Regnault empregou esta formula suppondo $x = t + 20$.

Os valores de *a*, *b*, *c*, α e β determinam-se fazendo cinco observações, d'onde resultam cinco equações, de que se tiram os valores d'aquellas quantidades.

Em seguida apresentâmos, os resultados obtidos por mr. Regnault pelo processo descripto no numero anterior para

diferentes temperaturas, e os deduzidos pelo methodo graphico para as temperaturas intermedias.

TABELLA N.º 1

Forças elasticas ou tensões do vapor de agua de -32º a 99º, segundo mr. Regnault.

Tempe- ratura	Força elastica em millimetros						
-32º	0,310	1º	4,940	34º	39,565	67º	204,376
-31	0,336	2	5,302	35	41,827	68	213,596
-30	0,365	3	5,687	36	44,201	69	223,165
-29	0,397	4	6,097	37	46,691	70	233,093
-28	0,431	5	6,534	38	49,302	71	243,393
-27	0,468	6	6,998	39	52,039	72	254,073
-26	0,509	7	7,492	40	54,906	73	265,147
-25	0,553	8	8,017	41	57,910	74	276,624
-24	0,602	9	8,574	42	61,055	75	288,517
-23	0,654	10	9,165	43	64,346	76	300,838
-22	0,711	11	9,792	44	67,790	77	313,600
-21	0,774	12	10,457	45	71,391	78	326,811
-20	0,841	13	11,162	46	75,158	79	340,488
-19	0,916	14	11,908	47	79,093	80	354,643
-18	0,996	15	12,699	48	83,204	81	369,287
-17	1,084	16	13,536	49	87,499	82	384,435
-16	1,179	17	14,421	50	91,982	83	400,101
-15	1,284	18	15,357	51	96,661	84	416,298
-14	1,398	19	16,346	52	101,543	85	433,041
-13	1,521	20	17,391	53	106,636	86	450,344
-12	1,656	21	18,495	54	111,945	87	468,221
-11	1,803	22	19,659	55	117,478	88	486,687
-10	1,963	23	20,888	56	123,244	89	505,759
-9	2,137	24	22,184	57	129,251	90	525,450
-8	2,327	25	23,550	58	135,505	91	545,778
-7	2,533	26	24,988	59	142,015	92	566,757
-6	2,758	27	26,505	60	148,791	93	588,406
-5	3,004	28	28,101	61	155,839	94	610,740
-4	3,271	29	29,782	62	163,170	95	633,778
-3	3,553	30	31,548	63	170,791	96	657,535
-2	3,879	31	33,406	64	178,714	97	682,029
-1	4,224	32	35,359	65	186,945	98	707,280
0	4,600	33	37,411	66	195,496	99	733,305

TABELLA N.º 2

Tensões em atmosferas de 100° a 230°, segundo mr. Regnault

Temperaturas	Tensões em atmosferas						
100,0	1	170,8	8	198,8	15	217,9	22
120,6	2	175,8	9	201,9	16	220,3	23
133,9	3	180,3	10	204,9	17	222,5	24
144,0	4	184,5	11	207,7	18	224,7	25
152,2	5	188,4	12	210,4	19	228,9	27
159,2	6	192,1	13	213,6	20	230,9	28
165,3	7	195,5	14	215,5	21		

Mr. Regnault determinou também os valores das tensões do vapor de agua de decimo em decimo de grau, entre 85° e 101°, e formou com elles uma tabella, que pôde servir para dar a temperatura de ebulição da agua em pressões proximas de 760^{mm}. Essa tabella, de que damos em seguida uma pequena parte, serve para a determinação rigorosa do ponto fixo superior no thermometro de precisão (376), e para avaliar alturas por meio do thermometro hypsometrico, que adiante será descripto.

TABELLA N.º 3

Força elastica do vapor de agua entre 96° e 101°, segundo mr. Regnault

Temperatura	Força elastica em millimetros						
96,0	657,54	97,3	689,53	98,6	722,75	99,9	757,28
96,1	659,95	97,4	692,04	98,7	725,35	100,0	760,00
96,2	662,37	97,5	694,56	98,8	727,96	100,1	762,73
96,3	664,80	97,6	697,08	98,9	730,58	100,2	765,46
96,4	667,24	97,7	699,61	99,0	733,21	100,3	768,20
96,5	669,69	97,8	702,15	99,1	735,85	100,4	771,95
96,6	672,14	97,9	704,70	99,2	738,50	100,5	773,71
96,7	674,60	98,0	707,26	99,3	741,16	100,6	776,48
96,8	677,07	98,1	709,82	99,4	743,83	100,7	779,26
96,9	679,55	98,2	712,39	99,5	746,50	100,8	782,04
97,0	682,03	98,3	714,97	99,6	749,18	100,9	784,83
97,1	684,52	98,4	717,56	99,7	751,87	101,0	787,63
97,2	687,02	98,5	720,15	99,8	754,57		

447. *Lei geral da ebullicão; lei empirica de Dalton; tensão dos vapores de diversos liquidos.*—No caso da ebullicão de um liquido qualquer, mantido sob uma dada pressão, ha duas forças oppostas: a expansão do vapor e a compressão do gaz exterior. Emquanto esta é superior áquella o liquido não ferve, mas crescendo a tensão do vapor com o augmento da temperatura, ha um instante em que as duas forças se iguallam. E, se a partir d'este instante, o liquido se aquece ainda, o vapor, adquirindo uma tensão predominante, desenvolve-se tumultuosamente no seio do liquido. Assim no phenomeno de ebullicão a *força elastica do vapor desenvolvido é igual á pressão que é exercida sobre elle.*

Dalton, fundando-se n'este principio, estabeleceu a seguinte lei:

Os vapores de differentes liquidos têm iguaes tensões, quando os liquidos se acham em temperaturas que se afastam o mesmo numero de graus dos respectivos pontos de ebullicão.

Assim, conhecendo os pontos de ebullicão dos diversos liquidos, bastaria recorrer ás tabellas das tensões do vapor de agua para determinar as tensões dos vapores dos mesmos liquidos em qualquer temperatura. Por exemplo: o ponto de ebullicão do alcool sendo 79°, a tensão do vapor d'este liquido a 59°, isto é, 20° abaixo do ponto de ebullicão, será igual á do vapor de agua a 80°, ou a 355^{mm} de mercurio proximamente.

Esta lei porém é apenas approximada, como o proprio Dalton reconheceu, sendo-o todavia tanto mais quanto mais proximas são as temperaturas dos pontos de ebullicão dos liquidos. Mr. Despretz chegou á mesma conclusão, em resultado das suas experiencias sobre as tensões dos vapores de agua, alcool, ether e essencia de terebinthina. Emfim mr. Regnault, empregando os mesmos processos de que se serviu na determinação da tensão do vapor de agua, mediu as tensões dos vapores de alguns liquidos, e dos resultados d'estas experiencias se conclue ainda a inexactidão da lei estabelecida por Dalton.

Em seguida apresentámos alguns d'estes resultados na seguinte

Tabella das tensões dos vapores de alguns liquidos

Temperaturas	Tensões em millimetros dos vapores de					
	Ammoniac	Acido sulphuroso	Ether	Sulphureto de carbonio	Alcool	Mercurio
-30°	441	—	—	—	—	—
-20°	4373	479	9	43	—	—
0°	7709	1165	182	132	13	0,02
50°	—	—	—	—	220	0,11
60°	—	8124	1728	1164	—	—
100°	—	—	4920	3329	1685	0,74

448. *Densidade dos vapores.*—A densidade de qualquer vapor é, como a dos gazes (422), expressa pela relação que existe entre os pesos de um dado volume de vapor e o de igual volume de ar, em circumstancias identicas de temperatura e de pressão.

As densidades dos vapores não se podem porem determinar pelos methodos empregados para obter as dos gazes, porque os vapores passam em parte ao estado liquido pelo contacto com as paredes do balão em que se faz a pesagem; e esta daria portanto, alem do peso do vapor existente no balão, o peso do vapor liquefeito.

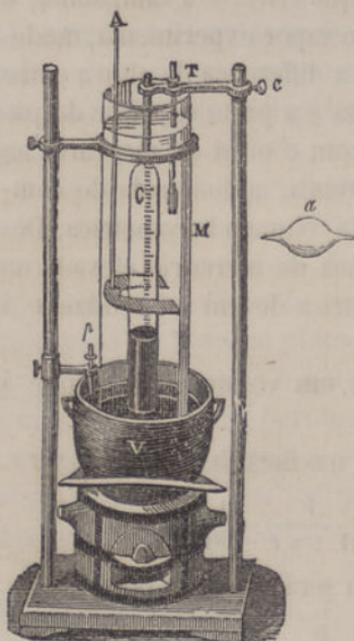
São dois os processos empregados para determinar as densidades dos vapores; n'um, devido a Gay-Lussac, toma-se um peso conhecido de substancia volatil, que se reduz a vapor, e mede-se cuidadosamente o seu volume em uma temperatura e sob uma pressão conhecidas; no outro, inventado por mr. Dumas, mede-se directamente o peso de um dado volume de vapor em condições determinadas de pressão e de temperatura.

Por ambos os processos se conhece pois o peso de um dado volume de vapor em circumstancias determinadas de temperatura e de pressão, e dividindo este peso pelo peso de um igual volume de ar, nas mesmas condições, obtem-se a densidade procurada.

Deve advertir-se que na determinação das densidades dos vapores das substancias volateis, se devem aquecer estas um certo numero de graus acima do seu ponto de ebullicão, a fim de que os vapores, não sendo influenciados pela tendencia a retomar o seu primitivo estado, sigam a lei de Mariotte e apresentem uma densidade sensivelmente constante. Para algumas substancias, como o alcool, por exemplo, basta elevar a temperatura um pequeno numero de graus acima do seu ponto de ebullicão; assim este liquido fervendo a 79° , a sua densidade é sensivelmente constante a partir de 110° . Para outras porém é preciso elevar a temperatura de um grande numero de graus acima da temperatura da ebullicão, como acontece com o acido acetico, que fervendo a 120° só apresenta a densidade constante alem de 240° .

449. *Processo de Gay-Lussac*— Já vimos summariamente

em que consistia este processo e descrevel-o-hemos agora com mais particularidade. O vaso em que se faz desenvolver o vapor é uma campanula de vidro *C* (fig. 272), graduada em centimetros cubicos e com a capacidade de um litro, proximamente. Enche-se esta de mercurio bem secco e inverte-se n'uma caldeira ou vaso de ferro *V*, contendo o mesmo liquido, até certa altura, e em seguida introduz-se na campanula o liquido que deve produzir o vapor.



(Fig. 272)

Para este fim emprega-se uma pequena ampoula de vidro *a* de paredes delicadas, e de extremidades afiladas em tubo capilar, uma das quaes é primitivamente aberta para a introdução do liquido volatil, a qual se effectua por um modo analogo á do alcool no thermometro d'este liquido. O excesso de peso da ampoula assim cheia so-

bre o da ampoula vasia representa o peso do liquido que a enche, que designaremos por P .

Obtido este resultado, introduz-se a ampoula na campanula pela parte inferior. Para transformar o liquido em vapor, cerca-se a campanula com uma manga de vidro M , que se enche de agua, se a experiencia se faz a uma temperatura inferior a 100° , ou de qualquer oleo fixo se se faz em uma temperatura mais elevada. Applicando então um foco calorifico á caldeira para aquecer o mercurio, bem como o liquido da manga, a pequena ampoula de vidro rebenta pela dilatação do liquido que contém, e o vapor proveniente da vaporação d'este liquido deprime por sua força elastica o mercurio da campanula.

O volume V do vapor é dado pela campanula. A temperatura t d'este vapor, a qual se torna constante no acto da observação por meio de um agitador A , é dada por um thermometro T , mergulhado no liquido que envolve a campanula; e para determinar a pressão A que o vapor experimenta, mede-se por meio de um cathetometro a differença de altura entre o nivel do mercurio na campanula e a parte superior do parafuso p , cuja ponta deve rasar com o nivel de mercurio na caldeira; e subtrahese esta differença, addicionada do comprimento do parafuso, da altura da columna barometrica. Deve advertir-se que tanto a columna de mercurio elevada na campanula como a altura barometrica devem ser reduzidas á temperatura zero.

Conhece-se pois o peso P de um volume V de vapor á temperatura t e sob a pressão A .

O peso de um igual volume de ar nas mesmas condições será :

$$P' = 0^{\text{gr}},001293 \cdot \frac{V}{4 + \alpha t} \cdot \frac{A}{760},$$

e portanto a densidade procurada será expressa por :

$$d = \frac{P}{P'} = \frac{P}{0^{\text{gr}},001293 \cdot \frac{V}{4 + \alpha t} \cdot \frac{A}{760}}$$

O processo que acabámos de descrever não é tão geral como era para desejar, porque, alem de não poder ser applicado aos vapores das substancias solidas, pelo que respeita ás

substancias liquidas é só applicavel até 150°. Com effeito os oleos que em taes circumstancias se empregam têm uma capacidade calorifica menor que a da agua, rasão por que se resfriam rapidamente em contacto com o ar, de modo que para obter uma temperatura elevada estacionaria com os oleos é preciso elevar muito a temperatura do mercurio na caldeira, o que occasiona a producção de vapores mercuriaes, que alem de deleterios produzem no interior da campanula um augmento de tensão, apreciavel n'estas circumstancias.

A fim de obviar a estes inconvenientes emprega-se para determinar as densidades dos vapores das substancias solidas, bem como dos liquidos acima de 150°, o processo de mr. Dumas, que vamos descrever em seguida.

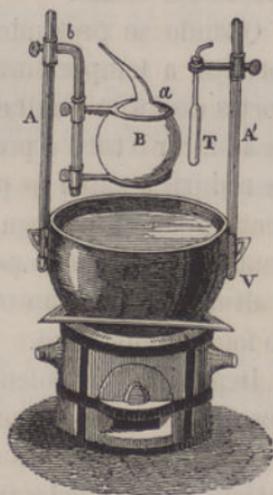
450. *Processo de mr. Dumas.* — O apparelho empregado n'este processo compõe-se de um balão de vidro *B* (fig. 273), de 400 ou 500 centimetros cubicos de capacidade proximamente, e que se continua com um collo alongado *a*, terminado em ponta afilada.

O balão depois de previamente lavado e secco interna e externamente, enche-se de ar bem secco, fecha-se e depois de collocado pelo espaço de um quarto de hora no prato de uma balança, determina-se o seu peso *P*, bem como a altura barometrica *A* na occasião de pesagem e a temperatura *t* dada por um thermometro existente no recinto da balança e collocado junto do balão.

Representando por *V* a capacidade do balão, que depois determinaremos, o peso do ar contido no balão á temperatura *t* e pressão *A* será:

$$p = 0^{\text{gr}},001293 \cdot \frac{V}{1 + \alpha t} \cdot \frac{A}{760};$$

e subtrahindo este peso do peso *P* do balão cheio de ar obteremos o peso do balão vasio *P - p*.



(Fig. 273)

Feito isto abre-se o balão e introduz-se-lhe 10 grammas da substancia, de cujo vapor se pretende determinar a densidade, e colloca-se n'um vaso V contendo um banho, que póde ser de agua, de uma dissolução concentrada de chlorureto de calcio, de qualquer oleo fixo ou de alguma liga metallica, conforme a temperatura em que se faz a observação. Das partes lateraes do vaso V partem duas columnas verticaes A e A' ; a primeira sustenta e fixa o balão por intermedio de dois aneis metallicos e á segunda está fixo um thermometro de ar T .

Aquece-se o banho até a temperatura em que o vapor da substancia empregada apresente uma densidade sensivelmente constante, o que se póde conhecer por uma observação previa, e n'estas circumstancias o ar que estava contido no balão é, em geral, completamente expulso pelos vapores da substancia volatil.

Quando se pretende fazer a determinação da densidade, torna-se a temperatura do banho estacionaria, fechando as portas do forno e agitando o banho constantemente, e depois de aquecer o tubo a por meio de uma lampada de alcool, a fim de reduzir a vapor as pequenas porções de liquido, que porventura ahi se possam ter condensado, determina-se a temperatura t' do banho por meio do thermometro T , bem como a altura barometrica A' , e fecha-se a extremidade do tubo ao fogo do maçarico.

Depois de convenientemente limpo e secco determina-se o peso P' do balão, e como de ordinario as condições são sensivelmente as mesmas que durante a primeira phase da operação, póde considerar-se a determinação do peso P' como feita á temperatura t e sob a pressão A .

O peso da substancia volatil ou o do vapor contido no balão, é pois, $P' - (P - p)$ ou $P' - P + p$.

Resta-nos agora determinar a capacidade V do balão.

Para isto introduz-se a ponta do balão n'um banho de mercurio, quebra-se, e em virtude d'isto o balão enche-se completamente de mercurio, se não houver ar algum no seu interior. Colloca-se depois o balão na posição normal, retira-se a substancia volatil, acaba-se de encher com mercurio, e ver-

tendo este n'uma campanula graduada, determina-se assim a capacidade V do balão á temperatura ordinaria. Á temperatura t' este volume será $V(1+k t')$.

O peso de um egual volume de ar n'esta temperatura e sob a pressão A' é expresso por:

$$0^{gr},001293 \cdot \frac{V(1+k t')}{1+\alpha t'} \cdot \frac{A'}{760},$$

e por consequencia a densidade procurada é:

$$d = \frac{P'-P+p}{0^{gr},001293 \cdot \frac{V(1+k t')}{1+\alpha t'} \cdot \frac{A'}{760}}; \quad 1$$

No caso das substancias sobre que se opera apresentarem impurezas deve ter-se isto em attenção, na determinação da densidade dos vapores; e quando as substancias se alteram em contacto do ar, faz-se a determinação na atmospherá de outro gaz sem acção sobre as substancias.

O processo de mr. Dumas foi modificado por mr. Deville, tornando-o assim applicavel aos vapores das substancias que

¹ Quando o balão não se enche completamente de mercurio e que portanto fica ainda n'elle um residuo de ar, torna-se necessario para que a determinação seja rigorosa, apreciar o volume d'aquelle ar e leval-o em linha de conta.

Determina-se pois o volume v d'este ar, e designando por A'' e t'' a pressão e a temperatura n'esta occasião, o seu peso n'estas circumstancias é expresso por:

$$p' = 0^{gr},001293 \cdot \frac{v}{1+\alpha t''} \cdot \frac{A''}{760}.$$

E subtrahindo este peso do peso $P'-P+p$ obteremos o verdadeiro peso da substancia volatil que existia no balão. Aquelle volume de ar á temperatura t' e sob a pressão A' apresentará o volume seguinte:

$$v' = v \cdot \frac{1+\alpha t'}{1+\alpha t''} \cdot \frac{A'}{A'} \quad (414),$$

e a densidade do vapor é pois expressa pela seguinte relação:

$$d = \frac{P'-P+p-p'}{0^{gr},001293 [V(1+k t) - v'] \cdot \frac{1}{1+\alpha t'} \cdot \frac{A'}{760}}.$$

fervem em temperaturas elevadas. O balão empregado é de porcelana, e a extremidade do seu collo é fechada por meio do maçarico de gaz hydrogenio.

Alem d'isto, para que as temperaturas em que se faz a determinação sejam constantes, introduz-se o balão n'uma atmosfera de vapor de qualquer substancia que entre em ebulição em temperatura elevada, e cujo ponto de ebulição seja perfeitamente conhecido e fixo. As substancias mais empregadas são as seguintes: mercurio, que ferve a 350°; enxofre, que ferve a 440°; cadmio, que entra em ebulição a 860°, e zinco, que entra em ebulição 1040°.

Em seguida apresentámos a

Tabella das densidades e pesos de um litro de diferentes vapores

Nomes dos vapores	Densidades	Peso de um litro a 0° e a 760 ^{mm}	Nomes dos observadores
Agua	0,623	0 ^{gr} ,810	Gay-Lussac
Acido cyanhydrico	0,948	1 ,231	"
Alcool	1,613	2 ,960	"
Chlorureto de ethyle	2,219	2 ,830	Thénard
Ether sulphurico	2,586	3 ,395	Gay-Lussac
Sulphureto de carbonio ...	2,645	3 ,436	"
Arseniureto de hydrogenio..	2,695	3 ,502	Dumas
Chlorureto de boro	2,942	5 ,121	"
Protochlorureto de phosphoro	4,875	6 ,353	"
Essencia de terebinthina ...	5,013	6 ,512	Gay-Lussac
Chlorureto de silicio	5,939	7 ,715	"
Proto chlorureto de arsenico	6,301	8 ,485	Dumas
Enxofre	6,550	8 ,487	"
Perchlorureto de titanio...	6,836	8 ,881	"
Iodo	8,716	11 ,323	"
Perchlorureto de estanho...	9,200	11 ,951	"

451. *Relação entre o volume de um liquido e o do vapor produzido.*—É mui facil determinar a relação que existe entre um dado volume de liquido e o do vapor por elle produzido.

Supponhamos, por exemplo, que se pretende determinar a relação entre o volume de um gramma de agua no maximo

de condensação e o do vapor aquoso que elle produz a 100° , sob a pressão de 760^{mm} .

Um centimetro cubico de ar secco n'estas circumstancias de pressão e de temperatura pesa $\frac{0^{\text{gr}},001293}{1,366} = 0^{\text{gr}},000946$; portanto o peso de um igual volume de vapor aquoso e nas mesmas circumstancias será $0^{\text{gr}},000946 \times 0,623 = 0^{\text{gr}},000590$, e finalmente a relação procurada será $\frac{1^{\text{gr}}}{0^{\text{gr}},00059} = 1695$.

SECÇÃO 3.^a

Evaporação

452. *Evaporação, causas que influem na sua rapidez.*—A evaporação, como dissemos (442), consiste na formação mais ou menos lenta de vapor á superficie dos liquidos em qualquer temperatura e sob qualquer pressão; a evaporação póde pois verificar-se n'uma atmosphaera qualquer ou no vacuo (443). Costuma tambem muitas vezes designar-se por este nome a separação, operada por meio da vaporação, de um liquido volatil dos corpos que contém em dissolução. A rapidez da evaporação depende: *da temperatura, da quantidade de vapor que existe na atmosphaera ambiente, da renovação mais ou menos rapida d'esta atmosphaera, da densidade do gaz que a constitue, e da extensão superficial em que a evaporação se effectua.* Estudemos a influencia de cada uma d'estas causas.

1.^o *Influencia da temperatura*—Os vapores produzidos pela evaporação vencem tanto mais facilmente a pressão da atmosphaera ambiente, quanto maior é a sua tensão. Ora, como esta cresce com a elevação da temperatura, segue-se que o augmento de temperatura accelera a evaporação.

2.^o *Influencia do vapor que existe na atmosphaera ambiente*—Para comprehender a influencia d'esta causa basta notar que a evaporação de um liquido, n'uma atmosphaera saturada do seu vapor, seria nulla, e que n'uma atmosphaera purgada de mesmo vapor seria maxima. Portanto entre estes dois limites extremos a rapidez da evaporação deve va-

riar para menos ou para mais, segundo a atmosphera ambiente estiver mais ou menos carregada do mesmo vapor. Deve-se advertir que a presença de um outro vapor na atmosphera nada influe sobre a evaporação do liquido; assim, por exemplo, o alcool, o ether, etc., emittem vapores com a mesma facilidade no ar humido que no ar secco.

3.º *Influencia da renovação da atmosphera*—Se a atmosphera não se renovar, no fim de algum tempo estará saturada, e se se renovar de instante a instante, a evaporação será a maior possível; por conseguinte a evaporação augmenta com a rapidez da renovação da atmosphera ambiente.

4.º *Influencia da densidade do gaz em que se opera a evaporação*—Como é evidente, a atmosphera em que se desenvolvem os vapores oppõe-se pela sua pressão á formação d'estes, e não a facilita, como antigamente se suppunha; porém esta resistencia varia com o gaz que constitue a atmosphera ambiente. Assim a evaporação é tanto mais rapida quanto mais afastadas estão as moleculas d'este gaz, isto é, quanto menor é a sua densidade. Com effeito a evaporação verifica-se mais rapidamente no hydrogenio do que no ar, e n'este do que no acido carbonico; pela mesma razão é mais rapida no ar dilatado, do que no que o não está, e portanto maior nas montanhas do que ao nivel do mar.

5.º *Influencia da superficie*—Suppondo todas as mais circumstancia invariaveis, é evidente que a quantidade de liquido evaporado n'um tempo dado deve crescer na mesma relação em que cresce a extensão superficial do liquido, isto é, a evaporação augmenta com o augmento de superficie em que a evaporação se verifica.

453. *Leis da evaporação.*—Do que precede resultam as seguintes leis:

A quantidade de liquido que se evapora, durante um intervalo de tempo determinado:

1.º *É proporcional á differença entre as tensões do vapor produzido e do preeistente na atmosphera ambiente;*

2.º *É proporcional á superficie em que se verifica a evaporação;*

3.º É inversamente proporcional á densidade, e por consequencia á pressão do gaz em que a evaporação se opera.

Estas leis, cuja verdade foi demonstrada experimentalmente por Dalton, podem resumir-se na seguinte formula

$$Q = K \cdot S \frac{(F_t - F_t')}{A}$$

na qual Q designa a quantidade de liquido evaporado, K um certo coefficiente que varia com a renovação da atmosphera ambiente, S a superficie da evaporação, F_t e F_t' as forças elasticas, na temperatura t , do vapor produzido e do preexistente na atmosphera e A a pressão do gaz que a constitue. No caso da atmosphera estar purgada de vapor, a quantidade F_t' torna-se zero.

454. A evaporação é uma causa de frio; phenomenos ordinarios devidos á evaporação.—Nos phenomenos da evaporação ha sempre absorpção de calor que se torna *latente*, para os vapores se poderem constituir. É evidente pois, que um liquido quando se evapora, não recebendo calor para o vapor se formar, deve diminuir consideravelmente de temperatura, e o resfriamento produzido será tanto maior quanto mais rapida for a evaporação.

Assim, cercando o reservatorio de um thermometro com um liquido muito volatil, observar-se-ha promptamente um abaixamento da columna de mercurio, devido á evaporação do liquido volatil, e que cessará se a perda de calor que o thermometro experimenta for compensada pela quantidade de calor que emittem os corpos que o cercam.

O abaixamento de temperatura será maior se o thermometro for collocado no vacuo e póde ser levado a ponto de fazer congelar o mercurio. Para este fim envolve-se o reservatorio do thermometro com algodão em rama embebido de anhydrido sulfuroso liquido, e colloca-se debaixo da campanula da machina pneumatica de que se extrahe o ar. A evaporação do anhydrido sulfuroso é tão rapida, e a quantidade de calor subtrahido aos corpos vizinhos tão consideravel, que

no fim de alguns instantes o mercurio congela, a ponto de poder ser batido como o ferro.

Ora o calor cedido por um thermometro humedecido é evidentemente proporcional á quantidade Q do vapor formado ou (453)

$$K \cdot \frac{S(F_t - F_{t'})}{A}.$$

E o calor recebido é proporcional á differença de temperatura e á superficie. Será pois, no caso da temperatura se tornar estacionaria

$$K' S \cdot (t - t') = K \cdot \frac{S(F_t - F_{t'})}{A},$$

e por consequencia

$$t - t' = \frac{K}{K'} \frac{(F_t - F_{t'})}{A} \dots\dots\dots (1)$$

ou

$$R = C \cdot \frac{(F_t - F_{t'})}{A} \dots\dots\dots (2)$$

Esta formula exprime pois o resfriamento R experimentado pelo thermometro.

Vamos agora citar alguns exemplos vulgares de phenomenos que acompanham a evaporação.

O frio que se sente, quando se lançam algumas gotas de um liquido volatil na mão e, em geral, o que se experimenta quando se toca com este orgão a superficie dos corpos humidos, é devido á evaporação.

A pratica, em uso no nosso paiz, de envolver os vasos com pannos molhados para conservar as bebidas frescas, bem como o uso que se faz para o mesmo fim dos vasos porosos chamados *Alcarazas* ou *hydrocerâmes* tambem empregados na India, no Egypto e em Hespanha, funda-se na evaporação; porque a agua com que se molham os pannos e a que se infiltra atravez das paredes porosas das alcarazas, evaporando-se rouba uma grande quantidade de calor aos vasos, e estes resfriando communicam a baixa temperatura, em que ficam, aos liquidos que contêm.

Para resfriar as habitações durante os grande calores, empregam-se em Bengala ramos de arvores molhados e depen-

durados nas janellas, de modo que o ar quente atravessando-os produz proximamente um abaixamento de 15° de temperatura.

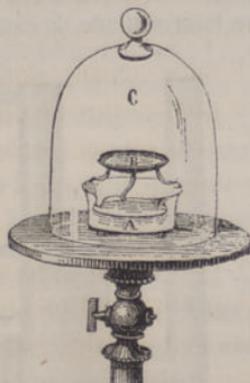
Emfim a transpiração e a exalação que de continuo se operam á superficie dos corpos vivos são causas permanentes de frio, e como a transpiração ou a exalação são mais rapidas nos climas quentes do que nos frios, resulta que ha uniformidade entre as temperaturas d'estes corpos nos diferentes climas; assim para o homem, seja qual for o clima que habita, a temperatura constante do seu corpo é de 37° proximamente.

455. *Aplicações da evaporação; congelação da agua.*— Entre outras applicações, algumas das quaes foram mencionadas no numero precedente, a evaporação tem uma applicação muito importante, qual é a congelação da agua.

A agua á temperatura ordinaria sujeita a uma rapida evaporação, transforma-se em gêlo. Este resultado pôde obter-se deitando uma porção de acido sulfurico n'um vaso de vidro *A*, pondo sobre este uma capsula metallica *B* com uma pequena porção de agua, e introduzindo este pequeno aparelho no recipiente *C* da machina pneumática (fig. 274). De feito, formando-se o vacuo a agua evapora-se e o vapor formado sendo absorvido pelo acido sulfurico, que é muito avido de humidade, faz com que a agua restante na capsula se transforme em gêlo. Esta experiencia curiosa deve-se a Leslie.

Pôde ainda obter-se a congelação da agua no vacuo por meio do *cryophoro* de Wollaston, o qual se compõe de um tubo duplamente recurvado em angulo recto, terminando por duas esferas, umas das quaes contém um pequena porção de agua, existindo o resto do espaço completamente vasio.

Mergulhando uma das esferas em uma mistura frigorifica, a agua contida na outra evaporar-se-ha rapidamente, produzindo a congelação da agua restante.



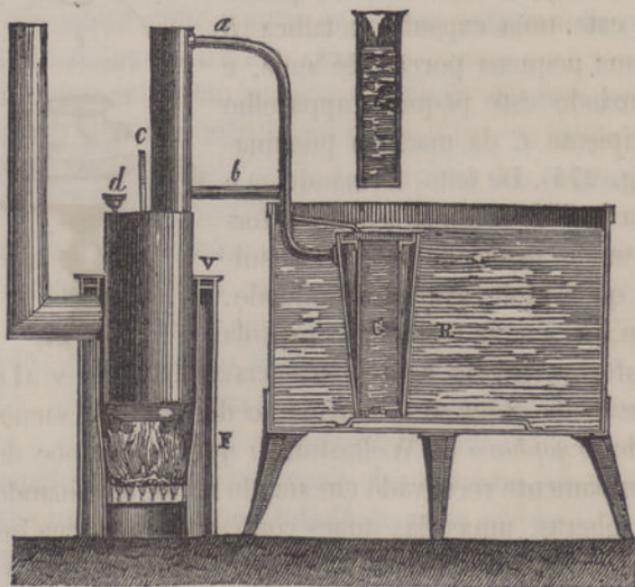
(Fig. 274)

O processo empregado por mrs. Martineau e Taylor para obter o gêlo em grande, funda-se no principio do cryophoro, sendo porém o vacuo produzido pela condensação do vapor de agua.

Nos processos de fabricação de gêlo actualmente empregados, emprega-se geralmente a evaporação de um liquido volátil como meio refrigerante. Assim o processo de fabricação do gêlo proposto por mr. Rizet basea-se na evaporação do ether no vacuo; os de mr. Carré fundam-se na evaporação do ammoniaco igualmente no vacuo e no de mr. Tellier emprega-se como meio refrigerante o frio que resulta da evaporação do ether methylico, sob a pressão ordinaria, quando se separa pelo calor da sua combinação com o acido sulfurico.

No numero seguinte damos idéa do modo como é constituido e como funciona o aparelho de Carré, em rasão do grande numero de applicações que actualmente tem.

456. *Processo de mr. Carré para a fabricação do gêlo.*—Mr. Carré empregou dois processos para a fabricação do gêlo, um continuo e outro intermittente. É este ultimo que vamos descrever.



(Fig. 275)

O aparelho empregado n'este processo consta essencialmente de dois vasos de ferro (fig. 275), podendo resistir á pressão de sete

atmospheras, solidamente unidos por meio da peça *b* e communicando entre si por meio de um tubo *a*.

O *vaporador V* contém até mais de metade da sua altura uma dissolução de gaz ammoniacco. Na parte superior d'este vaso existe uma capacidade, na qual é retido o vapor de agua que provém da vaporação do liquido ammoniacal, e que se passasse para *C* impediria a evaporação n'este vaso e portanto a congelação da agua. Aos lados d'esta capacidade existem duas tubuladuras, a uma das quaes está adaptado um thermometro *c* e a outra *d* é destinada á saída do ar e introdução da dissolução, e ao mesmo tempo serve de meio de segurança.

O *congelador C* é constituído por dois vasos, o exterior conico e o interior cylindrico, cujo intervallo perfeitamente fechado está em communicação com o *vaporador*, e na capacidade interior do qual se colloca o vaso *e* contendo a agua que se pretende congelar.

Vejamos agora como funciona o aparelho. Primeiramente aquece-se o *vaporador* n'um forno *F* a uma temperatura de 130° a 140°, collocando o congelador n'uma tina *R*, contendo agua á temperatura ordinaria; o gaz ammoniacco separado de sua dissolução aquosa distilla para o congelador, onde reagindo sobre si mesmo se condensa e liquefaz. Depois colloca-se o *vaporador* no banho onde estava o congelador, e este da parte de fóra tendo-lhe previamente introduzido o vaso *e* contendo agua destinada á congelação. Em virtude d'esta nova disposição o gaz ammoniacco contido no *vaporador* dissolve-se na agua, e produz uma especie de vacuo, em virtude do qual o ammoniacco liquido distilla de *C* para *V* para se dissolver na agua que este vaso contém, o que, como sabemos, produz um abaixamento de temperatura que faz congelar a agua do vaso *e*.

A dissolução ammoniacal serve quasi indefinidamente, de modo que a despeza d'esta dissolução é nulla. Alem d'isso o aparelho produzindo 3 a 4 kilogrammas de gélo por cada kilogramma de carvão consumido, o preço do gélo é excessivamente barato.

Os aparelhos de acção continua têm uma disposição mais complicada que o que acabámos de descrever, e a quantidade de gélo produzido é mais consideravel; o principio fundamental é porém o mesmo.

Os usos dos aparelhos de Carré são hoje de uma importancia incontestavel. Entre outras, citaremos como applicações industriaes, alem da producção economica do gélo, o emprego que d'elles se faz para diversos fins como poderoso refrigerante, e como agente de separação de certas substancias, como, por exemplo, a separação dos differentes saes contidos nas aguas mães das marinhas, segundo o processo de mr. Ballard, etc.; alem d'isto têm applicações na econo-

mia domestica, principalmente para conservar as comidas durante os grandes calores do verão, e para refrigerar as bebidas.

Alem dosapparelhos empregados na fabricação, em grande, do gèlo, mr. Carré inventou um outro destinado a produzir o gèlo sem o auxilio do calor nem de pressão e muito economicamente, e que apresentou na exposição universal de Paris de 1867.

Este apparelho, que póde empregar-se na vida domestica com muita vantagem, compõe-se de uma bomba pneumatica, que faz o vacuo n'um recipiente, onde existe uma substancia hygroscopica, o qual se põe em communicação com um vaso contendo a agua que se quer congelar; bastam dois ou tres minutos para a congelação se effectuar.

O modo como o apparelho funciona funda-se na experiencia de Leslie (455).

SECÇÃO 4.^a

Ebullição

457. *Phenomenos que acompanham a ebullição.*— *Leis da ebullição.*— Quando se aquece pela parte inferior um liquido. a agua por exemplo, n'um vaso qualquer, notam-se os seguintes phenomenos:

1.º Sobre as paredes aquecidas do vaso apparece uma infinidade de pequenas bolhas, que augmentando de volume sobem no seio do liquido, até á superficie livre, aonde rebentam: estas bolhas são constituídas pelo ar que a agua continha em dissolução;

2.º Passado algum tempo principiam a formar-se bolhas de vapor, que destacando-se das paredes do vaso sobem no interior do liquido até certa altura, e condensam-se nos estratos liquidos, que têm uma temperatura mais baixa.

Estas condensações produzem um zunido particular.

3.º Emfim, depois de certo lapso de tempo, durante o qual as camadas inferiores do liquido têm subido e as superiores descido de um modo successivo, o liquido acha-se igualmente aquecido por toda a parte, e desde o momento em que isto se verifica, a temperatura (differente para cada liquido) torna-se constante, e as bolhas do vapor formado atravessam a massa liquida e rebentam á superficie livre, vencendo a pressão atmospherica.

A ebullição dos liquidos está, pois, submettida ás seguintes leis:

1.^a A ebullição começa a uma temperatura determinada para cada liquido, sob uma dada pressão.—A temperatura em que cada liquido ferve, sob a pressão normal, denomina-se *ponto de ebullição* do liquido.

2.^a A temperatura da ebullição conserva-se invariavel qualquer que seja a intensidade do foco colorifico.

3.^a Quando um liquido entra em ebullição, a tensão do vapor produzido é igual ou equilibra com a pressão que o liquido supporta. Esta lei é o principio já estabelecido por Dalton (447).

Em seguida apresentâmos, como exemplo, a

Tabella dos pontos de ebullição de diversas substancias

Acido sulfuroso anhydro.....	-10°	Ether cyanhydrico.....	82°
Ether chlorhydrico.....	+11	Acido azotico (D ^e =1,522)	86
Ether hypoazotoso.....	21	Agua.....	100
Acido sulfurico anhydro	25	Essencia de terebinthina	157
Ether ordinario.....	35,6	Ether oxalico.....	184
Sulfureto de carbonio..	48	Phosphoro.....	290
Acetona ordinaria.....	56	Acido sulfurico concen-	
Ether formico.....	56	trado.....	325
Chloroformio.....	66,5	Mercurio.....	350
Alcool ordinario.....	78,4	Enxofre.....	400
Benzina.....	80,4	Cadmio (Deville e Troost)	860
		Zinco (idem).....	1040

458. *Calor latente de vaporação.*—Como a temperatura de qualquer liquido se conserva invariavel durante a ebullição, segue-se que na vaporação, bem como na fusão, ha uma grande absorpção de calor, que tem unicamente por fim transformar os liquidos em vapores, porque a temperatura d'estes é igual á que têm os liquidos a uma pequena profundidade. O calor absorvido pelos liquidos para passarem a vapores denomina-se *calor latente de vaporação ou de elasticidade*.

459. *Circumstancias que influem no ponto de ebullição.*—Diferentes circumstancias influem no ponto de ebullição dos

liquidos a saber: a pressão exercida sobre os liquidos, a natureza das substancias que estes contêm em dissolução, a natureza do vaso em que a ebulição se verifica e a profundidade da massa liquida.

1.º *Influencia da pressão.*—Como uma massa liquida pouco profunda (dizemos pouco profunda, porque, como veremos, a temperatura da ebulição varia sensivelmente com a profundidade do liquido) entra em ebulição quando a tensão do vapor formado equilibra com a pressão exercida sobre elle, segue-se que um liquido pôde ter tantos pontos de ebulição quantas as pressões diversas que se podem imaginar. Assim collocando agua n'uma atmosphaera cuja densidade seja differente da nossa, e que exerça por exemplo uma pressão proxima-mente igual a 400 ou 300 millimetros, a agua ferverá a 83º no primeiro caso e a 76º no segundo (446). Resulta pois que o ponto de ebulição da agua, assim como o dos outros liquidos pôde adiantar-se ou retardar-se segundo diminue ou augmenta a pressão sobre o liquido, como se pôde provar com o apparelho empregado por mr. Regnault para determinar as tensões do vapor de agua em temperaturas superiores a 100º.

Para provar que a agua pôde entrar em ebulição a temperaturas muito inferiores a 100º, podem praticar-se diversas experiencias. Assim collocando uma porção de agua a 30º, por exemplo, no recipiente da machina pneumatica, e fazendo jogar os embolos, ver-se-ha a agua entrar em ebulição quando o manometro de rarefacção indicar 31^{mm}, 548, e se a temperatura da agua for apenas 10º entrará em ebulição quando o manometro indicar 9^{mm}, 165. A ebulição assim obtida dura mui pouco tempo se se não extrahir o vapor do recipiente, porque o vapor produzido exerce pressão sobre o liquido.

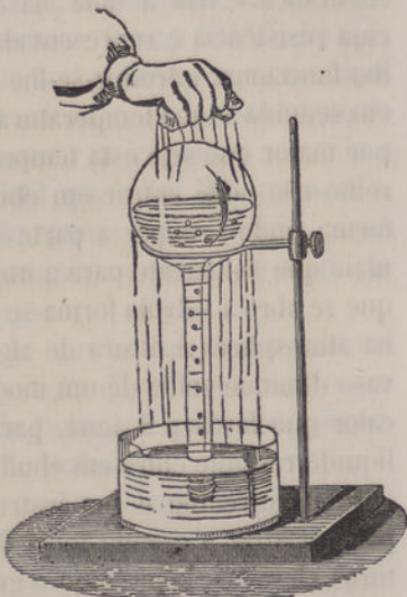
A seguinte experiencia, denominada da *ebulição sem fogo* confirma isto de um modo simples e que nada deixa a desejar. Toma-se um balão de vidro de collo longo cheio de agua, que se faz ferver por algum tempo para expulsar o ar, e em seguida rolha-se o balão e inverte-se sobre um suporte

(fig. 276). Borrifando então o balão com agua fria, a agua n'elle contida entra em ebullição, porque pela diminuição de temperatura se condensa o vapor que exercia pressão sobre o liquido. Este effeito póde produzir-se muitas vezes durante um grande intervalo de tempo.

Póde tambem mostrar-se a influencia de fracas pressões sobre a temperatura da ebullição da agua por meio do *ebullidor de Franklin*, que apenas differe do *cryophoro de Wollaston* em uma das espheras d'este pequeno aparelho estar substituida por uma capacidade alongada em fórma de frasco. Applica-

ndo a mão sobre a esphera, a tensão do vapor de agua, que á temperatura ordinaria é muito pequena, augmenta e em virtude d'este phenomeno a agua passa da esphera para a outra capacidade, entrando em ebullição.

O ponto de ebullição dos liquidos póde pelo contrario retardar-se augmentando a pressão sobre a sua superficie. Este effeito obtem-se com a *marmitta de Papin* (fig. 277). Este aparelho é constituido por um vaso cylindrico de ferro ou de cobre, de paredes mui espessas e resistentes, e fecha-



(Fig. 276)



(Fig. 277)

do superiormente por uma tampa fortemente applicada sobre o vaso, por meio de um parafuso cuja porca é constituida por

um arco metallico, fixo ás paredes do vaso. Esta tampa tem uma pequena abertura a que está adaptada uma valvula de segurança *V* fixa a uma alavanca de terceira especie *C B*, cuja resistencia é representada pelo peso *P*. Para o aparelho funcionar introduz-se-lhe agua, por exemplo, e sujeita-se em seguida a uma temperatura elevada. Observa-se então que por maior que seja esta temperatura a agua contida no aparelho não póde entrar em ebullicão, porque o vapor que se forma, indo occupar a parte superior, exerce uma pressão mais que sufficiente para a impedir. No momento porém em que se abre a valvula forma-se um jacto de vapor que se eleva na atmospherá á altura de alguns metros, a temperatura do vaso diminue então de um modo consideravel, em virtude do calor que fornece á agua, para esta se reduzir a vapor; e o liquido restante entra em ebullicão.

Papin inventon o seu instrumento no fim do seculo xvii para mostrar a grande força do vapor de agua em temperaturas elevadas, bem como o grande poder dissolvente d'este liquido n'estas circumstancias; porém destinava-a particularmente para cozer os alimentos em um pequeno intervallo de tempo, d'onde lhe veiu o nome de *digestor*.

Tem-se tambem dado uma outra disposição á valvula de segurança da marmita de Papin, disposição que lhe tem feito dar o nome de marmita *autoclave*. Esta disposição consiste no seguinte: a abertura da tampa é oval, bem como a peça que a fecha, sendo as dimensões d'esta maiores em todos os sentidos que as d'aquella; alem d'isto a valvula está disposta por dentro da abertura e é o proprio vapor que mantém a abertura fechada em virtude da sua tensão, bastando desviar a valvula da posição primitiva, para se produzir um jacto de vapor.

2.º *Influencia das substancias em dissolução.*—A influencia das substancias em dissolução nos liquidos sobre o seu ponto de ebullicão é manifesta. Assim, por exemplo, o ponto de ebullicão da agua é retardado pelas substancias salinas que tem em dissolução, variando a quantidade de que se retarda com a natureza dos saes e a proporção d'elles, segundo

mr. Legrand. Assim a agua saturada de chlorureto de sodio ferve a 109° e a saturada do chlorureto de calcio só entra em ebullição a 179° , e alem d'isto a agua contendo 10, 20, 30 e 40 por cento do primeiro d'estes saes, ferve a $101^{\circ},5$, $103^{\circ},5$, $105^{\circ},5$ e 108° . Quando a agua está combinada com outros liquidos como o alcool, o acido sulfurico, etc., o seu ponto de ebullição, tambem varia, avançando ou recuando segundo o liquido é mais ou menos volatil que ella. Mas quando os corpos existentes na agua estão apenas em suspensão, como por exemplo, a serradura de madeira, o ponto de ebullição não experimenta o menor desvio.

O ar que existe dissolvido na agua influe tambem de um modo notavel no ponto de ebullição d'este liquido. É o que demonstram as experiencias de Deluc, Galy-Casalat e principalmente as de mrs. Donny e L. Dufour.

Donny manteve n'um tubo com a fórma de *martello de agua*, este liquido completamente purgado de ar sem ferver até á temperatura de 137° , e a 138° viu effectuar-se uma producção brusca de vapor, que muitas vezes occasionou uma explosão.

As experiencias de mr. L. Dufour tambem são bastante curiosas. Em uma d'ellas conservou este experimentador sem ferver até 178° algumas gotas de agua suspensas no seio de uma mistura de oleos, cuja densidade era igual á da agua a 100° . Observou porém que apenas tocava com uma haste metallica estas gotas, a agua entrava em ebullição, descendo a temperatura a 120° proximamente.

Deve todavia advertir-se que, apesar da influencia que as substancias dissolvidas têm sobre os pontos de ebullição dos liquidos, a temperatura do vapor d'estes não é alterada, como o demonstram as experiencias de Rudberg, e já se fez observar (376).

3.º *Influencia da natureza do vaso.*—O ponto de ebullição de agua varia tambem com a natureza dos vasos que a contêm; retarda-se mais nos vasos de vidro do que nos vasos metallicos. A rasão d'este phenomeno está, como reconheceu Gay-Lussac, na maior ou menor adhesão que existe

entre as paredes dos vasos e a agua n'elles contida, adhesão que é menor nos vasos metallicos do que nos de vidro, variando ainda n'estes com a natureza do vidro e o estado da sua superficie. De feito nos vasos metallicos o vapor, que se forma durante a ebullição, destaca-se do fundo dos vasos sob a fórma de pequenas bolhas muito numerosas, e a temperatura dos liquidos não experimenta oscillações apreciaveis; nos vasos de vidro, pelo contrario, as bolhas de vapor são mais grossas, em menor numero, e a temperatura do liquido apresenta grandes oscillações e é mais elevada que nos vasos metallicos de 1° proximamente. Basta porém lançar uma pequena porção de pó metallico no fundo do vaso de vidro, para que a ebullição se verifique á mesma temperatura que nos vasos metallicos.

O ponto de ebullição da agua póde pela mesma razão adiantar-se revestindo o interior dos vasos com uma substancia, para a qual a adhesão da agua seja menor do que para os metaes. Assim, revestindo um vaso de vidro de uma camada de enxofre e um metallico com uma camada de gomma laca, a temperatura da ebullição da agua desce no primeiro caso a 99°,7 e no segundo a 99°,8.

A influencia do estado da superficie do vaso de vidro sobre a temperatura da ebullição mostra-se no seguinte facto: lavando com acido sulfurico ou potassa caustica um balão de vidro novo o ponto de ebullição da agua sobe a 105°. Mr. Marcet explica este phenomeno admittindo que nos balões novos existem poeiras adherentes que favorecem a ebullição, poisque n'estes balões a agua ferve quasi tambem como nos vasos metallicos, e suppõe que é pela destruição d'estas poeiras pelo acido sulfurico ou pela potassa que a temperatura da ebullição se eleva.

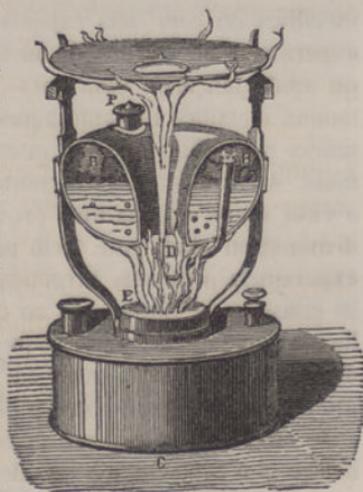
A influencia da natureza dos vasos sobre o ponto de ebullição dos liquidos n'elles contidos é para alguns, taes como os acidos e dissoluções salinas, maior que para a agua.

Assim, por exemplo a ebullição do acido sulfurico em vasos de vidro é igualmente retardada como a da agua e alem d'isso é quasi sempre acompanhada de sobresaltos pe-

rigosos que se evitam tendo deitado no fundo do vaso, em que se faz a ebulição, pó metallico ou fios de platina.

4.º *Influencia da profundidade.*—O ponto de ebulição varia tambem com a profundidade da massa liquida; porque para a ebulição se verificar é necessario que o vapor parta do fundo do vaso, e tenha por conseguinte uma tensão igual á pressão atmospherica augmentada do peso da columna liquida que o vaso contém. N'um vaso cheio de agua, de 5 metros de profundidade, por exemplo, as camadas inferiores soffrem uma pressão equivalente a atmosphaera e meia, e por conseguinte as bolhas do vapor só poderão formar-se quando a temperatura for 112º. A temperatura da massa liquida é pois diversa nos differentes estratos, vistoque deve decrescer desde as camadas inferiores até ás superiores

460 *Phenomenos produzidos nos vasos muito quentes; estado espheroidal.*—Quando se lança n'uma capsula metallica candente algumas gotas de agua, estas não entram em ebulição, mas reúnem-se constituindo um globulo, que é espherico ou espheroidal, conforme o liquido é em menor ou maior quantidade, apresentando, pois, o aspecto a fórma de globulos de mercurio sobre o vidro, ou em geral, dos liquidos em vasos que não molham. A experiencia pôde fazer-se empregando o eolypylo *BB* (fig. 278) aquecido por meio da lampada *CE* e que projecta pelo tubo *BD* um jacto de vapor de alcool, que se inflamma, aquecendo até o rubro a capsula *A*, collocada superiormente.



(Fig. 278)

Este phenomeno observado em 1746 por Eller e estudado por Leidenfrost, verifica-se, em geral, com todos os liquidos, seja qual for a sua volatilidade, e dá-se tambem em capsulas de vidro ou porcelana extremam ente aquecidas. A agua lançada sobre o cobre fundido persiste tambem sem ferver, sob a fórma espheroidal.

Se a ebulição se não manifesta, não deixa comtudo de haver evaporação do liquido, evaporação que é tanto mais rapida quanto maior é a temperatura da capsula. A evaporação torna-se bem patente com

os ácidos azotico e sulfurico, que expellem fumos brancos, com o iodo que espalha vapores arroxados e com o ether e alcool cujos globulos se rodeiam de chammãs. Quando o globulo é pequeno, as bolhas do vapor que se forma na sua parte inferior vem rebentar á superficie, fazendo girar o globulo em differentes direcções; porém quando este tem uma grandeza media, conserva-se fixo, experimentando movimentos vibratorios periodicos e parecendo apresentar a fórma estrellada.

Mr. Boutygnny denominou *estado espheroidal* o dos liquidos collocados n'estas condições, designando os phenomenos variados que a elle se referem pelo nome de phenomenos de *calefacção*. Mr. Boutygnny achou que ha um limite inferior, com relação á temperatura da capsula, para que o liquido tome a fórma espheroidal. Este limite é de 140° a 141° para a agua, de 134° para o alcool e de 61° para o ether, sendo tanto mais baixo quanto mais volatil é o liquido. Assim a agua, mantida no estado espheroidal, n'uma capsula candente que se resfria, entra violentamente em ebullicão, logoque a temperatura da capsula chega a 140°

Os liquidos no estado espheroidal estão sujeitos ás duas seguintes leis: 1.ª, *não molham as paredes dos vasos que os contêm*; 2.ª, *conservam uma temperatura inferior á da sua ebullicão*.

A primeira lei, que é facil de prever, attendendo á fórma que os liquidos tomam, demonstra-se facilmente operando com uma rede metallica ou com uma capsula crivada de orificios, casos em que a experiencia se verifica do mesmo modo que nos vasos ordinarios; ou ainda lançando uma gota de agua corada de negro sobre uma lamina metallica bastante aquecida, porque se pôde distinguir a distancia uma chamma pelo intervallo que ha entre o globulo e a lamina. Alem d'isto uma corrente electrica não passa do globulo para o vaso, o que é ainda uma prova da sua mutua separação. Boutygnny demonstrou ainda este facto por uma experiencia curiosa, que é a experiencia ordinaria invertida, mas em que as condições relativas se conservam. Aquecendo ao rubro uma esphera de cobre, mergulhou-a rapidamente n'um pequeno vaso com agua a 99°. N'estas condições o liquido não entra em ebullicão e observa-se distinctamente um involucro gazoso entre o liquido e a esphera, involucro que persiste emquanto a esphera se resfria até 140°. N'essa occasião estabelece-se o contacto, e o liquido entra violentamente em ebullicão.

Mr. Boutygnny demonstrou a segunda lei, mergulhando um thermometro muito pequeno, nos liquidos mantidos sob a fórma espheroidal. Baudrimont verificou a mesma lei, medindo a temperatura dos liquidos pelo methodo das misturas (476).

Para comprovar esta lei podem citar-se ainda algumas experiencias curiosas de Boutygnny. O azotato de ammoniaco, lançado n'uma capsula de platina que se aquece lentamente, decompõe-se, desappa-

recendo completamente. Lançando porém os crystaes d'aquelle sal n'uma capsula já aquecida ao rubro, o sal não se decompõe; constitue-se no estado espheroidal decompondo-se apenas quando se deixa resfriar a capsula.

O anhydrido sulfuroso liquido, que ao ar livre se evapora espontaneamente, lançado n'um cadinho de platina ao rubro conserva-se no estado espheroidal a uma temperatura inferior a -40° , que é o seu ponto de ebullicão. Lançando sobre o anhydrido sulfuroso gotas de agua, esta congela immediatamente, obtendo-se assim um fragmento de gélo n'um vaso aquecido á temperatura de fusão do ferro. Faraday, empregando o anhydrido carbonico solido, congelou tambem o mercurio dentro de uma capsula aquecida ao rubro.

Mr. Boutygnny julga necessario para explicar os factos ou leis indicadas, admittir um quarto estado da materia, que denomina estado espheroidal, no qual os liquidos seriam impenetraveis ao calor e se manteriam n'uma temperatura invariavel, qualquer que seja a quantidade de calor fornecido ao vaso que os contém. Parece porém que os phenomenos de calefacção se podem explicar rasoavelmente, considerando apenas a relação entre a intensidade das forças attractivas que se verificam entre as moleculas do liquido e entre estas e as do vaso.

Wolf demonstrou effectivamente que, se a temperatura cresce successivamente, a ascensão da agua em tubos capillares diminue pouco a pouco, d'onde se pôde concluir que deve haver uma temperatura em que a ascensão seja nulla, e que alem d'ella deve haver depressão, cessando o liquido de molhar as paredes do vaso que o contém, e tornando-se por conseguinte o menisco concavo em menisco convexo. Este facto explica a primeira lei. A segunda lei tambem facilmente se comprehende, porque não havendo contacto entre os dois corpos, não pôde o vaso communicar ao liquido o calor por conductibilidade, mas sim pela irradiação, havendo portanto uma parte que se reflecte, outra que atravessa o globulo sem o aquecer e outra emfim que se transmite ao globulo (cap. 5.º). Da evaporação que se dá á superficie do globulo deve tambem resultar uma absorpção do calor latente, o que faz com que o globulo se conserve n'uma temperatura inferior á da sua ebullicão.

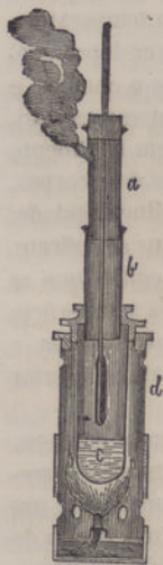
As leis indicadas explicam ainda muitos phenomenos curiosos. Assim, por exemplo, pôde-se mergulhar uma mão em chumbo derretido, depois de a ter previamente molhado com ether, ou passar um dedo por um jacto de ferro fundido ou mergulhal-o n'um banho de prata fundida depois de o ter humedecido com anhydrido sulfuroso. Em todos estes casos se experimenta apenas uma sensação de frio.

Explica-se ainda pelo estado espheroidal a explosão das caldeiras das machinas de vapor, quando se tem formado sobre as suas pare-

des grandes incrustações constituídas pelos saes calcareos contidos na agua. N'estas circumstancias é necessario que as paredes da caldeira estejam ao rubro para que o vapor se possa formar, e se a incrustação se fende, a agua acha-se em contacto com o ferro muito aquecido. A formação de vapor diminue e se a caldeira se resfria até 140° a agua entrará violentamente em ebullição, podendo produzir a rotura das paredes da caldeira. A fim de demonstrar esta acção mr. Boutygnny empregou uma pequena caldeira de cobre que se aquece com uma lampada. Quando a temperatura da caldeira chega a 300° ou 400°, lança-se agua no seu interior, que se constitue no estado espheroidal e em seguida tapa-se a caldeira com uma rolha e deixa-se resfriar. No momento em que a temperatura chega a 140° estabelece-se o contacto entre a caldeira e o liquido n'ella contido, desenvolvendo-se pela ebullição uma grande quantidade de vapor, que projecta com força a rolha a distancia.

461 *Applicações da ebullição; thermometro hypsometrico.*—A ebullição tem actualmente applicações importantes, sendo d'estas a principal a que se faz do vapor de agua como força motora e que estudaremos em capitulo especial.

Tambem se funda nas leis da ebullição as operações da *distillação* dos liquidos e da *concentração* das dissoluções; que reservamos para quando tratarmos da liquefacção dos vapores.



(Fig. 279)

Fallaremos agora sómente da applicação que se faz da 3.^a lei da ebullição para determinar a pressão e por consequencia medir as altitudes por meio do thermometro. O aparelho que se emprega n'estas determinações denomina-se *thermometro hypsometrico* e é devido a mr. Regnault. Este aparelho muito simples consta essencialmente de um thermometro (fig. 279), cujo reservatorio existe no interior de uma caldeira de cobre *c* contendo agua, e envolvida por um tubo de latão *d*, no fundo do qual está collocada uma lampada de alcool destinada a produzir a ebullição da agua. A haste do thermometro atravessa a tampa da caldeira e está envolvida por tubos de latão de diferentes diâmetros *a*, *b*, podendo entrar uns nos outros. O ar necessario para a combustão

deve entrar pelo tubo *a* e sair pelo tubo *b*, que serve para a ventilação do vapor da lampada.

entra por aberturas praticadas nas paredes lateraes do tubo de latão que cerca a caldeira e sae por aberturas superiores, e o vapor formado escapa-se por uma abertura existente no tubo superior.

A escala do thermometro estende-se de 85° a 101°, e para o seu uso emprega-se a tabella das tensões construida para este fim por mr. Regnault, da qual já fallámos (446).

Conhecida pois a temperatura da ebullicão da agua em um dado ponto, póde calcular-se, por meio d'este instrumento, a pressão correspondente, e portanto a altitude por meio da formula de Laplace (256).

Tem-se querido ligar directamente a altitude com a temperatura por meio de formulas. A de mr. Forbes é a seguinte: $A = K(t - t')$; na qual A designa a altitude procurada, t e t' as temperaturas de ebullicão nas duas estações e k um certo coefficiente que a experiencia tem mostrado ser proxima-mente igual a 295^m.

SECÇÃO 5.^a

Liquefacção dos vapores. — Distillação

462. *Liquefacção dos vapores.* — A liquefacção ou condensação dos vapores é o phenomeno inverso da vaporação: consiste na passagem dos vapores ao estado liquido. Esta mudança d'estado póde operar-se como a liquefacção dos gazes (262), por meio de um abaixamento de temperatura ou augmento de pressão, sendo necessario que os vapores estejam no estado de saturação, ou ainda por effeito da afinidade. É por este ultimo meio que os saes chamados deliquescentes produzem a condensação do vapor de agua que absorvem da atmospherá, por mais rarefeito que elle se ache.

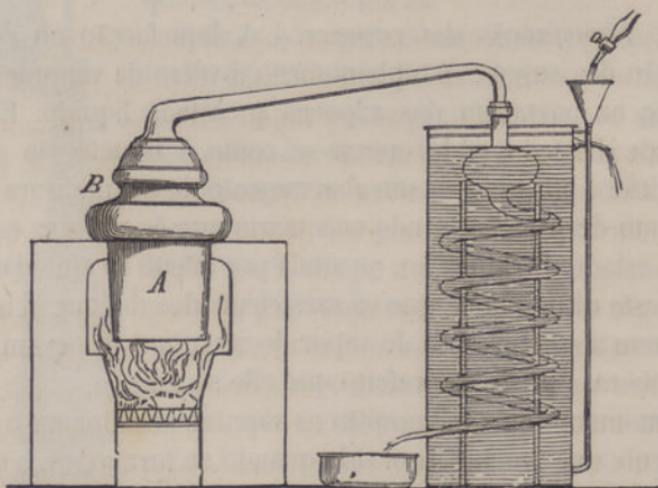
No momento da condensação os vapores abandonam o calor latente que tinham absorvido quando se formaram, o que se póde reconhecer por meio de um thermometro.

Fundam-se no phenomeno da condensação dos vapores os caloriferos de vapor aquoso de que já fallámos (421), e n'este mesmo phenomeno e no da ebullicão a operação da *distilla-*

ção. Tem ainda alguma relação com estes phenomenos a operação da *concentração* das dissoluções e a determinação da riqueza dos licores alcoholicos, de que trataremos n'esta secção.

463. *Distillação e concentração.*—A distillação é a operação que permite separar por meio da ebulição os liquidos volateis das substancias fixas n'elles dissolvidas, bem como uns dos outros, os liquidos de desigual volatilidade.

Os apparatus em que se fazem as distillações constam essencialmente de duas partes: o *vaporador* e o *condensador*. Se as distillações se operam sobre pequenas porções de liquido, emprega-se um apparelho mui simples, no qual o *vaporador* é representado por um balão ou retorta, onde se faz a ebulição do liquido, communicando por meio de um tubo abductor convenientemente refrigerado, com um balão *condensador*, igualmente refrigerado, onde se completa a condensação e se accumula o producto d'esta. Tal é o modo como se preparam pequenas porções de agua distillada e de outros liquidos nos laboratorios (Vide chimica). Quando porém se effectua a distillação em grande, empregam-se apparatus especiaes,



(Fig. 280)

chamados *alambiques* (fig. 280), nos quaes o vaporador consta de ordinario de duas partes, a *cucurbita* ou caldeira onde se

produz a ebulição e o *capitel* que a fecha, e communica por meio de uma *allonga* com o condensador, que geralmente é composto de um tubo em fórma de helice, denominado *serpentina*, convenientemente refrigerado.

Se a distillação tem por objecto a separação completa e no maior grau de pureza dos liquidos contidos n'uma mistura, recorre-se ao processo das *redistillações* ou *distillações fraccionadas*, que consiste em distillar successivamente os productos das distillações anteriores, a fim de separar cada liquido das pequenas porções dos outros liquidos que possam ser arrastados durante a operação, até que o liquido distillado tenha todos os caracteres d'aquelle que se pretende obter puro.

Quando se operam as distillações devem observar-se certas precauções. Assim, se os liquidos submettidos á distillação se alteram em contacto com o ar, opera-se a distillação na atmosphaera de qualquer gaz sem acção sobre elles. E se se pretende separar pela distillação liquidos, cujos pontos de ebulição sejam muito proximos, effectua-se a distillação a frio, cercando de gêlo o balão ou a retorta que contém a mistura e rarefazendo o ar no seu interior.

A operação conhecida em chimica pelo nome de *sublimação*, é uma especie de distillação das substancias solidas volateis, em virtude da qual os vapores d'estas substancias se condensam sob a fórma de pequenos crystaes. É por este meio que se preparam as flores de enxofre, e se obtêm os crystaes de arsenico e de outras substancias (Vide chimica).

A concentração das *dissoluções* é a operação que tem por objecto augmentar o grau d'estas, isto é, as proporções relativas dos corpos dissolvidos. A concentração das dissoluções tem um limite que corresponde ao seu estado de *saturação*, e alem do qual os corpos dissolvidos se separam da dissolução.

A concentração póde ser o resultado da distillação, pois que á medida que se distillam os liquidos das dissoluções, estas tornam-se mais *concentradas*.

As concentrações verificam-se ordinariamente sob a acção do calor, como succede, por exemplo, na concentração dos productos chimicos, dos xaropes, nas fabricas de assucar, etc.; mas podem tambem effectuar-se á temperatura ordinaria, sendo auxiliadas pelas correntes de ar, como, por exemplo, na extracção do sal commum das salinas.

464. *Distillação da agua.*—Quando se trata de distillar a agua ordinaria dos poços ou das fontes, a fim de lhe separar os principios salinos que contém em dissolução, emprega-se o alambique ordinario, que se acha representado na figura 280. As primeiras porções de agua distillada devem desprezar-se por conterem os principios gazosos e volateis que existiam na agua empregada; os principios fixos depositam-se na caldeira. A operação deve considerar-se terminada quando estes depositos principiarem a formar-se, a fim de evitar que decompondo-se dêem origem a algum corpo volatil.

O emprego de apparatus distillatorios fornece tambem o meio de obter a agua doce a bordo dos navios por meio da agua do mar.

A idéa de distillar a agua do mar é devida a João Baptista Porta, e data do fim do seculo xvi. Ao primeiro ensaio de Porta seguiram-se outras tentativas de varios physicos e officiaes de marinha, taes como Freycinet, Legrand, Rocher, etc., tendentes a aperfeiçoar os apparatus distillatorios destinados aos usos da marinha.

Estes apparatus, ainda os mais aperfeiçoados, tinham, porém, os inconvenientes de privar a agua do ar que continha em dissolução, e de communicar á agua um sabor nauseabundo, em consequencia da decomposição das substancias organicas da agua do mar, aquecida a temperaturas elevadas. Pretendeu-se remediar estes inconvenientes filtrando a agua pelo carvão, a fim de perder o mau gosto e agitando-a em contacto do ar ou dissolvendo-lhe este por meio de bombas pneumaticas, etc., a fim de a arejar; mas estes meios não eram sufficientes.

O chimico inglez Normandy foi quem resolveu esta importante questão de um modo satisfactorio, por meio de um apparatus de sua invenção.

O *vaporador* e o *condensador* do apparatus de Normandy são constituidos por dois cylindros de ferro verticaes e collocados pela parte superior de um outro horisontal, onde é recolhida e resfriada a agua obtida pela distillação. O vaporador contém agua do mar até metade da altura, e recebe o vapor de agua proveniente de uma caldeira; este vapor atravessa um systema de tubos verticaes, onde abandonando o calor latente se condensa, aquecendo a agua que os envolve. A agua do mar do vaporador, assim aquecida, produz vapores que passam para um outro systema de tubos, existente no condensador,



no qual se condensa, constituindo agua perfectamente arejada. O modo como se consegue que a agua distillada seja perfectamente arejada é muito simples: a agua do mar que circula constantemente no condensador é aquecida á custa do calor fornecido pela agua condensada nos tubos, e n'estas circumstancias abandona o ar que contém, o qual passando por um tubo para o vaporador vae saturar o vapor existente n'este, que liquefazendo-se depois, dá a agua bem arejada. A agua proveniente da condensação passa em seguida para o cylindro horisontal, onde percorre uma nova serie de tubos, abandonando o calor á agua que os cerca de modo que resulta d'aqui uma grande economia, poisque esta parte do aparelho serve ao mesmo tempo para acabar a condensação do vapor e aquecer, até certo ponto, a agua do mar que entra já quente no condensador.

A agua assim obtida pela distillação faz-se em seguida atravessar o filtro de carvão e assim é completamente isenta de alguns principios empyreumaticos, que lhe podiam communicar um gosto desagradavel.

465. *Distillação do alcool.*—A distillação é tambem empregada na industria, na preparação das essencias, dos alcools, dos ethers, etc., mui principalmente na extracção do alcool ordinario dos vinhos e de outros liquidos, bem como para concentrar aquelle que se obtem d'estas origens.

Levando o vinho ou o mosto fermentado á ebullicão formam-se vapores de todas as substancias volateis n'elle existentes, mas o alcool volatilisa-se proporcionalmente em maior quantidade do que a agua, principalmente porque o seu ponto de ebullicão é menos elevado do que o d'esta; de sorte que condensando os vapores provenientes da distillação, a proporção do alcool existente no liquido distillado é maior do que no vinho ou no mosto; o producto da distillação é, porém, ainda muito aquoso. As primeiras porções distilladas são mais alcoolicas que as ultimas e por fim distilla só agua. Na pratica é importante conhecer a riqueza em alcool das substancias empregadas na extracção d'este liquido, bem como a quantidade de liquido que se deve evaporar, a fim de obter todo o alcool e n'um certo estado de concentração. Assim, quando a substancia empregada na extracção do alcool contém 3 % d'este principio, é necessario distillar $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$ quando contém 4 %, $\frac{29}{100}$ quando contém 5 % e $\frac{33}{100}$ quando contém 6 %.

De ordinario as primeiras distillações fornecem apenas alcools fracos, cuja riqueza não excede geralmente 20 %. Para obter um liquido mais rico em alcool pôde-se recorrer, ou ás *redistillações*, ou ao *enriquecimento dos vapores pelos deflegmadores*, antes que cheguem ao aparelho condensador, ou emfim á *rectificação*.

As redistillações têm o inconveniente de exigir grandes despesas de combustível, de tempo e mão de obra, mas podem ser feitos emapparelhos simplicísimos.

O contrario se verifica com os *deflegmadores*. Estes apparelhos fundam-se nos seguintes principios: os vapores que se elevam de um licor alcoolico fervente, são sempre mais ricos em alcool do que o liquido em ebullicão, e em geral o ponto de ebullicão é tanto mais elevado quanto menos alcoolico está o liquido, ou por outra os vapores são tanto mais ricos em alcool quanto mais baixo é o ponto de ebullicão. A riqueza dos vapores é portanto dependente da temperatura a que o vinho ou o mosto ferve, e por consequente tambem da temperatura dos vapores. Resfriando pois estes sem produzir uma condensação completa, deve operar-se uma separação ou decomposição do vapor, condensar-se-ha uma parte mais aquosa, ao passo que outra mais rica em alcool permanecerá no estado de vapor, e se as cousas estão dispostas de modo que esta ultima parte vá só para o refrigerante e a outra volte ao alambique, obter-se-ha um producto muito mais rico em alcool do que o eram os vapores produzidos pelo liquido fervente. Vê-se pois que por meio dos deflegmadores se pôde obter um espirito de vinho de uma dada força por uma unica distillação; obter-se-ha porém tanto menos alcool quanto maior for a sua força.

Emfim a *rectificação* differe da operação anterior em se empregar como agente da condensação dos vapores um liquido alcoolico condensador em vez de paredes condensadoras. Os rectificadores são pois em definitivo alambiques redistilladores; porém aqui a segunda, terceira, etc., distillações, em vez de serem operadas pelo aquecimento directo, são determinadas pelo calor latente dos vapores que se evolvem do alambique principal.

Or rectificadores empregam-se de preferencia para os liquidos pouco ricos em alcool e os deflegmadores para os mais ricos. Os apparelhos mais aperfeiçoados de que a industria actualmente usa, taes como os de Laugier e Derosne realisam o systema mixto.

Em seguida damos uma idéa succinta do modo como é constituido e como funciona o apparelho de Derosne. O vinho ou o mosto de que se pretende extrahir o alcool é submittido á distillação em duas caldeiras, das quaes a mais inferior aquecida directamente communica com a segunda por meio de um tubo; esta ultima aquece-se á custa do calor que lhe cede o vapor que se condensa no liquido n'ella contido e que é assim rectificado. O vapor formado na segunda caldeira sobe depois n'uma columna, na primeira parte da qual encontra um filete do liquido empregado na distillação, o qual se espalha n'uma serie de pires e pratos sobrepostos, e d'este modo o vapor vae successivamente enriquecendo-se. Na segunda parte d'esta co-

luzna o vapor tem que passar por um pequeno rectificador formado por especie de prateleiras contendo o liquido alcoolico, e dispostas de modo que o vapor tem que atravessal-as successivamente. D'aqui passam em seguida os vapores para um deflegmador em fórma de uma serpentina disposta horisontalmente e convenientemente refrigerada, onde os vapores acabam de enriquecer-se, e por fim vão condensar-se n'uma serpentina vertical, sendo o liquido condensado recebido n'um vaso contendo um alcoometro centesimal e podendo chegar a marcar 96° d'este instrumento. Entre muitas das vantagens que este aparelho offerece, ha a de empregar como refrigerante o proprio liquido que deve ser distillado, e que se vae assim successivamente aquecendo, e depois de estar na temperatura maxima a que póde chegar, é levado para a caldeira matriz, onde entra em ebullicão.

466. *Meios de apreciar a riqueza dos licores alcoolicos.*—Quando se pretende determinar o grau ou a riqueza alcoolica de simples misturas de alcool e agua, taes como as aguardentes do commercio, empregam-se os aroemetros de Beaumé ou de Cartier ou melhor ainda o alcoometro de Gay-Lussac (220), fazendo a devida correcção da temperatura por meio da tabella para esse fim destinada, ou por

meio da seguinte formula de Francoeur $x = n^{\circ} \pm \frac{4}{10} t$, na qual x

designa o numero de graus procurado, n o numero que se observou, e t a differença entre a temperatura de 15° e a observada no momento da determinação, sendo o signal + empregado para as temperaturas inferiores a 15°, o signal — para as temperaturas superiores. Se porém as misturas alcoolicas contêem outras substancias, taes como o assucar e materias salinas, as indicações do alcoometro não são exactas e é preciso recorrer a outros processos, dos quaes damos em seguida idéa.

O processo de Gay-Lussac, modificado por Salleron, consiste em submeter á distillação uma dada porção de licor alcoolico, que se pretende ensaiar, e em avaliar por meio do alcoometro centesimal, o grau de concentração do liquido que se obtem pela distillação. O aparelho em que se faz a operação é um pequeno alambique, composto de um balão de vidro communicando por meio de um tubo de cautchuc com uma serpentina onde se effectua a condensação e d'onde o liquido resultante d'esta passa para um provete graduado. Das tres divisões do provete, a superior marca o volume do licor alcoolico que se deve distillar e as duas outras correspondem ás quantidades de liquido que se deve obter pela distillação; assim se os licores são muito ricos em alcool a distillação prolonga-se até que o volume do liquido obtido por esta operação seja metade do volume primitivo do licor empregado, isto é, se eleve no provete até a divisão

$\frac{1}{2}$, e se o não são basta que o liquido distillado chegue á divisão $\frac{1}{3}$. E como se faz a determinação alcoometrica sobre um licor contendo a mesma qualidade de alcool que o licor primitivo, mas reduzido a menor volume, deve dividir-se por 2 ou por 3 o numero de graus observado, e o quociente representará a proporção de alcool contido no licor ensaiado.

Brossard de Vidal e Conaty apreciam a proporção do alcool contido nas misturas medindo a temperatura da ebulição d'estas. Assim o alcool fervendo a 78°,4 e a agua a 100°, uma mistura d'estes dois liquidos entra em ebulição a uma temperatura intermedia, tanto mais elevada quanto menor for a riqueza alcoolica do liquido. Este processo tem tambem a vantagem de se poder applicar ao liquido contendo outras substancias além do alcool e da agua, porque a experiencia demonstra que a presença do assucar e dos saes não influe sensivelmente sobre a temperatura da ebulição. A operação póde fazer-se n'um pequeno vaso distillador de cobre, no qual se introduz um thermometro de escala movel, graduado de modo a dar directamente os graus alcoolicos. O zero da escala movel é em cada operação posto previamente na posição que corresponde á ebulição da agua pura, a fim de eliminar a influencia da pressão atmospherica.

Finalmente um outro processo devido a Silbermann funda-se na propriedade que o alcool tem de se dilatar entre 0° e 70°, tres vezes mais do que a agua. Consiste este processo na determinação da dilatação experimentada entre 25° e 50°, por um licor alcoolico dado e que se introduz n'um apparelho thermometrico especial. Para fazer a gradação d'este apparelho introduz-se n'um banho a 25°, temperatura medida por um thermometro de mercurio, e enche-se primeiramente de alcool absoluto, e depois successivamente de diferentes misturas formadas de 90 partes de alcool e 10 de agua, 80 de alcool e 20 de agua, etc. Depois, e para cada mistura, introduz-se o apparelho n'um banho a 60°, marcando-se respectivamente 100, 90, 80, etc., nos pontos que correspondem ás extremidades das columnas dilatadas segundo a mistura empregada.

SECCÃO 6.^a

Hygrometria

467. *Objecto da hygrometria, estado hygrometrico.*—O ar atmospherico estando sempre em contacto com a agua, que occupa mais de dois terços de superficie terrestre, contém por conseguinte quantidades maiores ou menores de *humidi-*

dade ou vapor aquoso, que provém da continua evaporação que se dá á superficie d'essa grande massa de agua. A parte da physica que tem por objecto determinar n'um momento dado a quantidade de humidade do ar denomina-se *hygrometria*.

Denominam-se substancias hygroskopicas as que têm a propriedade de absorver a humidade. Em geral as substancias organicas são mais ou menos hygroskopicas, e entre as inorganicas algumas, como os acidos sulfurico, phosphorico, fluoborico e o chlorureto de calcio são extremamente avidas de humidade.

O grau de humidade ou o estado hygrometrico do ar não depende da quantidade absoluta de vapor aquoso que contém, mas da distancia a que esse ar se acha do estado de saturação. Assim, por exemplo, com a mesma quantidade de vapor aquoso o ar está mais humido n'uma temperatura baixa do que n'uma elevada. É por isso que o ar está mais humido de inverno que de verão, postoque n'esta estação contenha, em geral, mais vapor aquoso do que n'aquella.

O estado hygrometrico do ar é definido pela relação $\frac{f}{F}$ entre a força elastica f do vapor aquoso que contém, e a tensão F do que conteria na mesma temperatura se estivesse saturado. Esta relação tambem se denomina *fracção de saturação*.

Conhecida a força elastica f do vapor contido no volume V de ar atmospherico, póde facilmente determinar-se o seu peso p e reciprocamente por meio da formula

$$p = \frac{(1^{\text{or}}, 293)}{(1 + \alpha t)} \frac{(0,622) f}{760} = \frac{V \times 0^{\text{or}}, 87 f}{(1 + \alpha t) 760} \dots\dots (1)$$

Á relação $\frac{f}{F}$ póde substituir-se $\frac{p}{P}$, se P designar o peso do vapor aquoso contido no volume V , quando o ar está saturado.

Os diferentes processos hygrometricos têm por fim determinar, ou o estado hygrometrico $\frac{f}{F}$ (hygrometros de absorpção), ou o peso P do vapor aquoso contido n'um dado

volume de ar (hygrometro chimico), ou finalmente a tensão f do vapor aquoso contido no ar (hygrometros de condensação e evaporação). Por meio da formula anterior pôde-se passar facilmente do valor de uma d'estas quantidades para os das outras. O valor de F é dado pelas tabellas das tensões maximas do vapor de agua.

Differentes methods têm sido inventados para determinar o estado hygrometrico do ar. Os instrumentos empregados n'essa determinação denominam-se *hygrometros*, posto que alguns antes se devam chamar *hygroscopios*, porque apenas mostram em experiencias successivas se a humidade tem augmentado ou diminuido.

A figura 281 representa um hygroscopio muito vulgar, em que o grau de humidade é dado pelo movimento de um capuz de papel sobre a cabeça de uma figura de madeira. Esse movimento resulta da destorsão de um fio collocado dentro de um pequeno tubo onde penetra o ar. Quando este está humido o fio destorce-se e o capuz cobre a cabeça, e o contrario se verifica quando o ar está secco. Este instrumento, alem de não ser rigoroso, é pouco sensivel.



(Fig. 281)

468. *Hygrometros de absorpção*.—Os hygrometros de absorpção baseiam-se nas propriedades que as substancias organicas têm de absorverem a humidade do ar, augmentando ao mesmo tempo de volume e de abandonar quando o ar se torna mais secco. Assim a madeira, as barbas de baleia e as cordas incham perpendicularmente ao sentido das fibras pelo effeito da humidade. É n'esta propriedade que se funda o emprego de cunhas de madeira, que se faz inchar, pela acção da agua, para destacar grandes pedras, e o processo de molhar as cordas, para as encurtar, quando se trata de elevar grandes massas. Como as substancias organicas não se dilatam sensivelmente pelo effeito do calor, por isso a sua variação de volume pôde servir para medir a humidade do ar.

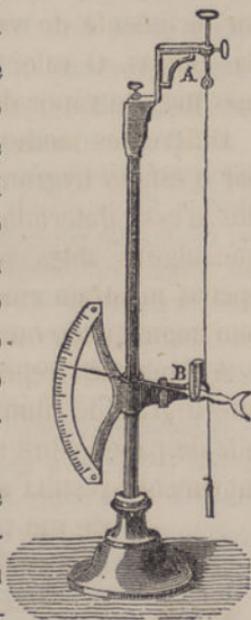
O hygrometro de absorpção mais simples e mais usado foi inventado por Saussure, e funda-se na propriedade que os

cabellos têm de se alongarem ou encurtarem quando a humidade augmenta ou diminue. Este instrumento (fig. 282) compõe-se essencialmente de um cabelo *A B*, fixo na parte superior de um suporte metallico e enrolado inferiormente n'uma pequena roldana *B* e sustentando na extremidade um pequeno peso, que deve ser o sufficiente para o tender sem o alongar. O alongamento e encurtamento do cabelo determinam o movimento da roldana, á qual está fixo um ponteiro cuja extremidade percorre um limbo convenientemente graduado, accusando assim as variações do estado hygrometrico.

Os cabellos que se empregam n'este instrumento, devem ser previamente privados de gordura, a qual os preservaria da acção da humidade. Para esse fim ferrem-se os cabellos durante meia hora em

agua contendo $\frac{1}{10}$ do seu peso de subcarbonato de sodio ou mergulhando-os durante 24 horas em ether ordinario.

Para graduar o hygrometro, colloca-se este sob uma campanula cheia de ar, que se secca introduzindo n'ella chlorureto de calcio. O cabelo encurta-se successiva e lentamente, até que, no fim de alguns dias, o ponteiro se fixa n'um ponto invariavel que corresponde á secura extrema e no qual se marca zero. Depois colloca-se o instrumento debaixo de uma campanula que assenta sobre um prato com agua distillada. Esta, evaporando-se, satura o ar da campanula e o cabelo alonga-se gradualmente, fixando o ponteiro no fim de algumas horas n'um ponto onde se marca 100 e que corresponde á extrema humidade. Por fim divide-se em 100 partes iguaes o intervallo entre os dois pontos assim obtidos. Este instrumento dá por meio de graus variaveis a humidade do ar, porque a experiencia mostra que as suas indicações não variam



(Fig. 282)

proporcionalmente ao estado hygrometrico. Para que se possa considerar como um hygrometro propriamente dito é necessario determinar qual o estado hygrometrico que corresponde a cada grau. Este trabalho emprehendido por Saussure, Gay-Lussac, Dulong e Melloni foi ultimamente executado por mr. Regnault.

Mr. Regnault começou as suas experiencias pela preparação de differentes dissoluções do acido sulfurico, e pela determinação por meio do barometro de vapor (445, B) das forças elasticas dos vapores produzidos por essas dissoluções, forças que, como é facil de prever, eram tanto menores quanto maior era a concentração d'estas. Com os resultados d'estas experiencias construiu tabellas que davam os valores da força elastica de 5° a 35°. Mr. Regnault introduzia o hygrometro e um thermometer n'um vaso de vidro fechado, no fundo do qual estava uma pequena camada de uma das dissoluções preparadas e esperava que o ponteiro do hygrometro estacionasse n'uma divisão. Procurava nas tabellas da força elastica os valores das tensões f e F do vapor da solução empregada e do vapor de agua na temperatura indicada pelo thermometer, e o quociente $\frac{f}{F}$ exprimia o estado hygrometrico correspondente á divisão em que o ponteiro estacionava. Procedeu igualmente com as outras soluções e obteve assim tantos pontos de correspondencia quantas as soluções, e por interpolações construiu uma tabella que dá os valores do estado hygrometrico correspondentes a todas as divisões do hygrometro.

Mr. Regnault, comparando as indicações de diversos hygrometros de cabelo, observou que variavam com a natureza do cabelo, processo de preparação e grandeza de peso tensor, concluindo portanto que é impossivel estabelecer uma tábua commum para todos os hygrometros de cabelo como tinham supposto Gay-Lussac, Dulong e Melloni. Mr. Regnault não chegou mesmo a verificar, em virtude de um desarranjo nas suas experiencias, se uma tabella construida para um dado hygrometro dará em todas as temperaturas o estado hygrometrico. Para obter pois indicações precisas com o hygrometro de cabelo, é necessario construir uma tábua para cada um e verificá-la mesmo de tempo a tempo. O instrumento perde assim toda a simplicidade e por isso mr. Regnault ulga que se deve proscrever o seu uso.

469. *Hygrometro chimico*.—O methodo do hygrometro chimico, devido a Brunner e empregado por mr. Regnault, consiste essencialmente em determinar, pela analyse chimica, o peso da agua contida em um dado volume de ar. Este methodo é extremamente preciso, porém bastante moroso e por isso pouco commodo para as observações meteorologicas.

O ar, de que se pretende determinar o estado hygrometrico, é aspirado com velocidade constante por um vaso de Mariotte cheio de agua que se esgota lentamente. Antes de penetrar no vaso aspirador, o ar atravessa uma serie de tres tubos em *u*, cheios de pedra pomes embebida de acido sulfurico. O ar deixa quasi toda a humidade no primeiro e acaba de se seccar no segundo; o ultimo é destinado a impedir que a humidade do aspirador passe para os dois outros. Os dois primeiros tubos são pesados antes e depois da operação e a differença de peso dá a do vapor de agua contido n'um volume de ar, que deve ser rigorosamente determinado.

Se v_0 representa o volume do aspirador a zero, o volume do mesmo no fim da experiencia quando a temperatura for t' será $v_0 (1 + k t')$. N'essa occasião o aspirador contém um igual volume de ar, sob a pressão A' da atmospherica, e saturado de humidade ou contendo ar secco sob a pressão $A' - F'$. O volume d'este ar secco seria, sob a pressão normal e na temperatura zero

$$\frac{v_0 (1 + k t') (A' - F')}{(1 + \alpha t') 760}.$$

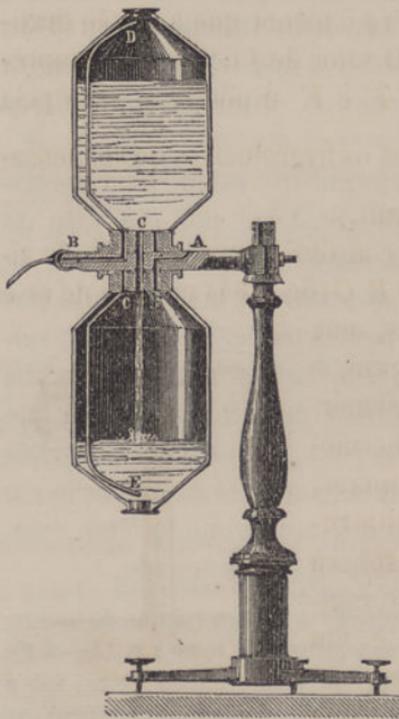
É este ar secco que atravessa os tubos, porém como durante a operação tinha uma temperatura media t e continha vapor aquoso com a tensão media f , seria $A - f$ a sua pressão, se A designa a pressão media durante a experiencia. Assim o volume do ar será

$$v = v_0 (1 + k t') \cdot \frac{A' - F'}{A - F} \cdot \frac{1 + \alpha t}{1 + \alpha t'};$$

e é este valor que se deve substituir na formula (1) para calcular f .

A fim de prolongar a operação por bastante tempo, augmentando assim o volume de ar sobre que se experimenta, emprega-se geralmente, em vez do aspirador simples um as-

pirador duplo. Este aparelho (fig. 283), inventado por mr. Brunner, compõe-se de dois reservatorios iguaes, que comunicam entre si pelo canal $c c'$, e podem girar com pequena fricção, em torno do eixo horizontal AB que os sustenta, de modo que o reservatorio collocado superiormente está sempre comunicando com os tubos,



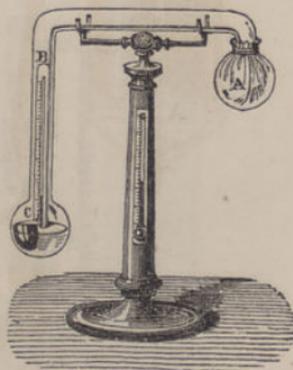
(Fig. 283)

e podem girar com pequena fricção, em torno do eixo horizontal AB que os sustenta, de modo que o reservatorio collocado superiormente está sempre comunicando com os tubos, onde a humidade é absorvida, e o inferior com a atmosphera. Na posição que a figura representa, a agua cõe do reservatorio superior no inferior, sendo o ar aspirado pelo tubo BD , ao passo que o ar d'este reservatorio sae pelo tubo FA . Quando este reservatorio está cheio de agua invertem-se as posições dos reservatorios e a operação recomeça do mesmo modo.

470. *Hygrometros de condensação.*—Deve-se a Le Roy um methodo simples e bastante rigoroso, pelo qual se determina o estado hygrometrico do ar, procurando a que temperatura é necessario resfriar-o para que o vapor aquoso que contém, seja sufficiente para o saturar. Este methodo consiste essencialmente em resfriar de um modo gradual o liquido contido n'um vaso, até que o vapor aquoso do ar que o circumda, e que tem adquirido a temperatura do mesmo vaso, se deponha sobre a superficie externa d'este; e em aquecer depois o liquido, até que o orvalho formado desapareça. Um thermometro mergulhado no liquido indica as temperaturas t' e t'' correspondentes á formação e desaparecimento do orvalho. A deposição do vapor aquoso sobre a superficie do vaso indica que o ar esta sobresaturado ou

que a força elastica f do vapor que contém é superior á tensão maxima F' , correspondente á temperatura t' , e o desapparecimento do orvalho mostra que o ar deixa de estar saturado e portanto que a força elastica f é menor que a tensão maxima F'' correspondente a t'' . O valor de f fica assim comprehendido entre os valores de F' e F'' e póde ser dado pela media $\frac{F' + F''}{2}$. Descreveremos os hygrometros de condensação de Daniell e de mr. Regnault.

O hygrometro de Daniell é constituido por um tubo de vidro duplamente recurvado $A B C$ (fig. 284) privado de ar e terminando por duas esferas, uma A coberta de cambraia ou gaze, e outra C contendo ether, no qual mergulha o reservatorio de um thermometro muito sensivel. Para operar, com este instrumento lançam-se algumas gotas de ether sobre a esfera A . Este liquido evaporando-se rapidamente, resfria a esfera A e, em virtude do principio das *paredes frias* (444), o ether contido em C distilla para A , absorvendo calor e determinando um resfriamento que o thermometro interior accusa e a producção do orvalho sobre a superficie externa da esfera C , o que se observa facilmente, porque esta esfera é ordinariamente de vidro azul. Tendo notado a temperatura correspondente ao *ponto de orvalho* e deixando de lançar ether sobre A , a temperatura eleva-se, e quando o orvalho desaparece observa-se de novo o thermometro.

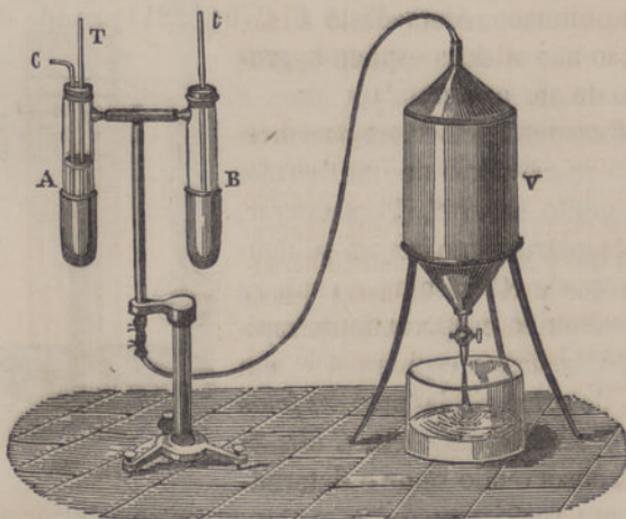


(Fig. 284)

Este hygrometro apresenta na pratica algumas causas de erro. Em primeiro logar o thermometro accusa uma temperatura um pouco elevada, não só porque o seu reservatorio está mergulhado na massa de ether, cuja temperatura é superior á da camada superficial, mas ainda porque o vidro da esfera é mau conductor do calor e está mais quente na superficie externa. Em segundo logar a proximidade do opera-

dor e a evaporação do ether lançado na esfera *A* modificam necessariamente o estado hygrometrico do ar. Alem d'isto a manipulação não é commoda e o instrumento não dá o mesmo resultado quando o ar está muito secco e a temperatura elevada.

O hygrometro de mr. Regnault, não apresentando as causas de erro que se notam no de Daniell e sendo de facil manipulação, póde ser considerado como o melhor hygrometro. Compõe-se de dois tubos de vidro *A* e *B* (fig. 285), termi-



(Fig. 285)

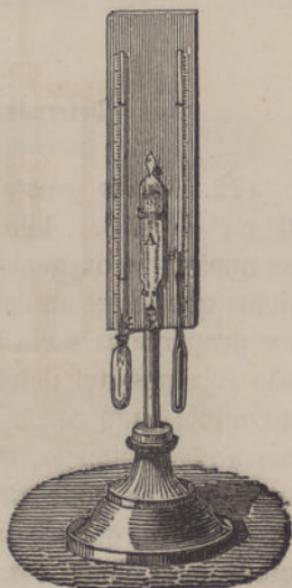
nados inferiormente por dois dedaes de prata de paredes delgadas e perfeitamente polidas. Cada um d'estes tubos contém no seu interior um thermometro muito sensivel, fixo por meio da rolha. A rolha do tubo *A* é tambem atravessada por um pequeno tubo aberto *C*, que desce até o fundo do dedal respectivo. O tubo *A* communica ainda por intermedio do supporte e de um tubo de chumbo com um vaso aspirador *V* contendo agua e que deve estar a dez metros do apparelho.

Para operar com este hygrometro deita-se ether no tubo *A* e abre-se a torneira do aspirador. O ar entrando no apparelho pelo tubo *C*, e atravessando o ether, faz evaporar este liquido e determina a formação do orvalho sobre a superficie

externa do dedal *A*. Observa-se então com um oculo a temperatura dada pelo thermometro *T* e fecha-se a torneira do aspirador. Immediatamente o orvalho desaparece e de novo se observa o thermometro. O dedal *B* serve para se poder determinar, pela differença do brilho entre as superficies dos dois dedaes, a formação do orvalho e o thermometro *t* dá a temperatura do ar durante a experiencia.

N'este instrumento a temperatura do dedal de prata é a mesma interior e exteriormente, e em virtude da agitação impressa pela corrente de ar, a temperatura da massa de ether é uniforme. Alem d'isto a manipulação não altera o estado hygrometrico do ar.

471. *Hygrometros de evaporação.*—Leslie procurou determinar a humidade do ar, deduzindo do resfriamento produzido pela evaporação a rapidez d'esta. Empregou para isso o seu thermometro differencial, em que uma das esferas estava constantemente molhada. O instrumento mais preciso fundado n'este methodo é o *psychrometro* de mr. August. Consta este instrumento de dois thermometros *B* e *C* (fig. 286) muito sensiveis e perfeitamente concordantes, sendo o reservatorio de um coberto por um estofa continuamente humedecido pela agua que recebe de um reservatorio *A*. A differença $t - t'$ entre as temperaturas do thermometro secco e molhado, depende da rapidez da evaporação, sendo esta a seu turno dependente da differença entre a tensão maxima F' do vapor na temperatura t' e a tensão x do vapor na temperatura t . A formula que liga estas quantidades é (457)



(Fig. 286)

$$t - t' = \frac{C}{A} (F' - x).$$

D'esta formula se deduz o valor de x , uma vez que se conheça o valor do constante c e se meça a differença $t - t'$ e a pressão atmospherica A .

Mr. Regnault demonstrou que as indicações do psychrometro no ar atmospherico dependem não só da humidade, mas tambem da

velocidade do vento e da presença de paredes vizinhas irradiantes, o que torna este instrumento empyrico e improprio para observações regulares. Todavia, quando se tenha determinado com rigor o valor de C para um certo instrumento e uma orientação dada, o psychrometro pôde servir para determinar x , uma vez que a velocidade do vento não exceda 4 a 5 metros.

CAPITULO IV

Calorimetria

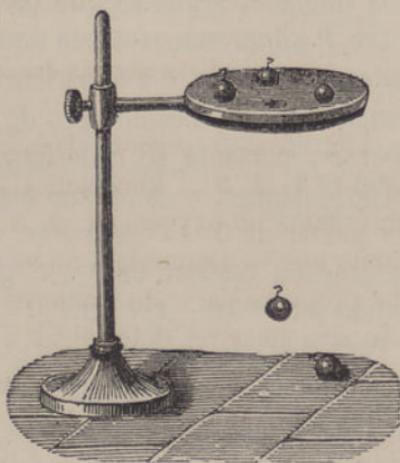
SECÇÃO 1.^a

Determinação dos calores especificos

472. *Noções geraes; definições.*—Quando se aquece de 0° e t° 1, 2, 3... kilogrammas de uma dada substancia, ou se queima no oxygenio 1, 2, 3... grammas de carvão, é evidente que se accumulam ou se produzem quantidades de calor proporcionaes em numeros 1, 2, 3... Assim, emquanto não seja possivel determinar a quantidade de calor que se accumula n'um corpo que se aquece ou que se desenvolve nas acções chimicas, comtudo os exemplos anteriores mostram que se pôde chegar á determinação relativa d'estas quantidades, quando se adopte uma unidade conveniente. A unidade escolhida é a quantidade de calor necessaria para fazer passar de 0° a 1° um kilogramma de agua. Esta unidade denomina-se *caloria*.

A experiencia demonstra que as quantidades do calor que os corpos, sob pesos iguaes, absorvem ou cedem quando se aquecem ou resfriam de um certo numero de graus são diferentes. Com effeito, misturando dois kilogrammas de mercurio a 100° e outro a 0° , acha-se que a mistura adquire a temperatura de 50° , e misturando um kilogramma de mercurio a 100° com outro de agua a 0° , observa-se que a temperatura de mistura é $3^\circ,22$. Vê-se pois que a quantidade de calor que faz variar 50° a temperatura de um kilogramma

de mercurio apenas produz a variação de $3^{\circ},22$ a um igual peso de agua. Praticando experiencias identicas com outros corpos, reconhece-se sempre que a mesma quantidade de calor produz em cada corpo temperaturas diferentes, ou, por outro modo, que são necessarias quantidades desiguaes do calor para aquecer, do mesmo numero de graus, pesos iguaes de substancias diversas. A seguinte experiencia, devida a mr. Tyndall, prova tambem mui claramente, que os corpos, sob pesos iguaes e na mesma temperatura contêem quantidades de calor diferentes. Aquecem-se n'um banho de azeite até 180° diversas balas de ferro, de chumbo, de cobre, de bismutho, de estanho, etc., todas com pesos iguaes e quando têem adquirido a temperatura do banho, collocam-se n'um bolo cylindrico de cêra de 12 millimetros de espessura (fig. 287). As balas fundem a cêra com velocidades desiguaes penetrando portanto n'ella mais ou menos. O ferro implanta-se com rapidez na massa de cêra que atravessa, seguindo-se o cobre, ao passo que o estanho



(Fig. 287)

penetra n'ella profundamente sem a atravessar e que o chumbo e o bismutho não chegam a attingir metade da sua espessura. Conclue-se, pois, d'esta experiencia que, sob pesos iguaes e na mesma temperatura, estes metaes contêem quantidades diversas de calor.

A quantidade de calor que um corpo absorve quando passa de 0° a 1° , em relação á que igual peso de agua absorveria nas mesmas circumstancias, denomina-se *calor especifico ou capacidade calorifica d'esse corpo*. Póde tambem dizer-se que o calor especifico de uma substancia é a quantidade de calor, expressa em calorías, necessaria para elevar de 0° a 1° um kilogramma d'essa substancia.

A *calorimetria* tem por objecto a determinação relativa das quantidades de calor que os corpos, sob pesos iguaes, absorvem ou cedem, quando a sua temperatura augmenta ou diminue, ou quando mudam de estado, isto é, dos calores especificos e dos calores latentes.

O calor especifico de uma substancia pôde ser determinado por tres methodos differentes: o methodo do resfriamento, o da fusão do gêlo e o das misturas.

473. *Medida de calor absorvido ou cedido pelos corpos.* — Como a quantidade de calor necessaria para elevar de 0° a 1° a temperatura de um kilogramma de agua é representada pela unidade, segue-se que para produzir o mesmo effeito sobre P kilogrammas d'este liquido serão necessarios P unidades ou calorias, e a experiencia mostra que, para elevar a temperatura do mesmo peso de agua 0° a t° são precisas Pt calorias; portanto se c designar o calor especifico de um corpo qualquer, o calor que o peso P d'este corpo absorve por passar de 0° a t° será Ptc . Assim quando esse corpo se aquecer ou resfriar de t a t' graus, o calor absorvido ou cedido será $P(t' - t)c$ ou $P(t - t')c$.

Para estabelecer estas expressões admite-se que a quantidade de calor, que corresponde á elevação ou abaixamento de 1° de temperatura, é constante para cada substancia, ou, por outra, que as quantidades do calor absorvidas ou cedidas são proporcionaes ás variações de temperatura. A experiencia mostra effectivamente que entre certos limites esta hypothese é sensivelmente verdadeira para a agua e para a maioria dos corpos.

474. *Idéa do methodo do resfriamento.* Admittindo que a perda de calor de um corpo que se resfia é proporcional ao excesso da temperatura do corpo sobre a do meio ambiente, deduz-se analyticamente que os abaixamentos da temperatura durante tempos iguaes successivos decrescem em progressão geometrica. D'esta lei, enunciada por Newton e conhecida pelo nome de lei do resfriamento ou lei de Newton, deduz-se que os tempos gastos por corpos da mesma superficie e do mesmo poder emissivo, em se resfriar em de um certo numero de graus, são proporcionaes aos productos dos seus pesos pelas suas capacidades calorificas.

Dulong e Petit realisavam aquellas condições introduzindo um peso determinado da substancia reduzida a pó n'um pequeno vaso de prata polido exteriormente, e no interior do qual se introduzia um thermometro. Este vaso depois de aquecido até uma temperatura determinada, era collocado dentro de uma capacidade enegrecida interiormente, mantida na temperatura zero e na qual se fazia o vacuo. O tempo gasto pela substancia em se resfriar era apreciado por um chronometro. N'estas experiencias é necessario attender á perda de calor experimentado pela prata e pelo thermometro, porém como estas quantidades são constantes, basta determinal-as uma vez com rigor.

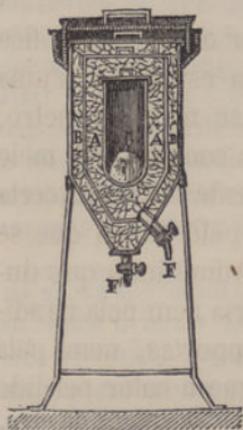
Este methodo, muito simples na pratica tem o inconveniente de ser indirecto, e como muitas causas tendem a fazer variar o tempo de resfriamento, pôde este actuar diversamenete sobre differentes substancias. Assim a applicação d'este methodo para a determinação dos calores especificos dos solidos está sujeita a muitas causas de erro, que desaparecem quando se applica aos liquidos, porque n'estes as correntes interiores restabelecem a uniformidade da temperatura que tende a desaparecer em virtude do resfriamento. Mr. Regnault introduzia os liquidos n'um pequeno vaso de vidro que sempre recebia um volume igual de liquido.

473. *Methodo da fusão do géllo; calorimetro de géllo.*—Este methodo é baseado sobre o conhecimento do facto de que para fundir um kilogramma de géllo, sem alterar a sua temperatura, são necessarias 79,25 calorias. Black foi o primeiro que se serviu d'este principio para determinar o calor especifico dos corpos. Lavoisier e Laplace adoptaram tambem este methodo, porém modificaram consideravelmente o apparelho.

O calorimetro de Black era constituido por um grande pedaço de géllo compacto, no qual havia um cavidade perfeitamente fechada por uma lamina de géllo. N'este estado podia o apparelho ser abandonado ao ar sem que nenhuma porção de géllo se fundisse no seu interior, porque o calor exterior era interceptado pelas paredes. Depois de bem enxugada interiormente a cavidade, collocava-se n'ella o corpo sobre que se queria experimentar, que tinha sido aquecido até uma temperatura t n'um banho ou n'uma corrente de vapor e de que previamente se tinha determinado o peso P . No fim de algum tempo o corpo tinha-se resfriado até zero; abria-se então o apparelho e pesava-se a agua de fusão que se recolhia com um panno. Se x representa o calor especifico do corpo e p o peso da agua fundida, o calor que o corpo perdeu pelo resfriamento é Pxt e o absorvido pela agua é $p \cdot 79,25$ e como estas quantidades se equivalem, será

$$Pxt = p \cdot 79,25 \text{ e portanto } x = \frac{p \cdot 79,25}{Pt}$$

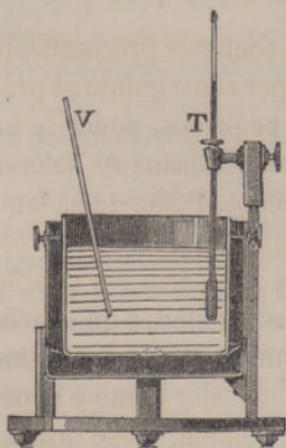
O aparelho de Lavoisier e Laplace, denominado *calorimetro de géllo*, é formado por tres vasos de folha concentricos (fig. 288). As



(Fig. 288)

paredes do vaso interior *C* podem ser, no caso de applicação do aparelho aos solidos, formadas por uma rede de ferro de malhas finas. No vaso central colloca-se o corpo, cujo calor especifico se pretende determinar, e nos dois compartimentos formados pelo vaso central e pelo medio, e por este e pelo externo introduzem-se fragmentos de géllo. O géllo do compartimento medio derrete-se em parte á custa do calor cedido pelo corpo, o do compartimento externo tem por fim impedir que o calor da atmosphaera ambiente influa no processo. Estes dois compartimentos são munidos de torneiras, para o esgoto da agua da fusão. O modo de experimentação é analogo ao do processo de Black. Para se achar o peso *P* recolhe-se e pesa-se a agua proveniente da fusão do géllo contido no compartimento medio. O processo de Lavoisier e Laplace, se evita a difficuldade que ha em obter um pedaço de géllo puro e compacto como o processo de Black exige, apresenta comtudo algumas causas de erro importantes. A principal provém de que fica uma porção de agua adherente ao géllo não fundido. Alem d'isto o ar exterior penetrando

pelas torneiras vae concorrer para o derretimento do géllo. Remedeiam-se em parte estes inconvenientes, operando sobre grandes massas, na temperatura de 4° a 5° e enchendo o calorimetro com géllo saturado de agua.



(Fig. 289)

476. *Methodo das misturas; calorimetro de agua.*—O processo mais geralmente seguido para determinar os calores especificos dos solidos e liquidos, é o methodo das misturas. Este methodo, devido a Black, é directo e permite o attingir grande precisão. O aparelho que se emprega n'este methodo denomina-se *calorimetro de agua* e é constituido por um vaso cylindrico de latão ou de prata, de paredes delgadas e polidas, sustentado por supportes maus conductores do calor. Este vaso (fig. 289)

é constituido por um vaso cylindrico de latão ou de prata, de paredes delgadas e polidas, sustentado por supportes maus conductores do calor. Este vaso (fig. 289)

contém um peso conhecido p de agua na temperatura ordinaria t , e no seu interior está fixo um thermometro muito sensivel T .

O corpo de que se pretende determinar o calor especifico aquece-se até uma temperatura T n'uma estufa ou n'uma corrente de vapor e em seguida lança-se no calorimetro, agitando n'essa occasião a agua que este contém, por meio da vareta de vidro V . A agua aquece-se desde t até uma certa temperatura Θ á custa do calor cedido pelo corpo que se resfria de T até a mesma temperatura. Admittindo que durante a operação o apparelho se não resfria nem pela irradiação, nem pela conductibilidade dos supportes, nem pela evaporação da agua, póde exprimir-se que o calor perdido pelo corpo é igual ao que o calorimetro ganhou. Assim, representando por p' e x o peso e o calor especifico do corpo, por p' e c' , por p'' e c'' e por p''' e c''' , os pesos e calores especificos do vaso calorimetrico, do vidro do thermometro e agitador e do mercurio do thermometro, será:

$$p x (T - \Theta) = (P + p' c' + p'' c'' + p''' c''') (\Theta - t) = P_1 (\Theta - t); \dots (1)$$

$$\text{suppondo} \quad P_1 = P + p' c' + p'' c'' + p''' c'''.$$

Para calcular x , será pois necessario conhecer precisamente c' , c'' e c''' . Como porém p' , p'' e p''' e por conseguinte os productos $p' c'$, $p'' c''$ e $p''' c'''$ são muito pequenos, poder-se-ha calcular estes productos, tomando como exactos os valores de c' , c'' e c''' dados pelos outros methodos. Poder-se-ha tambem fazer por este methodo a determinação dos calores especificos c' , c'' e c''' do latão, vidro e mercurio e a relação anterior fornecerá tres equações a tres incognitas que darão os valores d'essas quantidades. Ao numero P_1 , que exprime o peso total de agua que absorveria tanto calor como o apparelho calorimetrico e tudo o que elle contém, dá-se ordinariamente a denominação de *peso equivalente em agua* do calorimetro.

Na applicação do processo geral á determinação dos calores especificos dos liquidos, são estes previamente encerrados em tubos. Procede-se analogamente com os solidos maus conductores, encer-

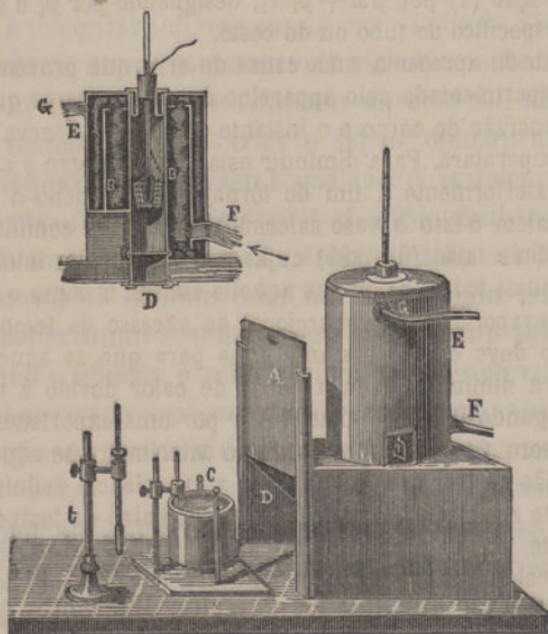
rando-os em cestos de rede metallica, depois de reduzidos a pequenos fragmentos. Em ambos os casos é necessario substituir o producto $p x$ de equação (1) por $p x + p_1 c_1$, designando por p_1 e c_1 o peso e o calor especifico do tubo ou do cesto.

Este methodo apresenta uma causa de erro que provém da perda de calor experimentada pelo aparelho durante o tempo que decorre entre a immersão do corpo e o instante em que se observa o maximo final da temperatura. Para diminuir esta causa de erro o calorimetro é polido exteriormente a fim de tornar mui pequeno o seu poder emissivo; além d'isso o vaso calorimetrico é ainda contido n'um segundo vaso de latão (fig. 289) cujas paredes, polidas interiormente, reflectem quasi todo o calor que aquelle emite. E como o calor perdido pela evaporação é proporcional ao excesso da temperatura, o calorimetro deve conter bastante agua para que se aqueça pouco. Emfim para diminuir ainda a perda de calor devido á irradiação, pôde-se, segundo Rumford, determinar por uma experiencia preliminar o numero de graus $2 n$ de que o calorimetro se aquece depois da immersão do corpo e executar-se a experiencia definitiva, tendo previamente resfriado a agua, de n graus abaixo da temperatura do ar ambiente. Assim o calorimetro ganha primeiro uma certa quantidade de calor até chegar á temperatura do ar ambiente e em seguida perde pela irradiação uma quantidade que seria sensivelmente igual áquella, se as duas phases da experiencia durassem o mesmo tempo, o que não se verifica nunca rigorosamente. Nas determinações rigorosas deve, pois, attender-se sempre á perda de calor experimentada pelo calorimetro durante o tempo decorrido entre a immersão do corpo e a observação da temperatura final. Se $\Sigma \Delta \Theta$ representa a somma algebrica das variações da temperatura provenientes da irradiação, em intervallos de tempo successivos, variações que se determinam pela lei de Newton sobre o resfriamento, a equação (1) transformar-se-ha em

$$p x (T - \Theta) = P_1 (\Theta + \Sigma \Delta \Theta - t),$$

A fim de regularisar quanto possivel as operações, mr. Regnault adoptou um aparelho especial, para determinar os calores especificos dos solidos e liquidos pelo methodo das misturas. A peça principal d'este aparelho é uma estufa E (fig. 290) composta de tres compartimentos cylindricos e concentricos de folha. No compartimento central está suspenso por um fio de seda, um pequeno cesto de rede metallica, no interior do qual se colloca o corpo cuja capacidade calorifica se pretende determinar. Um thermometro fixo na rolha que fecha superiormente este compartimento, tem o seu reservatorio no interior d'aquelle cesto. O segundo compartimento BB , recebe de um alambique, pelo tubo F , uma corrente de vapor, que depois de ter circu-

lado em torno do tubo central, passa para o compartimento exterior destinado a impedir o resfriamento da estufa, saindo finalmente pelo



(Fig. 290)

tubo *G* para um refrigerante. O compartimento central é inferiormente fechado por um registro em fôrma de gaveta, que se abre ou fecha á vontade, por meio da peça *r*. A estufa assenta por intermedio de uma placa de cortiça na parte superior de uma caixa metálica de paredes duplas, cheia de agua e que tem por fim evitar que o calor da estufa e do alambique vá influir na temperatura do calorimetro *c*, que se introduz na camara *D*, formada por aquella caixa e por anteparos de madeira. Na parte superior da caixa ha uma abertura correspondente ao registro da estufa.

Para operar com este aparelho, depois de aquecer na estufa, durante duas horas, o corpo de que se quer obter o calor especifico, até uma temperatura que o thermometro indica, introduz-se o calorimetro na camara *D*, baixa-se o anteparo *A*, tira-se a rolha do compartimento central da estufa e deixa-se cair na agua do calorimetro o esto metálico com o corpo, depois de ter aberto o registro respectivo. Levanta-se em seguida o anteparo, e leva-se de novo o calorimetro á sua primitiva posição, procedendo-se depois como no processo geral. Para operar com os liquidos, são estes introduzidos em tubos collocados no compartimento central da estufa. Mr. Regnault modificou ainda este aparelho, a fim de poder operar em todas as temperaturas e para operar mais commodamente no caso dos liquidos.

477. *Calores especificos dos gazes e vapores.*—Em geral a temperatura de uma massa gazosa eleva-se ou baixa quando essa massa diminue ou augmenta de volume. Assim por exemplo, collocando um thermometro muito sensivel no recipiente da machina pneumatica, observa-se que a temperatura baixa quando se faz o vacuo e sobe quando se deixa de novo penetrar o ar. Gay-Lussac, para comparar o augmento ou diminuição de temperatura, produzida por uma compressão e uma expansão iguaes, empregava dois grandes balões, unidos por um tubo munido de torneira, e no interior dos quaes havia thermometros muito sensiveis. Depois de rarefazer o ar n'um d'elles e quando a temperatura era uniforme em ambos, abria a torneira, observando sempre que augmentava a temperatura no vaso em que a pressão se tornava maior.

Como os gazes experimentam variações de temperatura quando são comprimidos ou rarefeitos, parece provavel que devem absorver quantidades de calor differentes quando se aquecem do mesmo numero de graus, mantendo-os sob pressão constante ou sob volume constante. D'aqui resulta que para os gazes se póde considerar a capacidade calorifica sob volume constante e pressão variavel, sobre pressão constante e volume variavel e talvez tambem sob volume e pressão variaveis. Tem-se unicamente executado experiencias para a determinação do calor especifico sobre pressão constante.

As difficuldades com que têm lutado os diversos experimentadores para determinarem o calor especifico dos gazes, resultam principalmente da instabilidade de temperatura, da pressão e estado hygrometrico que estes apresentam, assim como da sua pequena densidade. Tem-se empregado n'essa determinação o methodo das misturas. Como para se obter um aquecimento sensivel é necessario fazer passar o gaz muito tempo pelo apparelho, esta demora concorre para que aquellas diversas causas de erro influam poderosamente nos resultados.

Os calores especificos dos gazes podem referir-se como os dos solidos e liquidos, ao da agua ou ainda ao do ar. E como

é mais facil avaliar o volume de uma dada massa gazosa de que o seu peso, referem-se de ordinario ao volume o calor especifico dos gazes e vapores, podendo então definir-se a quantidade de calor necessario para elevar de 1° a temperatura da unidade de volume de um gaz ou vapor submettidos a uma certa pressão, em relação á que seria necessaria para um mesmo volume de ar nas mesmas condições.

A determinação dos calores especificos dos vapores está intimamente ligada com a dos calores latentes, que aquelles abandonam para passar ao estado liquido. Por isso aquella determinação é muito mais complexa que a dos gazes.

Conhecido o calor especifico K , referido á unidade de volume, póde facilmente passar-se d'elle para o calor especifico c , referido á unidade de peso. Effectivamente se V designa o volume correspondente ao peso p , será $cp = VK$, donde se tira $c = \frac{VK}{p} = \frac{K}{\delta}$, se δ representa a densidade do gaz ou do vapor.

478. *Idéa das experiencias de Berard e Delaroche e de mr. Regnault.*— As experiencias mais notaveis para a determinação da capacidade calorifica dos gazes, sob pressão constante e volume variavel, são as de Berard e Delaroche, executadas em 1812 e as de mr. Regnault.

Nas experiencias de Berard e Delaroche, o gaz contido dentro de uma bexiga era premido por uma corrente continua de agua proveniente de um vaso de Mariotte e caminhava com velocidade constante no interior de um tubo, aquecido pelo vapor de agua e onde adquiria uma temperatura que se determinava com rigor. Em seguida passava para uma serpentina cercada de agua, aquecendo-se esta e resfriando-se o gaz. Este, depois de ter adquirido a temperatura de agua da serpentina, que representa o calorimetro, entrava n'uma bexiga semelhante áquella de que tinha partido e d'onde podia sair de novo para a primeira passando pelo tubo aquecido e depois pelo refrigerante, em virtude de um systema de tubos habilmente dispostos. Podia-se assim com uma pequena quantidade de gaz repetir a experiencia tantas vezes quantas se queria. Berard e Delaroche, tendo em attenção o resfriamento do apparelho, mediram a capacidade de differentes gazes em relação ao ar e depois a capacidade d'este em relação á agua, que acharam ser igual a 0,2669. Os erros commettidos por estes habeis experimentadores provinham principalmente da imperfeição dos instrumentos, e de não terem conhecimento dos phenomenos de osmose.

Nas experiencias de mr. Regnault o gaz puro e secco accumulava-se n'um reservatorio onde adquiria a temperatura do banho que o cercava, sendo a pressão medida por um manometro de ar livre. D'este reservatorio o gaz dirigia-se para uma serpentina, mergulhada n'um banho de azeite, aquecido inferiormente por uma lampada e mantido em temperatura constante por meio de agitadores. O gaz adquiria na serpentina a temperatura d'este ultimo banho e passava em seguida para o calorimetro de agua, onde depois de atravessar successivamente diversos tubos em espiral, tomava finalmente a temperatura da agua. Para regular quanto possivel o aquecimento do gaz na serpentina, este atravessava o aparelho com velocidade constante, passando por um tubo munido de um parafuso, cuja extremidade de fórma conica podia fechar mais ou menos um orificio por onde se effectuava a passagem do gaz. Para determinar o peso do gaz que atravessava o aparelho durante um certo tempo, Mr. Regnault não se servia da lei de Mariotte, mas sim de uma formula empyrica especial por elle obtida e na qual se attendia á temperatura e diminuição de pressão no reservatorio. Mr. Regnault applicou successivamente este processo aos gazes e vapores.

479. *Relações entre o calor especifico e o estado de aggrgação e densidade.*—A applicação dos diversos processos á determinação dos calores especificos mostra que, em geral, os liquidos têm capacidades calorificas superiores ás dos solidos e gazes, e que o calor especifico da agua é maior que o dos outros corpos. É por esta rasão que a agua se aquece e se resfria lentamente e tem grande poder resfriante. E é por isso tambem que se toma, geralmente, a sua capacidade calorifica como unidade.

O que se diz relativamente aos corpos nos tres estados comparados entre si, pelo que respeita ás suas capacidades calorificas, pôde dizer-se igualmente em relação ás substancias que se podem apresentar nos tres estados. Em geral o calor especifico que corresponde ao estado solido é menor que o correspondente ao estado liquido e ás vezes igual ao do estado gazoso. Assim, por exemplo, a agua apresenta no estado solido uma capacidade calorifica que varia entre 0,474 e 0,504, e no estado gazoso a capacidade de 0,475, sendo, como se sabe, 1 a sua capacidade calorifica no estado liquido.

Em geral, os corpos mais densos são os que têm maior calor especifico: assim, por exemplo, os metaes absorvem

pouco calor para se aquecerem, e o mesmo mercurio, apesar de liquido, tem pequeno calor especifico, sendo por isso muito proprio para medir as temperaturas. O hydrogenio, que é o corpo menos denso que se conhece, é o unico corpo que tem maior capacidade calorifica do que a agua.

480. *Variações dos calores especificos dos solidos, liquidos e gazes.*—O calor especifico dos solidos depende do modo de aggregação das moleculas e varia por conseguinte com as acções mechanicas ou physicas que o podem modificar. Póde dizer-se, em geral, que as capacidades calorificas dos solidos diminuem quando a sua densidade augmenta. Assim se para alguns corpos, como o aço e o metal dos cymbalos, o calor especifico se conserva o mesmo, qualquer que seja o estado physico d'essas substancias, não acontece o mesmo com o carbonio, o enxofre, o carbonato calcareo e o cobre. Assim, por exemplo, ao passo que o calor especifico do diamante é expresso por 0,14687, o da graphite é expresso por 0,20187, o do carvão de madeira por 0,24150, e o do negro animal por 0,26086. Como a densidade dos liquidos é sensivelmente constante, não ha que attender n'elles á influencia da alteração da densidade. Com relação aos gazes e vapores, mr. Regnault demonstrou que o seu calor especifico é independente da pressão, ao contrario do que tinham supposto Delaroche e Berard.

No estabelecimento da expressão que dá a quantidade do calor ganho ou perdido por um corpo que se aquece ou se resfria, suppoz-se que a quantidade de calor ganho pela unidade de peso de um corpo que se aquece de 0° a t° era ct , ou que as quantidades de calor que um corpo absorve ou cede quando passa de t° para t'° são proporcionaes ás differenças $t - t'$. Para verificar se esta proporcionalidade existe, basta determinar o valor de c entre limites de temperatura diversos. Operando d'este modo reconheceram varios observadores que o calor especifico dos solidos, é sensivelmente constante de 0° a 100° ; porém que augmenta quando o limite superior de temperatura se eleva. Nos liquidos, as variações da capacidade calorifica com a temperatura, são mais sen-

siveis, mesmo abaixo de 100°. Os seguintes quadros mostram os valores medios das capacidades calorificas medias de alguns solidos e liquidos entre diversos limites de temperatura.

Capacidades calorificas de alguns solidos, segundo Petit e Dulong

	De 0° a 100°	De 0° a 300°
Ferro	0,1088	0,1218
Mercurio.....	0,0330	0,0350
Zinco.....	0,0327	0,1015
Antimonio.....	0,0507	0,0549
Prata	0,0557	0,0611
Cobre.....	0,0949	0,1013
Vidro.....	0,1170	0,1900

Capacidades calorificas de alguns liquidos, segundo mr. Regnault

	De 20° a 45°	De 45° a 40°	De 40° a 5°
Mercurio.....	0,0282	0,0283	0,0290
Sulhpureto de carbonio ...	0,2179	0,2183	0,8206
Ether.....	0,5207	0,5158	0,5157
Alcool	0,5957	0,6017	0,6148
Espirito de pau.....	0,5901	0,5863	0,6009

Mr. Regnault, operando com o ar atmosferico e com o anhydrido carbonico, reconheceu que o calor especifico d'este augmentava com a temperatura, ao passo que o do ar se conservava constante. É provavel que os gazes que seguem a lei de Mariotte se comportem como o ar, e que os que possuem maior compressibilidade estejam no caso do anhydrido carbonico. Os primeiros são, pois, eminentemente proprios para medir as temperaturas, porque absorvem quantidades de calor independentes da pressão e proporcionaes ás temperaturas dadas pelo thermometro de ar, isto é, proporcionaes ás suas dilatações.

Exceptuando pois estes gazes, pôde dizer-se, em geral, que o calor especifico de um corpo qualquer cresce com as temperaturas e não é proporcional á dilatação.

481. *Lei da capacidade calorifica dos atomos.*—Petit e Dulong, tendo determinado o calor especifico de um certo numero de corpos simples, enunciaram a seguinte lei: *o producto da capacidade calorifica de um corpo simples pelo respectivo peso atomico é uma quantidade constante.* Aquelle producto constante constitue o *calor especifico atomico*, isto é o calor necessario para aquecer de 1° um atomo, ou o mesmo numero de atomos de qualquer corpo simples. A lei de Petit e Dulong pôde, pois, enunciar-se pela seguinte maneira: A mesma quantidade de calor aquece igualmente um atomo de todos os corpos simples.

No seguinte quadro estão indicados alguns resultados obtidos por mr. Regnault com relação aos corpos simples. Nos productos *cp* que, exprimem os calores especificos atomicos, os pesos atomicos referem-se ao do hydrogenio, tomado como unidade.

Substancias	Calores especificos	Productos <i>cp</i>
Potassio.....	0,16956 —	6,613
Sodio.....	0,2934 —	6,748
Ferro.....	0,11379 —	6,372
Zinco.....	0,09555 —	6,022
Cobre.....	0,09515 —	5,994
Prata.....	0,05701 —	6,157
Arsenico.....	0,08140 —	6,105
Chumbo.....	0,03140 —	6,400
Estanho.....	0,05623 —	6,635
Platina.....	0,03243 —	6,389
Oiro.....	0,03244 —	6,375
Enxofre.....	0,20259 —	6,483
Iodo.....	0,05412 —	6,873
Bromio solido.....	0,08432 —	6,746
Mercurio liquido.....	0,03332 —	6,664
Phosphoro.....	0,1887 —	5,850
Diamante.....	0,14687 —	1,762
Negro animal.....	0,26085 —	3,130

Vê-se pois, que, em geral, os productos *cp*, posto não sejam iguaes, são comtudo comprehendidos entre limites restrictos, e que por consequente se deve admittir como verdadeira a lei de Dulong. Com effeito deve-se attender, não só á difficuldade que ha em preparar os

corpos puros, mas tambem a que o calor especifico medio de uma substancia varia com o seu estado molecular e com os limites de temperatura entre os quaes é determinado. O conhecimento d'esta lei é hoje de grande importancia para a determinação dos pesos atomicos dos corpos simples. Toma-se, geralmente, como valor medio do producto *cp*, o numero 6,666.

482. *Leis da capacidade calorifica dos corpos compostos.*—Neumann estudando os sulfatos e carbonatos, reconheceu que os productos dos calores especificos d'estas substancias, pelos respectivos pesos moleculares, eram constantes, qualquer que fosse o elemento metallico que figurasse no sal. Achou porém que esses productos eram diferentes para os saes correspondentes a acidos diversos. E mr. Regnault, depois de ter experimentado, por meio do methodo das misturas, sobre um grande numero de corpos compostos, estabeleceu as seguintes leis:

1.º *O calor especifico das ligas, longe do seu ponto de fusão, é a media dos calores especificos dos metaes componentes, ou, por outra, o producto do calor especifico da liga pelo respectivo peso molecular, tem proximamente o mesmo valor que o correspondente aos corpos simples*

2.º *Em todos os compostos de composição atomica identica e de constituição chimica semelhante, os calores especificos estão na razão inversa dos pesos moleculares.*

SECÇÃO 2.ª

Determinação dos calores latentes

483. *Medida do calor latente de fusão.*—Quando um corpo solido passa ao estado liquido, absorve um certo numero de calorías e se inversamente este mesmo corpo passa do estado liquido ao estado solido, abandona o mesmo numero de calorías; este numero representa calor latente (434), porque é effectivamente inapreciavel para os nossos sentidos e apparatus thermometricos. Assim denomina-se *calor latente de fusão* de uma substancia o numero de calorías que a unidade de peso d'essa substancia absorve quando se funde ou abandona quando se solidifica, sem que a temperatura varie. Podem-se distinguir dois casos, segundo o corpo é liquido ou solido á temperatura ordinaria.

Para determinar o calor latente de fusão de um corpo que é liquido á temperatura ordinaria, faz-se congelar um peso

conhecido p d'esse corpo, resfriando-o até uma temperatura $-t$ e, em seguida, mergulha-se n'um calorimetro, contendo agua previamente aquecida até uma temperatura T , superior á da fusão τ da substancia. Representem x o calor especifico procurado, c e c' as capacidades calorificas do corpo nos estados solido e liquido e Θ , a temperatura final da mistura operada no calorimetro. O corpo aquecendo-se até o ponto de fusão τ , absorve $pc(t + \tau)$, depois fundindo-se absorve px conservando-se na temperatura τ , e finalmente aquecendo-se de τ a Θ absorve $pc'(\Theta - \tau)$. Portanto, se P representa o peso equivalente em agua do calorimetro, será

$$(1) \dots\dots pc(t + \tau) + px + pc'(\Theta - \tau) = P(T - \Theta)$$

formula que permittirá o deduzir x quando se conheçam os valores de c e c' .

Se o corpo é solido á temperatura ordinaria funde-se, primeiramente, um peso p d'esse corpo a uma temperatura t superior á da sua fusão τ e depois lança-se fundido n'um calorimetro, contendo agua n'uma temperatura inferior a τ . É facil de ver que o calor latente de fusão x , se poderá deduzir da equação.

$$(2) \dots\dots pc'(t - \tau) + px + pc(\tau - \Theta) = P(\Theta - T)$$

conservando as notações precedentes.

Em seguida indicaremos alguns dos resultados obtidos por mr. Person.

Substancias	Ponto de fusão	Calor especifico		Calor latente	
		c	c'	Observado	Calculado
Agua.....	0,0	0,504	1,000	79,25	79,20
Phosphoro.....	44, 2	0,1788	0,2045	5,034	5,243
Enxofre.....	115, 2	0,2026	0,134	9,368	9,350
Azotato de potassio	339, 0	0,2387	0,332	47,371	46,462
Estanho.....	237, 7	0,0562	0,0637	14,252	»
Chumbo.....	326, 2	0,0314	0,0402	5,369	»
Prata.....	»	0,05709	»	21,07	»
Mercurio.....	»	»	0,03332	2,83	»

484. *Calor latente do géllo.*—Black, a quem se deve a distincção entre calor latente e calor livre, foi o primeiro que procurou determinar o calor latente do géllo. Depois d'elle differentes experimentadores têm de novo feito essa determinação.

Mrs. de la Provostaye e Desains serviram-se do methodo das misturas, empregando o calorimetro ordinario. Para isso projectavam um fragmento de géllo, préviamente secco entre dobras de papel, no vaso calorimetrico, contendo agua na temperatura T ; e, seguiam cuidadosamente a marcha decrescente das temperaturas até observarem a temperatura final Θ , quando o géllo estava completamente fundido. A equação (1) do numero anterior simplificando-se, dava

$$p(x + \Theta) = P(T - \Theta)$$

que servia para determinar x . O peso p do géllo era determinado, subtrahindo do peso do calorimetro, depois da observação de Θ , o peso primitivo P menos o peso da agua que se tinha evaporado durante a experiencia, e que se conhecia facilmente em virtude de algumas experiencias preliminares. Mr. de la Provostaye e Desains corrigindo, quanto possivel, todas as causas de erro, obtiveram para x o valor 79,25.

Mr. Person seguiu, nas suas experiencias, o methodo geral indicado no numero anterior. Na determinação do calor latente do géllo, mr. Person empregou como calorimetro um vaso de cobre fechado por uma tampa e collocado sobre um suporte mau conductor. A agua interior era continuamente agitada e o thermometro fixo interiormente, e era observado por meio de um oculo. O peso p da agua, sobre que operava, estava n'uma pequena garrafa de cobre, no interior da qual havia um outro thermometro. Depois de a ter resfriado até $-t$, immergia a garrafa no calorimetro, cuja temperatura era t e deixando aquecer o géllo durante algum tempo. Antes do géllo começar a fundir-se a sua temperatura subia a $-t'$ e a do calorimetro descia a Θ' . Depois fundindo-se o géllo, a mistura attingia uma temperatura uniforme Θ e a equação (1) do numero anterior dava

$$pc(t - t') = P(T - \Theta')$$

$$pc(t - \tau) + px + p(\Theta - \tau) = P(T - \Theta)$$

A primeira d'estas equações serve para determinar c e a segunda para calcular x .

Mr. Person achou $c = 0,504$ e $x = 79,2$.

485. *Formula que liga o calor latente com os calores especificos; zero absoluto.*—Person, fundado em varias considerações theoricas, deduziu a seguinte formula que liga o calor latente l de uma substancia com os calores especificos c e c' da mesma substancia no estado solido e liquido:

$$l = (c' - c) (\tau - T),$$

na qual τ representa a temperatura de fusão e T uma constante, que Person achou ser para todas as substancias que não têm cohesão apreciavel, igual a -160° . No quadro do numero anterior estão na ultima columna os valores calculados pela formula. Deve-se porém advertir que esta é empyrica, não se applica aos metaes e suppõe que c e c' são constantes, o que não é verdadeiro.

Person procurou estabelecer que a temperatura -160° é a do zero absoluto, isto é, aquella em que os corpos não possuem calor algum. Segundo Pouillet, é esta tambem a temperatura dos espaços planetarios.

Clement e Desormes, partindo do coefficiente medio $\frac{1}{273}$ de dilatação dos gazes, suppõem que o zero absoluto corresponde a -273° , porque n'esta temperatura a contracção igualaria o volume, que seria por consequente nullo.

486. *Calor latente de vaporação.*—O numero de calorías que um corpo absorve pelo facto da vaporação é igual ao que abandona pelo facto da liquefacção do seu vapor e denomina-se segundo a theoria material, calor latente porque os nossos sentidos e os apparatus thermometricos não o podem apreciar. Denomina-se, pois, *calor latente de vaporação ou de elasticidade*, o numero de calorías que a unidade de peso de uma substancia absorve ou abandona quando passa do estado liquido ao de vapor saturado, ou quando experimenta a transformação contraria.

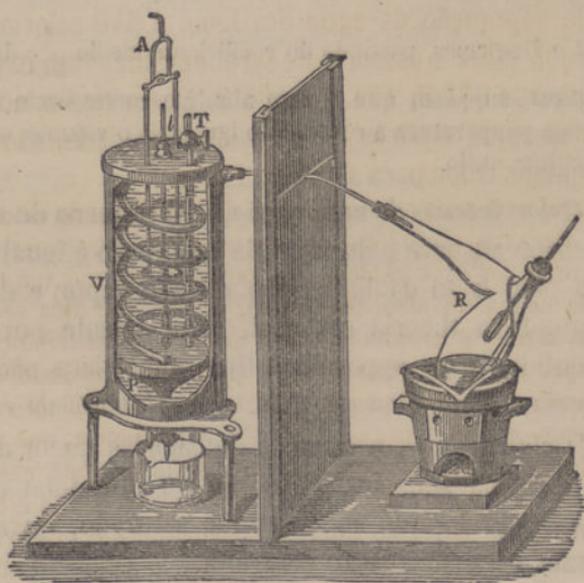
As operações que servem para determinar o calor latente de vaporação dão ao mesmo tempo as capacidades calorificas dos vapores. Distilla-se um peso conhecido p do liquido que se pretende estudar, e faz-se passar o vapor por uma serpentina cercada de oleo, mantido na temperatura T superior á τ da ebullição do liquido e depois para o calorimetro, cuja tempe-

ratura se eleva de t a Θ . Então, se c' e c'' representam os calores específicos do corpo no estado liquido e de vapor, e x o calor latente procurado, ter-se-ha

$$p c'' (T - \tau) + p x + p c' (\tau - \Theta) = P (\Theta - t)$$

E repetindo a operação, aquecendo o vapor até a temperatura T' , ter-se-ha uma outra equação analogo a esta. D'estas duas equações póde-se deduzir o calor específico do vapor c'' em função da capacidade calorifica media c' e igualmente o calor latente x .

O methodo outr'ora empregado para a determinação do calor latente de vaporação é mais simples, porém menos preciso que o descripto, sendo analogo ao methodo seguido para medir a capacidade calorifica dos gazes em relação á agua. O vapor é produzido n'uma retorta R (fig. 291), onde a sua



(fig. 291)

temperatura é indicada por um thermometro e dirige-se para uma serpentina mergulhada em agua fria. O vapor condensando-se na serpentina cede a esta e á agua em que se acha mergulhada o seu calor latente. A agua proveniente da con-

densação recolhe-se no recipiente P e pesando-o, depois, obtem-se o peso do vapor que atravessou a serpentina. Um agitador A serve para tornar uniforme a temperatura das camadas liquidas contidas no vaso V , a qual é dada pelo thermometro t . Finalmente o recipiente P communica com um tubo terminado por uma torneira T , que pôde servir quando se pretende fazer variar a pressão interior. N'este caso as duas equações anteriores reduzem-se a

$$p x + p c' (\tau - \Theta) = P (\Theta - t).$$

Porém este processo está sujeito a diversas causas de erro, porquanto uma parte do vapor se condensa no collo da retorta e no tubo de comunicação e vae juntar-se ao que se condensa na serpentina, é porque o calorimetro se aquece por conductibilidade.

Mr Despretz, seguindo este processo, achou que o calor latente de vaporação da agua era igual a 540 calorias e que os do alcool, ether e essencia de terebenthina eram expressos pelos numeros 331,9, 174,5 e 166,2. Despretz fez notar que os liquidos cujos vapores têm maior densidade, são os que exigem menos calor para se volatilisarem.

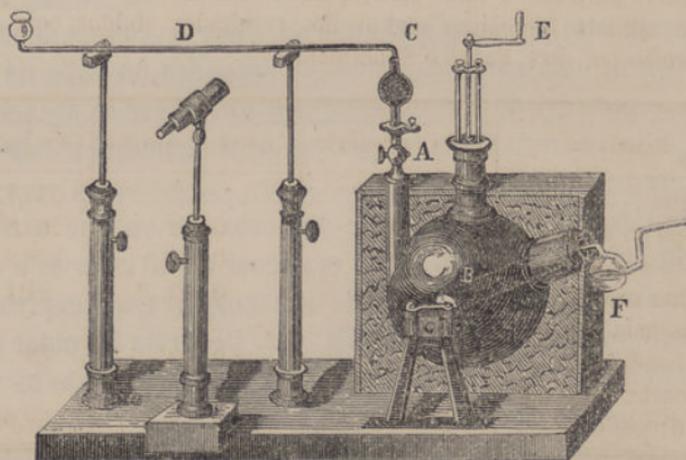
As experiencias mais precisas para a determinação do calor latente do vapor de agua são as de mr. Regnault. N'estas experiencias o vapor, gerado por uma caldeira de 300 litros, sáe por um tubo que começando acima do nivel do liquido, circula por uma serpentina no interior d'este, e termina por uma torneira de distribuição especial. O vapor dirige-se primeiramente para um condensador, com o qual se interrompe a comunicação, logoque a distillação se opera regularmente, e depois para um de dois calorimetros, que têm um peso conhecido de agua, continuamente agitada. Cada calorimetro contém dois balões de cobre onde o vapor se condensa e uma serpentina que parte do balão inferior e communica com um reservatorio de folha do ferro de 600 litros, contendo ar e mergulhado em agua. A pressão do ar n'este reservatorio é medida por um manometro de ar livre e serve para indicar a temperatura do vapor nos calorimetros. Mr. Regnault, tendo em attenção todas as causas de erro, mediu o calor latente do vapor de agua desde 0,2 a 14 atmosferas e comprehendeu os resultados das suas experiencias na seguinte formula

$$\lambda = 606,5 + 0,305 t,$$

em que λ representa o calor total, isto é, o calor latente e o calor específico que se pôde representar pela temperatura t do vapor. Assim a 100° , acha-se $\lambda = 637$ e portanto o calor latente é igual a 537.

487. *Calorimetro de mercurio de Fabre e Silbermann.*—O calorimetro de mrs. Fabre e Silbermann é de todos os apparatus calorimetricos o que mais justificadamente merece este nome, porque dá directamente o numero de calorías, pelo movimento de uma columna de mercurio n'um tubo graduado. Serve igualmente para determinar o calor específico e latente e o que se desenvolve nas acções chímicas.

Compõe-se este apparatus de um balão (fig. 292) de vidro ou de



(Fig. 292)

ferro, cheio de mercurio, com a capacidade de um a dois litros e munido de varias tubuladuras. A duas d'ellas, que se abrem para o exterior, estão adaptados provetes metallicos B , no interior dos quaes se collocam as substancias sobre que se quer experimentar. Pelo lado opposto, o balão communicá com um tubo capillar de vidro ACD , dividido em partes de igual capacidade. Um embolo movido pela manivella E serve para levar o vertice da columna de mercurio ao zero das divisões do tubo. Como se vê, constitue este instrumento um thermometro de grande reservatorio e haste extremamente fina. Para evitar o resfriamento está o reservatorio fechado n'uma caixa cheia de algodão em rama.

Para graduar o tubo ACD , depois de levar o vertice da columna de mercurio ao zero, introduz-se no provete B uma pipeta F contendo um peso P de agua na temperatura T . Quando esta tem adquirido a temperatura t do mercurio e perdido por conseguinte $P(T-t)$ calorías, o vertice da columna tem percorrido no tubo um certo nu-

mero n de divisões. Logo o deslocamento correspondente a uma caloria e que serve de unidade na graduação é $\frac{n}{P(T-t)} = a$.

Para determinar o calor latente do vapor de um liquido dado, faz-se distillar, para o provete, na temperatura T um peso conhecido p d'esse liquido. Pela condensação, o vapor perde $px + pc(T - \Theta)$ calorias, se c representa o calor especifico do liquido e Θ a temperatura final. E o vertice da columna de mercurio tendo percorrido m divisões, ter-se-ha

$$px + pc(T - \Theta) = \frac{m}{a}$$

que serve para dar o valor de x , quando se conhece c .

Em seguida indicâmos alguns dos resultados obtidos com este apparelho por mrs. Fabre e Silbermann

Substancias	Ponto de ebullição	Capacidade calorifica	Calor latente
Agua	100°	1	535,77
Espirito de pau ..	66°,5	0,671	263,8
Alcool absoluto...	78°	0,644	208,9
Ether ordinario ..	38	0,503	91,1
Essencia de terebenthina	157	0,503	69
Bicarbureto de hydrogenio	200 a 210	0,494	59,91

CAPITULO IV

Propagação do calor

SECÇÃO 1.^a

Irradiação

488. *Calor irradiante; leis da irradiação.*—Quando se colloca um corpo na proximidade ou junto de substancias mais frias do que elle, reconhece-se sempre que a temperatura d'estas augmenta progressivamente ao passo que a d'aquelle diminue. O calor transmite-se pois d'uns para ou-

tros corpos ou rapidamente e a distancia através do espaço ou lentamente de molecula em molecula na massa dos corpos em contacto. No primeiro caso o calor transmite-se por *irradiação* e no segundo por *conductibilidade*. O calor pôde ainda propagar-se por *convecção* ou transporte de massas fluidas aquecidas, d'um ponto para outro.

A propagação de calor através do espaço ou a sua *irradiação* é demonstrada pela observação quotidiana da transmissão do calor do sol e dos diversos focos calorificos através do ar, do vidro e, em geral, dos differentes corpos transparentes. Antigamente pensava-se que o calor se transmittia nos differentes meios pelo aquecimento successivo das suas diversas camadas, porém hoje admite-se geralmente, que o calor caminha directamente através dos diversos meios sem lhes alterar sensivelmente a temperatura e atravessando-as instantaneamente como a luz. Demais, o que prova que a irradiação do calor se não verifica pelo aquecimento successivo do meio que atravessa, é o facto da propagação do calor através do vacuo. O calor solar, por exemplo, para chegar á terra atravessa os espaços planetarios, onde não é possível admitir a existencia da materia, e o mesmo phenomeno se verifica com o calor proveniente de quaesquer corpos em ignição ou sómente quentes sem estarem luminosos, o que se pôde demonstrar directamente. Para isso emprega-se um barometro terminado superiormente por um balão, no centro do qual se acha o reservatorio de um pequeno thermometro. Quando se aproxima um corpo quente ao balão, o qual está perfectamente vazio, observa-se que a columna thermometrica sobe rapidamente. Este effeito só pôde ser attribuido á irradiação do calor no vacuo, porque, como veremos, o calor caminha mui lentamente no vidro.

A transmissão do calor, n'um meio homoganeo, verifica-se em linha recta, porque collocando, entre uma fonte calorifica e um thermometro, uma serie de anteparos munidos de pequenos orificios, só quando estes se acham todos na linha recta que une a fonte de calor ao thermometro é que este é influenciado por ella.

Qualquer corpo homogêneo, de que todos os pontos têm a mesma temperatura, irradia igualmente em todos os sentidos, o que se prova collocando em torno do corpo e á mesma distancia thermómetros iguaes que accusarão temperaturas sensivelmente iguaes. E as differenças que se poderão notar resultam do aquecimento do meio que circumda o corpo quente.

489. *Raios caloríficos, irradiação visível e invisível.*—A experiencia demonstra que o calor segue na sua propagação através dos diferentes meios as mesmas leis do que a luz, e é por isso que se adoptam no estudo do calor irradiante os mesmos termos ou termos analogos áquelles que o uso tem consagrado para o estudo da luz. Assim chama-se raio de calor ou calorífico, a linha segundo a qual o calor se propaga, e denomina-se feixe calorífico o espaço conico ou prismático em todos os pontos do qual passam raios de calor que emanam de um ponto ou de uma superficie.

A irradiação do calor é tambem muitas vezes irradiação de luz. É por isso e pela analogia que ha entre o calor e a luz, que se admite que a velocidade da propagação do calor é sensivelmente igual á velocidade da luz.

Os raios caloríficos incapazes de produzir impressão sobre o órgão visual, ou porque não attingem a parte sensível d'esse órgão, ou porque, attingendo-a, não têm acção sobre ella, denominam-se raios obscuros ou invisíveis, em contraposição com os que impressionam o órgão visual, os quaes se chamam visíveis ou luminosos. Como não ha na natureza corpos absolutamente frios, porque um corpo frio é sempre quente em relação a outro menos frio do que elle, segue-se que todos os corpos não luminosos emittem raios caloríficos obscuros.—A experiencia mostra que é necessario uma certa temperatura para que os raios caloríficos que emanam de um corpo possam actuar sobre a parte sensível do apparelho visual. Fazendo, por exemplo, passar uma corrente electrica de intensidade gradualmente crescente através de um fio de platina, a temperatura d'este augmenta progressivamente, conservando-se elle ainda obscuro, e n'uma temperatura elevada emittê

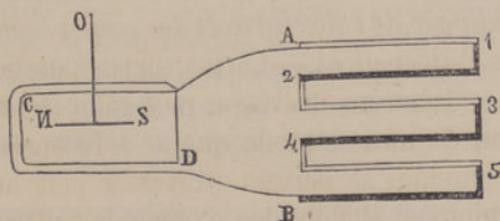
uma fraca luz vermelha que se aviva progressivamente passando por diferentes cambiantes, á medida que a intensidade da corrente cresce, até que finalmente a platina emite uma luz branca brilhantissima, semelhante á luz do sol.

490. *Irradiação do calor através dos corpos; substancias diathermicas e athermicas.*—Certos corpos possuem a propriedade de se deixarem atravessar pelo calor irradiante sem se aquecerem, do mesmo modo que as substancias diaphanas ou transparentes se deixam atravessar pela luz sem se tornarem luminosas. Melloni deu o nome de substancias *diathermanas* ou *diathermicas* áquellas que dão livre passagem ao calor irradiante, e o de *athermicas* ou *athermanas* ás que não possuem esta propriedade. É assim que o calor atravessa o ar e o vidro que nos separam dos focos calorificos. Por muito tempo se pensou, porém, que o calor obscuro e mesmo que o calor luminoso, emanando de um corpo pouco incandescente, era interceptado pelos solidos transparentes. Petit foi o primeiro que observou que os raios do calor emanando de um vaso com agua ebulliente, podiam atravessar o vidro.

Os solidos e liquidos podem ser diathermicos em graus diversos, segundo a sua natureza, espessura, estado de superficie e natureza do foco calorifico. O ar e, em geral, os gazes simples são muito diathermicos e entre os solidos os metaes são athermicos. Apesar da analogia que existe entre o calor irradiante e a luz, o poder diathermico dos corpos não tem relação com o seu grau de transparencia. Assim o crystal de rocha defumado ou negro, em igualdade de espessura, deixa passar mais calor que o alumen perfeitamente diaphano.

491. *Thermo-multiplicador; banco de Melloni.*—O aparelho thermometrico de que Melloni, Tyndall e outros observadores se serviram nas suas experiencias sobre o calor irradiante denomina-se thermo-multiplicador. Este aparelho consta de duas partes distinctas: uma pilha thermo-electrica e um galvanometro. A pilha thermo-electrica compõe-se de uma serie de pequenas barras de antimonio e bismutho soldadas alternadamente, constituindo um circuito continuo

A B contornado sobre si mesmo (fig. 293) de modo que as suturas pares ficam todas de um lado e as impares do outro. As extremidades d'esta cadeia estão ligadas por um fio me-



(Fig. 293)

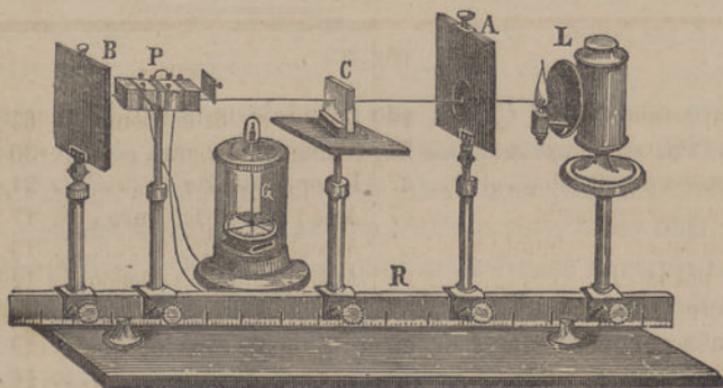
tallico continuo $A C D B$, que circunda uma agulha magnetica NS , suspensa por um fio, constituindo esta ultima parte o galvanometro. Ora n'este systema, quando as suturas de um lado estão mais quentes que as do outro, estabelece-se uma corrente electrica em todo o apparelho, a qual produz um desvio na agulha magnetica, tendendo a dirigil-a na direcção perpendicular á do circuito. Este desvio, que é tanto maior, quanto maior é o excesso de temperatura entre a face da pilha que recebe o calor e a outra, mede-se n'um limbo graduado¹.

Na pilha thermo-electrica de Nobili as barras de bismutho e antimonio, encerradas n'um estojo de latão, constituem um feixe paralelepipedo no qual as suturas pares e impares formam as duas faces oppostas. A cadeia metallica termina de ambos os lados por cavilhas de latão, a que se adaptam os extremos do fio que põe em communicação a pilha com o fio do galvanometro.

Nas suas experiencias sobre a diathermanidade dos solidos e liquidos serviu-se Melloni de um apparelho que se denomina *banco de Melloni*. Este apparelho é constituído por uma prancha de madeira, munida de parafuzos niveladores, sobre a qual assenta uma régua metallica R (fig. 294), em que se fixam por meio de parafuzos de pressão diferentes suppor-

¹ A pilha thermo-electrica e o galvanometro serão descriptos no livro 5.º

tes metallicos, que sustentam as diversas partes do aparelho. Estas peças são: uma fonte calorifica L (lampada de Locatelli); diferentes anteparos A, B, formados por laminas de latão e moveis em torno de uma charneira horizontal; uma pequena mesa de madeira, na qual se colloca a substancia C que o calor deve atravessar, a pilha thermo-electrica P cujas faces oppostas, cobertas de negro de fumo, são guarnecidas de tubos parallelepipedos de latão, que se podem fechar.



(Fig 294)

A pilha está ligada por um fio conductor, com o galvanometro G, collocado n'uma posição invariavel. Para avaliar a quantidade de calor transmittido através de um corpo collocado sobre a mesa dispõe-se a fonte calorifica de modo que o desvio da agulha do galvanometro seja de 30° , por exemplo, quando os raios calorificos cáem livremente sobre a pilha, e depois interpõe-se um anteparo, e, quando a pilha se tem resfriado completamente e portanto a agulha voltado ao zero, colloca-se então a substancia sobre a mesa e levanta-se o anteparo. Observa-se o arco descripto pela agulha e, por meio de tábuas préviamente calculadas se póde conhecer a intensidade da irradiação, e a proporção do calor absorvido pela substancia.

Nas experiencias sobre a reflexão e refracção do calor, junta-se ao aparelho uma régua suplementar que se colloca na direcção do feixe calorifico desviado, e á qual se adapta a pilha medindo-se por meio de um circulo graduado o angulo das duas reguas.

492. *Poder diathermico dos corpos; resultado das experiencias de Melloni e Tyndall.*—Melloni, experimentando sobre diversos solidos e liquidos, observou que o grau de diathermanidade ou o poder diathermico variava com as diferentes substancias. Os solidos eram tallados em laminas com espessura constante de 2^{mm},62 e os liquidos contidos em tinas de vidro delgadas, cujas faces eram parallelas e distantes entre si 9^{mm},21; a fonte calorifica era uma lampada de Argant.

No seguinte quadro estão indicados os numeros de raios calorificos que as diversas substancias deixam passar por cada cem raios incidentes.

Solidos	Liquidos
Sal gemma 92	Sulphureto de carbonio . . . 63
Cal fluatada 78	Azeite de oliveira 30
Spatho de Islandia 62	Ether ordinario 21
Quartzo defumado 57	Acido sulphurico puro . . . 17
Carbonato de chumbo (diaphano) 52	Alcool absoluto 15
Tormalina verde (diaphana) 27	Acido acetico rectificado . . 12
Cal sulphatada (diaphana) . 20	Agua com assucar, sal ou alumen 12
Alumen (diaphano) 12	Agua distillada 11
Sulphato de cobre (diaphano) 0	

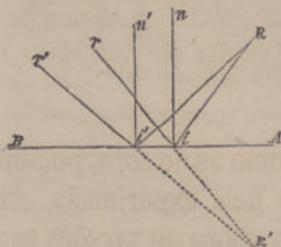
Differentes causas influem sobre o poder diathermico dos solidos, taes são: o grau de polido, a espessura da substancia e a natureza da fonte calorifica. Experimentando laminas de vidro, da mesma natureza e de igual espessura, cujas faces voltadas para a pilha estavam mais ou menos polidas, achou Melloni que o desvio da agulha, de 30° para os raios directos era de 49°,15 para a lamina mais polida e de 9°,38 para a que o estava menos. Experimentando com laminas de vidro da mesma natureza e cujas espessuras estavam entre si como os numeros 1, 2, 3, 4, achou Melloni que de cem raios incidentes estas laminas deixavam passar respectivamente 61,9, 57,6, 58,8 e 54,9, d'onde se conclue que a quantidade do calor que atravessa uma lamina diminue á medida que cresce a sua espessura sem que todavia exista proporcionalidade entre esta e aquella quantidade. Alem de certo limite a quantidade de calor transmittida tende a conservar-se constante, ainda mesmo que a espessura augmente. O acrescimo do numero de laminas atravessadas produz um resultado analogo, isto é, a quantidade de calor absorvido diminue successivamente de uma para outra lamina. Demais os raios de calor que atravessam uma determinada substancia diathermica experimentam uma modificação que os torna mais ou menos aptos a atravessarem outra substancia.

M. Melloni reconheceu tambem que o poder diathermico dos corpos diminue rapidamente com a temperatura de fonte calorifica. Assim, por exemplo, o vidro que é mui diathermico para os raios emitidos por uma fonte de calor incandescente, deixa de ser diathermico para os raios emitidos por uma fonte de calor cuja temperatura é inferior a 100° . Ha apenas excepção para o sal gemma, que conserva o mesmo grau de diathermanidade, qualquer que seja a temperatura do foco calorifico.

Julgava-se até ha pouco tempo, que os gazes eram todos perfeitamente diathermicos, porém M. Tyndall provou recentemente que, ao passo que os gazes simples e suas misturas, como o oxygenio, o hydrogenio, o azote e o ar têm um grande poder diathermico, os gazes compostos como o gaz sulphuroso, o ammoniaco e outros, absorvem uma grande quantidade dos raios calorificos que os atravessam. Os perfumes que espalham no ar quantidades de materia apenas apreciaveis, bastam para absorver grande quantidade de calor obscuro; assim por exemplo uma porção quasi insensivel de essencia de aniz basta para augmentar na razão de 1 para 362 o poder absorvente do ar. M. Tyndall observou ainda, que as substancias no estado liquido e no gazozo conservam a mesma ordem na escala dos poderes diathermicos. Assim o vapor da agua é de todos os vapores o mais athermicos ou o que absorve mais calor. É o vapor aquoso que dá á atmosphera a faculdade de ser aquecida pelos raios solares e que impede a terra de se resfriar pela irradiação, sendo por isso que o clima é temperado nos paizes em que esse vapor abunda.

493. *Reflexão do calor; suas leis.*— De todo o calor que incide sobre a superficie de um corpo uma parte póde ser por elle absorvida e serve para o aquecer; outra póde atravessal-o, se o corpo é diathermico; porém ha certa porção de raios que são como que repellidos pela superficie, o que se exprime, dizendo que elles se reflectem. A reflexão do calor, bem como a do som e a da luz, está subordinada ás seguintes leis:

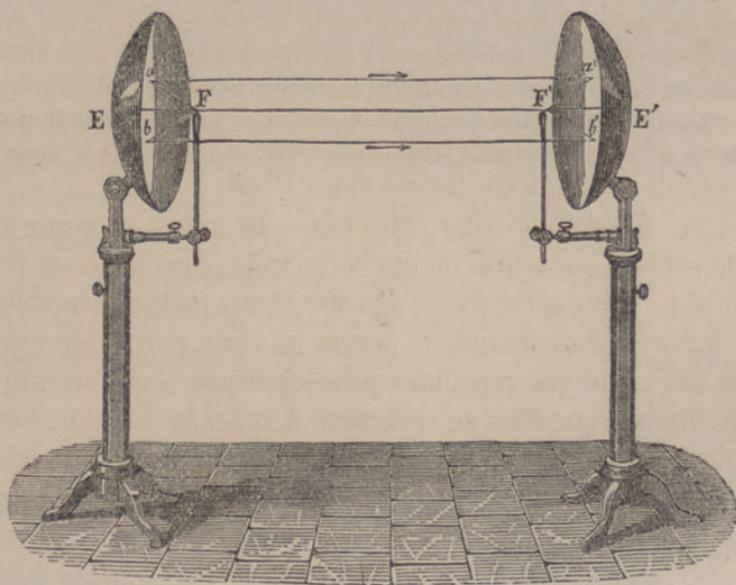
1.^a, o angulo de incidencia é igual ao angulo de reflexão; 2.^a, o raio calorifico incidente e o reflexo estão no mesmo plano com a normal. Assim os raios calorificos Ri , Ri' , que emanam de um ponto calorifico R (fig. 295) situado em frente de uma superficie AB, seguem depois da reflexão as direcções ir , $i'r'$, exactamente comó se tivessem



(Fig. 295)

partido de um ponto R' collocado na parte posterior da superfície e distando d'esta tanto como o ponto R .

494. *Verificação experimental das leis da reflexão do calor.*—As leis da reflexão do calor podem demonstrar-se directamente empregando o aparelho de Melloni. Para isso, faz-se cair um feixe de raios caloríficos sobre uma superfície plana e polida collocada verticalmente sobre a pequena mesa do aparelho, colloca-se a pilha do thermo-multiplicador na direcção dos raios reflexos, e acha-se que os angulos formados pelos eixos de feixes incidente e reflexo com a superfície são iguaes, sendo esta perpendicular ao plano d'essas duas linhas, o que prova as leis enunciadas. Este meio não é muito rigoroso em virtude da necessidade de empregar um feixe calorífico de secção sufficientemente grande, para que possa exercer acção sobre a pilha.



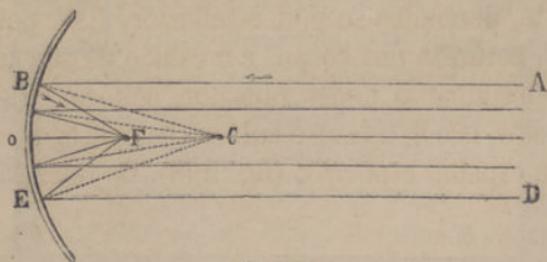
(Fig. 296)

As leis de reflexão do calor, assim como as do som, podem, porém, demonstrar-se indirectamente pela experiencia. Assim, uma bala de ferro na temperatura rubra ou carvões candentes, collocados n'um dos focos dos espelhos parabolicos E, E' cujos eixos coincidem (fig. 296), accendem uma por-

ção de isca posta no foco do outro espelho; porque os raios caloríficos que incidem sobre o primeiro espelho, depois de se reflectirem parallelamente ao eixo da parabola, tornam a reflectir-se no segundo espelho, e vão cruzar-se todos no foco d'este espelho. Se em vez de um corpo quente, se collocar n'um dos focos uma porção de gêlo, e no outro um reservatorio d'um thermometro, este indicará uma diminuição consideravel de temperatura. Esta ultima experiencia poderia talvez induzir-nos a admittir que o phenomeno observado é devido á irradiação dos raios de frio emittidos pelo gêlo; porém é facil de comprehender que é o thermometro que, sendo o corpo mais quente, emite para o gêlo raios de calor mais intenso do que aquelles que recebe do gêlo. Não se deve, por conseguinte, admittir a existencia de raios frigoríficos, attendendo a que o frio não é um agente differente do calor.

O calor reflecte-se do mesmo modo no vacuo que no ar, como o demonstrou Davy, repetindo a experiencia dos espelhos parabolicos, no recipiente da machina pneumatica.

As leis de reflexão do calor tambem se podem provar com um espelho espherico-concavo (fig. 297). A curva B E repre-



(Fig. 297)

senta uma secção meridiana do espelho, que é constituido por uma calote espherica, de que *o* é o ponto medio e C o eixo, sobre o qual existe um ponto F, denominado foco, a uma distancia do centro de figura C, proximamente igual a um meio do raio da esphera, como adiante provaremos. Os angulos formados pelas linhas tiradas do foco para quaesquer dos pontos B, E etc., com as tiradas por estes pontos parallelamente ao eixo são todos divididos em duas partes iguaes pelas normaes respectivas. Assim, voltando um es-

pelho espherico concavo com a concavidade para o sol, os raios d'este astro, depois de se reflectirem na superficie do espelho, vão todos cruzar-se no foco, porque os raios solares, vindo de uma distancia infinitamente grande, podem considerar-se paralelos entre si. A temperatura no foco do espelho, n'estas circumstancias, é tal, que os raios reflexos accendem uma porção de isca, e mesmo os alvos de madeira n'elle collocados. É por este motivo que os espelhos esphericos concavos se dizem espelhos comburentes ou ardentes.

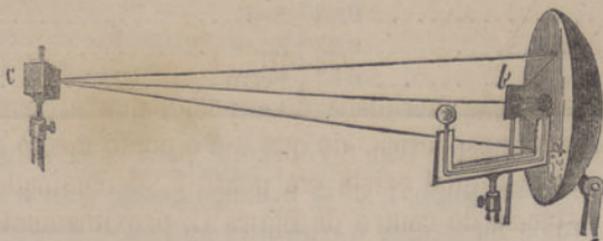
Esta ultima experiencia mostra tambem que os raios luminosos seguem as leis da reflexão do calor, porque, collocando um alvo no foco do espelho, forma-se n'elle a imagem do sol.

As propriedades dos espelhos ardentes eram conhecidas dos antigos. Archimedes, por exemplo, parece ter-se servido dos espelhos ardentes para queimar os navios dos Romanos que cercavam Syracusa. Buffon demonstrou que este facto não é impossivel, como se tinha afigurado a Descartes.

495. *Intensidade do calor reflectido; poder reflector.*—

A propriedade que têm os corpos de reflectir na sua superficie uma quantidade maior ou menor do calor que sobre elles incide, denomina-se poder reflector. Este poder varia segundo a natureza dos corpos e o estado de sua superficie.

Para determinar o poder reflector, collocava Leslie uma fonte de calor, isto é, um vaso cubico cheio de agua ebulliente, adiante do espelho espherico (fig. 298). Os raios calorificos,



(Fig. 298)

depois de se terem reflectido na concavidade do espelho, deveriam ir concorrer no foco; mas tendo-se collocado em b, uma pequena lamina da substancia que se pretendia examinar, os raios reflectiam-se novamente na superficie da la-

mina e iam concorrer n'um ponto onde estava situada uma das esferas do thermometro differencial. As diversas laminas, interceptando sempre uma parte igual do calor emitido pelo cubo, deixam chegar ao espelho e recebem na face anterior a mesma quantidade de calor. Por conseguinte as elevações de temperatura do thermometro são proporcionaes ás quantidades de calor reflectidas pelas diversas substancias, e as suas relações medem as que existem entre os poderes reflectores. Leslie achou que representando por 100 o poder reflector do latão polido, os de diversos corpos se podiam exprimir pelos numeros seguintes:

Latão	100	Chumbo	60
Prata	90	Estanho amalgamado	50
Estanho	85	Vidro	10
Aço	70	Negro de fumo	0

Estes numeros representam apenas o poder reflector relativo das substancias a que se referem. *O poder reflector absoluto* ou *a proporção do calor reflexo*, seria a relação entre as intensidades do calor reflexo e incidente. Mrs. Desains e de la Provostaye, empregando o aparelho de Melloni, acharam os seguintes numeros para representar os poderes reflectores absolutos de diversas substancias, sendo de 50° o angulo de incidencia:

Oiro	0,95	Aço	0,82
Latão	0,93	Zinco	0,81
Platina	0,83	Ferro	0,77

O poder reflector não é constante para cada substancia, como Leslie suppunha; varia principalmente com a inclinação dos raios incidentes e com a espessura e densidade da substancia reflectidora. Empregando o aparelho de Melloni acha-se que, para os metaes, o poder reflector é sensivelmente constante até a incidencia de 70° e diminue para angulos maiores, e que, para o vidro, o poder reflector augmenta rapidamente com o angulo de incidencia. Acha-se

tambem que o poder reflector cresce com a densidade e espessura da lamina, o que se explica admittindo que a reflexão se verifica, não só sobre as moleculas da superficie mas ainda nas interiores. O poder reflector não augmenta sempre com o grau de polido da superficie; assim riscando uma superficie polida umas vezes se augmenta outras se diminue o seu poder reflector. Quando a lamina tem sido obtida pela acção do martello e não é por conseguinte homogenea, riscando a superficie põe-se a descoberto o interior que é menos denso, o que diminue o poder reflector. Pelo contrario quando a lamina é homogenea, aquella operação produz um augmento de densidade e por conseguinte augmento de poder reflector.

496. *Diffusão do calor, reflexão diffusa.*—Numerosas experiencias provam que ha perfeita analogia entre os modos como se propagam a luz e o calor. Ora, como veremos, a luz reflecte-se irregularmente sobre as superficies não polidas e este phenomeno recebeu o nome de *diffusão da luz*. Melloni, empregando o seu aparelho demonstrou que tambem havia diffusão ou reflexão diffusa do calor sobre as superficies não polidas. Serviu-se para isso de uma lamina coberta de alvaiade; expôl-a á acção de uma fonte calorifica, e achou que a pilha era instantaneamente influenciada, sendo o effeito independente da espessura da lamina e quasi nullo quando esta está coberta de negro de fumo.

O poder diffusivo varia com a natureza da fonte calorifica e das substancias reflectoras. Os corpos brancos são mui diffusivos para o calor luminoso e os metaes não polidos tambem.

497. *Refracção do calor; decomposição do calor*—Quando um raio calorifico incide obliquamente sobre uma substancia diathermica desvia-se da sua primitiva direcção, dando origem ao phenomeno da *refracção do calor*. Em geral, quando o calor entra n'um meio mais denso, o raio refracto aproxima-se da normal e afasta-se no caso contrario. Melloni demonstrou a refracção do calor, empregando o seu aparelho e fazendo com que os raios calorificos atravessassem um prisma de substancia diathermica. Procurando a direcção dos raios refractos, por meio de uma régua accessoria, sobre a qual estava collocada a pilha, reconheceu que os raios calorificos tinham mudado de direcção.

Assim como um feixe luminoso, quando atravessa uma prisma de substancia transparente, se decompõe, dando origem ao que se denomina espectro luminoso, assim tambem um feixe calorifico, quando

atravessa um prisma de substancia diathermica, se decompõe, produzindo um *espectro calorifico*. Foi W. Herschell que descobriu a desigual refrangibilidade dos raios calorificos, sua intensidade diversa e a existencia de um espectro calorifico obscuro, independente do espectro luminoso e quasi da mesma largura. Melloni, proseguindo e desenvolvendo os estudos de Herschell, mostrou que o calor é composto de raios separaveis, uns luminosos, outros obscuros, e dotados de propriedades diversas, ou, como lhe chamou Melloni, de *thermo-chroses* diferentes, assim como se diz que os raios luminosos têm diversas cores. Sendo intima a analogia que ha entre o calor e a luz, mais de espaço trataremos da decomposição do calor, quando se tratar de estudar o mesmo phenomeno com relação á luz.

498. *Emissão do calor; leis da intensidade do calor.*— Quando a temperatura de um corpo é diversa da do meio ambiente, a experiencia demonstra que elle se resfria ou se aquece, isto é, que emite ou recebe calor, até que não haja differença entre as duas temperaturas. A emissão do calor está sujeita a leis mui complexas e depende de circumstancias que nem sempre é possivel considerar; por isso apenas aqui fazemos menção das leis que se referem á intensidade do calor emittido ou recebido. Denomina-se intensidade do calor a quantidade recebida sobre a unidade de superficie.

1.^a lei. *A intensidade do calor é proporcional á temperatura do foco calorifico.* Esta lei demonstra-se expondo uma das espheras do thermometro differencial a fontes de calor variaveis; por exemplo a um cubo de folha successivamente cheio de agua a 10, 20, 30, ou mais graus de temperatura, porque á mesma distancia, o thermometro indicará differenças de temperatura que estarão entre si como os numeros 1, 2, 3, etc.

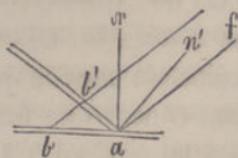
2.^a lei. *A intensidade do calor varia na rasão inversa do quadrado das distancias.* Para demonstrar experimentalmente esta lei empregava Leslie um cubo cheio de agua quente, que era a fonte calorifica, e um espelho espherico por meio do qual concentrava um grande numero de raios colorificos n'uma das espheras do seu thermometro differencial, que tinha a outra abrigada por um anteparo. Fazendo variar a dis-

tancia entre o foco calorífico e o espelho, reconheceu que para as distancias 1, 2, 3, etc., as temperaturas accusadas pelo thermométrô estavam entre si como: t , $\frac{1}{4}t$, $\frac{1}{9}t$, etc. Melloni

demonstrou tambem experimentalmente a mesma lei, empregando um vaso parallelipedo de folha que tinha uma face coberta de negro de fumo. Em frente d'esta face e a pequena distancia collocou a pilha do thermo-multiplicador, sendo a face da pilha que ficava voltada para a caixa, protegida por um cone de cartão interiormente revestido de negro, que impedia qualquer radiação obliqua; collocando depois a pilha a distancias dupla, tripla etc., reconheceu que a agulha do galvanometro ficava estacionaria, o que mostra que o augmento de superficie irradiante compensava a diminuição de intensidade. Ora, como as superficies irradiantes eram evidentemente secções circulares de cones, prolongamentos do cone de cartão, e sendo essas superficies proporcionaes aos quadrados dos seus raios ou das suas distancias aos vertices dos cones respectivos, ficava a lei plenamente demonstrada.

Esta lei pôde tambem demonstrar-se geometricamente. Com effeito considerando o foco calorífico como centro de diversas esferas concentricas, é evidente que a superficie de cada uma d'estas, tomada isoladamente, recebe a mesma quantidade de calor. Ora, como as superficies das esferas crescem como os quadrados dos raios respectivos, a intensidade ou a porção de calor recebido pela unidade de superficie, diminuirá na mesma relação.

3.^a lei. *A intensidade do calor recebido por uma superficie é proporcional ao coseno do angulo feito pelos raios incidentes com a normal a essa superficie.* Esta lei demonstra-se geometricamente. Represente f um feixe de raios incidindo obliquamente sobre a superficie ab (fig. 299) ou sobre a superficie ab' .



(Fig. 299)

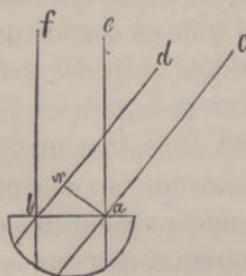
Como ambas recebem todos os raios do feixe, os quaes se podem considerar parallelos, a intensidade

do calor recebido será em cada parte inversamente proporcional á sua extensão ab ou ab' . Ter-se-ha pois

$$\frac{I}{I'} = \frac{ab'}{ab} \text{ ou } \frac{I}{I'} = \frac{\cos fan}{\cos fan'};$$

representando por I e I' as intensidades do calor recebidas pelas duas superficies e sendo an e an' as normaes respectivas. Deve notar-se que apenas se trata das quantidades de calor recebidas e não das absorvidas pelas superficies, porque estas variam com a obliquidade dos raios.

4.^a lei. *A intensidade do calor emittido obliquamente por uma superficie desprovida de poder reflector, é proporcional ao coseno do angulo feito pelos raios com a normal á superficie.* Esta lei estabelecida por Lambert como applicando-se a todas as superficies, foi demonstrada geometricamente por Fourier e experimentalmente para o negro de fumo por Leslie. Seja ab (fig. 300) um elemento da superficie de um corpo. Imagine-se que

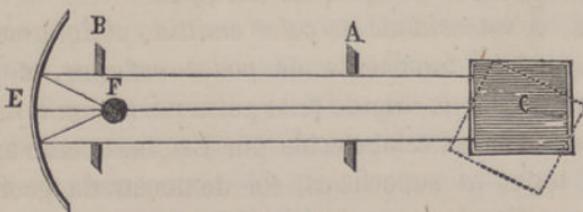


(Fig. 300)

do centro d'esse elemento se tenha descripto uma esphera que comprehenda todas as particulas que podem emittir calor pela superficie ab . Considerando os dois cylindros $abcd$ e $abef$ que se apoiam no elemento ab e terminados n'aquella superficie espherica; cada um dos raios emittido na direcção d'esses cylindros terá a mesma intensidade; mas, nas duas direcções, o numero de raios é diverso e por conseguinte a intensidade total é differente. Esta intensidade é evidentemente proporcional á somma dos raios ou á secção recta do cylindro respectivo, isto é, ao coseno do angulo que faz a direcção do cylindro com a normal á superficie. Este raciocinio suppõe que não ha reflexão interior como succede com o negro de fumo. Para demonstrar experimentalmente esta lei, collocava Leslie em frente de um espelho concavo E (fig. 301), um cubo C cheio de agua ebuliente, e coberto de negro de fumo e interpunha entre ambos diversos ante-

do na direcção d'esses cylindros terá a mesma intensidade; mas, nas duas direcções, o numero de raios é diverso e por conseguinte a intensidade total é differente. Esta intensidade é evidentemente proporcional á somma dos raios ou á secção recta do cylindro respectivo, isto é, ao coseno do angulo que faz a direcção do cylindro com a normal á superficie. Este raciocinio suppõe que não ha reflexão interior como succede com o negro de fumo. Para demonstrar experimentalmente esta lei, collocava Leslie em frente de um espelho concavo E (fig. 301), um cubo C cheio de agua ebuliente, e coberto de negro de fumo e interpunha entre ambos diversos ante-

paros *A, B*, munidos de orificios iguaes, obtendo por este modo um feixe de raios sensivelmente parallellos, que concentrava em *F*, n'uma das espheras do thermometro differencial. Leslie achou que a temperatura accusada pelo thermometro não variava com a inclinação do cubo. D'onde se conclue que as intensidades dos raios emittidos pelas duas superficies, são reciprocamente proporcionaes ás areas d'essas superficies, ou directamente proporcionaes aos cosenos dos angulos formados pelas normaes com as direcções dos raios emittidos.



(Fig. 301)

Esta lei não é geral. Mrs. Dessains e de la Provostaye observaram que ella unicamente se verifica com os corpos que, como o negro de fumo, são desprovidos de poder reflector.

499. *Equilibrio movel de temperatura.* Dois, tres, ou mais corpos com temperaturas diversas, collocados uns em presença dos outros, no mesmo recinto, tendem a adquirir uma temperatura uniforme, e quando a adquirem conservam essa temperatura. Explicaram-se estes resultados admittindo que havia irradiação dos corpos mais quentes para os mais frios, e que depois de estabelecido o equilibrio de temperatura os corpos cessavam de irradiar ou receber calor. Segundo a hypothese de Prévost, hoje unicamente admittida, todos os corpos, qualquer que seja a sua temperatura, emittem e recebem continuamente calor. D'aqui resulta que ha perda, ou resfriamento para os de temperatura mais elevada, e que succede o contrario para os de temperatura mais baixa, e finalmente que quando a temperatura é uniforme ainda a irradiação mutua continua; mas cada corpo, recebendo em todos os instantes tanto calor como o que emittes, conserva uma temperatura

constante. É a esta troca continua de calor, entre os corpos collocados a distancias sob uma temperatura igual, que se dá o nome de equilibrio movel de temperatura.

500. *Poder emissivo.* — A propriedade que os corpos possuem de emitir sob temperaturas e superficies iguaes, quantidades maiores ou menores de calor, denomina-se *poder emissivo ou irradiante*. O poder emissivo de um corpo mede-se pela quantidade de calor que a unidade de superficie d'esse corpo irradia, n'uma direcção normal, durante a unidade de tempo quando a sua temperatura excede apenas de 1° a do recinto.

Para avaliar os poderes emissivos dos corpos empregava Leslie um cubo ôco, cheio de agua ebulliente, collocado em frente de um espelho espherico concavo, que concentrava os raios calorificos n'uma das esferas do thermometro differencial. As faces do cubo eram formadas por diversas substancias, ou de folha, mas revestidas com as differentes substancias sobre que pretendia experimentar. Conservando o cubo á mesma distancia do espelho, e voltando para este successivamente as suas differentes faces, observava que o thermometro accusava temperaturas diversas, cujas relações lhe serviam para medir os poderes emissivos. É necessario, pois, demonstrar que os poderes emissivos são proporcionaes aos excessos da temperatura accusados pelo thermometro differencial. Se e designar o poder emissivo de uma substancia, s a superficie irradiante total, t a temperatura d'esta e Θ a do ambiente; a quantidade total de calor emittido durante a unidade de tempo ou a intensidade do calor irradiante pôde-se considerar igual a $s e (t - \theta)$. Suppondo esta a quantidade de calor irradiado por uma das faces do cubo na unidade de tempo, é claro que o espelho recebe d'essa quantidade apenas uma fracção $m s e (t - \theta)$, da qual ainda só uma parte $m n s e (t - \theta)$ cõe sobre a esphera do thermometro que a seu turno absorve apenas a fracção $m n p s e (t - \theta)$. A temperatura da esphera eleva-se pois, até se conservar estacionaria em τ , mas a seu turno a esphera irradia uma quantidade de calor $s' e' (\tau - \theta)$, sendo s' a sua superficie e e' o seu poder emissivo. E como desde que a tempe-

ratura é estacionaria ha equilibrio, a quantidade de calor recebido pela esfera é igual á que ella perde e por isso

$$m n p s e (t - \theta) = s' e' (\tau - \theta).$$

Mudando a face do cubo e e τ variam, e designando os novos valores por e_1 e τ_1 , ter-se-ha uma nova equação analogá á precedente; e, dividindo depois uma pela outra, membro a membro, ter-se-ha

$$\frac{e}{e_1} = \frac{\tau - \theta}{\tau_1 - \theta},$$

isto é, os poderes emissivos proporcionaes aos excessos de temperatura accusados pelo thermometro differencial. Empregando o processo indicado, Leslie achou que, representando por 100 o poder emissivo do negro de fumo, que é o maximo, os poderes emissivos de diversas substancias eram indicados pelos seguintes numeros :

Negro de fumo.....	100	Minio.....	80
Agua.....	100	Plombagina.....	75
Papel de eserever	98	Chumbo baço.....	45
Lacre.....	95	Mercurio.....	20
Vidro branco ordinario...	90	Chumbo brilhante.....	19
Tinta da China.....	88	Ferro polido.....	15
Gélo.....	85	Estanho, prata, oiro, cobre	12

Melloni fez novas experiencias com o seu aparelho, empregando como foco calorifico um cubo de folha, cheio de agua ebulliente, e cujas faces eram cobertas das differentes substancias sobre que queria experimentar. Voltando successivamente essas faces para a pilha e, tomando as relações dos desvios galvanometricos pela relação dos poderes emissivos, achou resultados pouco differentes dos de Leslie. Finalmente Mrs. Dessains e de la Provostaye, tendo evitado algumas causas de erro que havia nas experiencias de Melloni, acharam os numeros seguintes para os poderes emissivos relativos de diversas substancias, quando a temperatura do foco calorifico é de 120°:

Negro de fumo 1	Cobre em lamina 0,049
Platina laminada 0,108	Oiro em folha 0,043
Platina brunida 0,095	Prata virgem laminada 0,030
Prata baça e chimicamente deposta 0,054	Prata pura brunida 0,025

Vê-se pois que Leslie e Melloni tinham assignado aos metaes poderes emissivos muito consideraveis, e que os erros inherentes ás suas experiencias os tinham impedido de determinar as differenças entre esses poderes com relação a diversos metaes.

O poder emissivo dos corpos varia principalmente com a temperatura e densidade da superficie irradiante; o estado da superficie e a sua espessura tambem influem n'elle em determinadas circumstancias.

Mrs. Dessains e de la Provostaye, empregando como superficie irradiante uma lamina de platina cuja temperatura se podia elevar ate 600° por meio de uma *corrente electrica*, e cujas faces eram cobertas de negro de fumo e de borato de chumbo, observando simultaneamente as irradiações das duas faces, reconheceram que o poder emissivo do borato de chumbo diminue quando a sua temperatura se eleva muito alem de 100°.

Leslie achava que o grau maior ou menor de polido de uma superficie tornava menor ou maior o seu poder emissivo. Melloni, experimentando com marmore, marfim e azeviche, achou que o estado da superficie não alterava o poder emissivo, e que para os metaes batidos ou laminados o poder emissivo augmentava quando o grau de polido diminuia, dando-se o contrario para os metaes fundidos. Combinando estes resultados Melloni concluiu que o poder emissivo assim como o reflector (495) augmentava com a densidade da superficie reflectora, porque o marmore e marfim são homogeneos, qualquer que seja o estado de sua superficie ao passo que a densidade da superficie dos metaes laminados ou batidos diminue quando se riscam, succedendo o contrario nos metaes

fundidos. Mr. Knoblauch confirmou esta explicação por diversas experiencias.

As experiencias de Leslie, Rumford, Melloni e Knoblauch mostram que a espessura da substancia irradiante influe no poder emissivo. Assim invernizando uma das faces de um cubo de folha cheio de agua a uma temperatura constante, Melloni achou que o poder emissivo cresce com o numero de camadas de verniz, conservando-se porém constante depois de 16 camadas. Revestindo porém successivamente uma das faces de um cubo de vidro com laminas metallicas de pequenissima espessura, o poder emissivo conserva-se constante, o que mostra que para os metaes a espessura da camada irradiante não influe.

Estes factos explicam-se admittindo, como Fourier, que o calor irradiante parte de uma certa profundidade abaixo da superficie, isto é, que cada particula de substancia tem a propriedade de irradiar calor através da massa que a circumda, e de emittir calor, cuja quantidade perceptivel é tanto maior quanto mais proxima da superficie se acha essa particula. Foi o que Laplace denominou *irradiação particular*. Assim, no caso da ultima experiencia citada, quando a espessura da camada de verniz é muito pequena, os raios calorificos partem das moleculas do metal e das da camada de verniz, e quanto maior é a espessura d'este menor é o numero de moleculas metallicas que emittem calor para o exterior, e como o poder emissivo do verniz é maior que o do metal, vê-se bem a razão por que o poder emissivo augmenta, ao passo que se conserva constante quando a espessura do verniz é tão grande, que os raios emittidos pelo metal não chegam á superficie, ou no caso da sobreposição successiva de laminas do mesmo metal. A mesma hypothese explica perfeitamente o facto do poder emissivo variar na razão inversa da densidade da substancia irradiante, e mostra que todas as substancias podem ser diathermicas, uma vez que se diminua sufficientemente a sua espessura, o que M. Knoblauch demonstrou, interpondo uma folha de oiro no trajecto de um feixe calorifico.

Melloni, fundando-se na hypothese da irradiação particular,

admitte que o poder emissivo é independente da natureza da substancia, dependendo unicamente da espessura da camada superficial das moleculas irradiantes, de modo que se esta camada tiver a mesma espessura em todos os corpos, o seu poder emissivo será o mesmo. Effectivamente mrs. Masson e Courtépée, tendo reduzido a pó impalpavel diversas substancias, e applicando-as sobre uma das faces de um cubo cheio de agua ebulliente, acharam que emittiam tanto calor como o negro de fumo.

Os gazes têm pequeno poder emissivo, como se pôde observar, collocando uma das espheras do thermometro differencial na proximidade, da chamma do gaz hydrogenio a qual tem uma temperatura elevadissima. As chammas do gaz illuminante, das lampadas e vélas irradiam muito mais calor, em virtude das particulas de carvão que contêm e a que devem o seu brilho. Estas particulas podem-se recolher aproximando-lhe um corpo frio, no qual ellas se depositam sob a fôrma de negro de fumo. E, se na chamma do hydrogenio se colloca uma espiral de platina, esta toma a temperatura do gaz e irradia muito calor.

501. *Lei de Newton sobre o resfriamento.* Um corpo collocado no vacuo apenas se aquece ou resfria pela irradiação; na atmospheria alem da irradiação ha o contacto do ar. Chama-se *velocidade de resfriamento ou de aquecimento* o abaixamento ou acrescimo de temperatura durante um minuto, tempo bastante curto para que a diminuição ou augmento do calor se possa considerar uniforme.

Newton estabeleceu sobre o resfriamento e o aquecimento dos corpos a seguinte lei: *A quantidade de calor que um corpo ganha ou perde durante a unidade de tempo é proporcional á differença entre a sua temperatura e a do recinto.* Esta lei não é geral, como suppozera Newton, sendo sensivelmente exacta para differenças de temperatura que não excedam 30°. Assim considerando um corpo isolado n'um certo meio e designando por t a differença entre a sua temperatura e a do meio ambiente, no fim de cada minuto o abaixamento ou a elevação de temperatura será nt , sendo n uma fracção constante que

depende do poder emissivo do corpo e da natureza do meio. No fim do 1.^o minuto a diferença será $t \mp n t = t (1 \mp n)$, no fim do 2.^o será $t (1 \mp n)^2$, e no fim do m^o minuto a diferença total T será:

$$T = t (1 \mp n)^m;$$

d'onde

$$\log. T = \log. t + m \log. (1 \mp n).$$

Para verificar experimentalmente a lei de Newton, pôde o corpo que resfria ou aquece ser a esphera do thermometro que indica a temperatura. Operando d'este modo acha-se que a lei é sensivelmente verdadeira para pequenas diferenças de temperatura. Desde muito tempo que está demonstrada por diversos experimentadores notaveis a inexactidão da lei de Newton; é porém a Dulong e Petit que se devem os trabalhos mais completos sobre o complexo problema do resfriamento. A formula de Newton serve, porém, ainda em alguns casos, em virtude da sua simplicidade.

Da lei de Newton conclue-se que quando um corpo é sujeito a um foco calorifico constante, a sua temperatura não augmenta indefinidamente, porque a quantidade de calor que recebe em tempos iguaes sendo sempre a mesma, a quantidade que perde cresce com o excesso da sua temperatura sobre o ambiente, e quando ha igualdade entre essas quantidades a temperatura torna-se estacionaria.

A lei de Newton mostra ainda que as indicações do thermometro differencial são proporcionaes ás quantidades de calor que elle recebe. Considerando um thermometro differencial de que uma das espheras recebe calor emittido por um foco constante, o instrumento indica temperaturas crescentes até se tornar estacionario quando o calor recebido pela esphera iguala o emittido. Mas sendo o calor emittido porporcional ao excesso da temperatura da esphera sobre a do recinto, isto é, ao numero de graus indicado pelo thermometro, segue-se tambem que a temperatura indicada por este instrumento é proporcional á quantidade de calor que recebe.

502 *Absorção do calor; poder absorvente.* Quando um feixe de raios caloríficos cêe sobre um corpo, além do calor que o atravessa, se é diathermico, do que reflecte na sua superfície e do que se diffunde, ha uma porção recebida pela sua massa, que produz o seu aquecimento gradual e que se diz por elle *absorvida*. Este phenomeno que constitue a *absorção do calor*, differe essencialmente dos que até aqui temos estudado n'este capitulo. Ao passo que na emissão, reflexão e diffusão do calor, este apenas se decompõe em feixes com diversas intensidades e direcções, mas sempre identicos quanto á sua natureza e refrangibilidade, o calor absorvido experimenta no seu modo de existencia uma transformação completa, propaga-se lentamente e demais dilata, funde ou volatilisa os corpos. N'este novo estado o calor é ainda resultado de um movimento, porém movimento no qual as moleculas materiaes devem tomar parte e cujas condições physicas são ainda mal conhecidas. O corpo que se tem aquecido, recebendo calor, emite-o de novo, a seu turno, pela irradiação, sem que se possa explicar melhor o modo como se opera esta transformação do que aquelle como se verifica a transformação contraria. Não sendo conhecidas as condições essenciaes d'estes phenomenos, contentar-nos-hemos com fazer a indicação das suas relações empiricas, dando conta das principaes experiencias feitas sobre este objecto.

A propriedade que os corpos têm de deixarem penetrar na sua massa uma quantidade maior ou menor de calor que sobre elles incide constitue o seu *poder absorvente*; este poder mede-se pela relação entre o calor absorvido e o recebido.

Leslie, para comparar os poderes absorventes de diferentes corpos, collocava no foco de um espelho espherico concavo a esphera do seu thermometro differencial coberta successivamente de diversas substancias, estando como nas outras experiencias o espelho em frente de um foco calorífico. Admittia Leslie que as temperaturas dadas pelo thermometro eram proporcionaes aos poderes absorventes, o que não é exacto. Effectivamente quando o thermometro se torna estacionario, perde pela irradiação e contacto do ar, tanto calor como o que recebe, mas

quando a esfera está coberta de diversas substancias as perdas não são proporcionaes aos excessos de temperatura sobre a do ambiente, porque as substancias que têm maior poder emissivo perdem mais calor do que as outras para o mesmo excesso de temperatura. Melloni comparou os poderes absorventes, collocando em frente da pilha do thermo-multiplicador discos delgados de cobre cobertos com negro de fumo do lado da pilha e com a substancia a ensaiar do outro lado que recebia os raios provenientes do foco calorifico. Este methodo, como o de Leslie, não dava as relações absolutas entre os poderes absorventes, posto que servisse para comparar os poderes absorventes da mesma substancia exposta successivamente a diversos focos calorificos, os quaes diversificam muito, excepto para o negro de fumo, que absorve igualmente todas as especies de raios, como mostra o seguinte quadro:

Substancias	Lampada de Argant	Lampada de Locatelli	Platina incandescente	Cobre a 400°	Cobre a 400°
Negro de fumo....	100	100	100	100	100
Tinta da China....	100	76	95	87	85
Alvaiade	24	53	56	89	100
Colla de peixe	45	52	54	64	91
Gomma laca	30	43	47	70	72
Metal	17	14	13,5	13	13

Para comparar os poderes absorventes das diversas substancias empregaram Mrs. Dessains e de la Provostaye um methodo rigoroso, que consiste essencialmente em comparar as velocidades de resfriamento de um thermometro que recebe os raios de uma fonte calorifica sendo successivamente coberta com as diversas substancias a ensaiar, porque, quando a columna thermometrica se torna estacionaria, o calor que o thermometro ganha em cada minuto é igual ao que perde pelo contacto do ar e irradiação, e o calor perdido mede-se pela velocidade do resfriamento. Os numeros seguintes representam alguns dos resultados obtidos por este methodo:

	Calor solar	Lampada de Argaut
Negro de fumo.....	100	100
Negro de platina.....	-	100
Alvaiade.....	9	21
Oiro em folha.....	13	4
Prata em folha.....	7,5	-

Representando por Q a quantidade de calor recebido durante a unidade de tempo por uma determinada superficie sob qualquer incidencia e por Qd , Qr e Qa as quantidades de calor difundido, reflectido e absorvido será:

$$Q = Q(r + d + a), \text{ e portanto } a = 1 - r - d.$$

Se o corpo é perfeitamente polido para que a diffusão se possa considerar nulla, será $a = 1 - r$, isto é, o poder absorvente complementar da proporção do calor reflectido. Se a superficie não é polida, será $a = 1 - d$ ou o poder absorvente complementar do diffusivo. No caso geral, quando a superficie não é perfeitamente polida, pôde-se determinar o poder absorvente quando se conhecem as proporções de calor reflectido e diffuso. Mrs. Dessains e de la Provostaye, tendo determinado o poder reflector absoluto ou a proporção r de calor reflectido por metaes polidos sob a incidencia normal, calcularam os valores de $1 - r$ que representam os poderes absorventes absolutos. Eis alguns :

Substancias	Calor absorvido				
	Solar	Lampada de Argaut	Lampada de Locatelli	Lampada de alcool salgado	Lamina de cobre a 400°
Aço.....	0,42	0,34	0,175	0,12	-
Metal dos espelhos	0,34	0,30	0,145	-	-
Platina.....	0,39	0,30	0,17	0,14	0,105
Latão.....	-	0,16	0,07	0,06	0,055

Vê-se pois que os metaes reflectem em proporções differentes o calor de diversas origens e que os seus poderes absorventes sob a incidencia normal são diversos. Pelo contrario o vidro negro e todas as substancias opacas não metallicas reflectem e por conseguinte absorvem em proporções sensivelmente iguaes as differentes radiações. As substancias não polidas têm tambem poderes absorventes que variam com a natureza dos raios calorificos. Por exemplo Melloni achou que

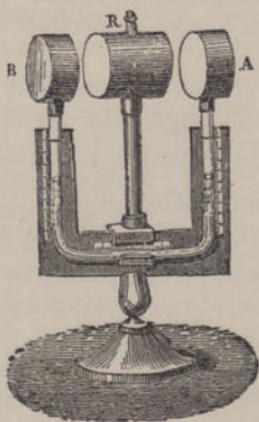
o alvaiade diffunde em grande proporção os raios solares e em quantidades decrescentes os d'outras fontes, cujas temperaturas diminuem e que se comporta como o negro de fumo com o calor proveniente da agua ebulliente.

Como a quantidade de calor reflectido augmenta desde a incidencia normal em que é minima, até a incidencia rasante em que é igual á unidade, de modo inverso o poder absorvente diminuirá, pois, progressivamente á medida que os raios cáiam mais obliquamente sobre a superficie sendo nullo para a incidencia de 0° . Os valores dos poderes absorventes absolutos obtidos por Dessains e de la Provostaye para o caso da incidencia normal conservam-se, porém, constantes sob incidencias obliquas inferiores a 70° .

O poder absorvente varia, assim como o reflector, não só com a obliquidade dos raios e natureza dos raios calorificos incidentes, mas ainda com a densidade da superficie absorvente. Assim o poder absorvente de um corpo diminue quando a sua densidade augmenta e por isso os metaes destinados a formarem superficies reflectoras, devem ser trabalhados com o martello, a fim de augmentarem em densidade e por consequente diminuirem em poder absorvente, para reflectirem a maior quantidade possivel de calor incidente.

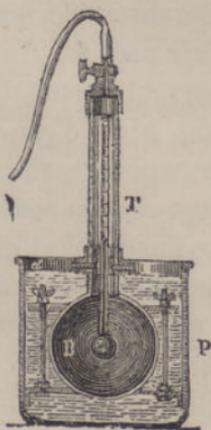
503. *Relação entre os poderes emissivo e absorvente.* As causas que influem nas proporções de calor reflectido e diffuso devem produzir effeitos analogos, quer no caso em que o calor cáe sobre a superficie de um corpo e é por elle absorvido, quer venha do interior e se apresente á superficie para ser emitido; concebe-se pois que os poderes absorvente e emissivo dos corpos devem variar no mesmo sentido. Alem d'isto as experiencias de Leslie e Melloni mostram que os poderes absorvente e emissivo dos differentes corpos, com relação aos do negro de fumo são identicos, uma vez que os fluxos calorificos absorvidos ou emitidos sejam da mesma natureza. Para justificar esta lei emprega-se um aparelho (fig. 302) devido a Ritchie. Este aparelho é um thermometro differencial em que as duas esferas estão substituidas por cylindros iguaes de metal *A* e *B*, cheios de ar, e entre os quaes

ha um terceiro cylindro maior *R*, que pôde receber agua quente e se pôde approximar mais ou menos dos lateraes. Finalmente as bases fronteiras dos tres cylindros são alternativamente revestidas de negro de fumo, brancas ou prateadas, de modo que quando o cylindro *R* está cheio de agua quente a sua base branca irradia para a base negra de *B* e a sua base negra irradia para a base branca de *A*, irradiando a seu turno esta e a base negra de *B* para as bases de *R*. Ora quando o cylindro



(Fig. 302)

R está a igual distancia de *A* e *B*, observa-se que o liquido se conserva estacionario no tubo, o que mostra que estes dois reservatorios estão á mesma temperatura, provando isto que de uma parte ha compensação entre o maior poder emissivo da base negra de *R* e o pequeno poder absorvente da base branca de *A*, e de outra entre o fraco poder emissivo da base branca de *R* e o grande poder absorvente da base negra de *B*. Donde se conclue que os poderes emissivo e absorvente das bases brancas e negras são iguaes ou pelo menos proporcionaes entre si. Substituindo o negro de fumo e a prata por outras substancias chega-se ao mesmo resultado.



(Fig. 303)

A igualdade entre os poderes emissivo e absorvente demonstra-se plenamente com um aparelho empregado por Petit e Dulong no estudo das leis do resfriamento. Compõe-se este aparelho (fig. 303) de um balão de cobre *B*, revestido interiormente de negro de fumo, e no interior do qual está um thermometro, cujo reservatorio occupa mesmo o centro do balão. A haste do thermometro está contida, em parte, n'um tubo *T*, que assenta perfeitamente sobre um disco de vidro *d*, o qual a seu turno está exactamente ajustado ao collo do balão. O tubo *T* é munido de uma torneira, a que se adapta um outro por meio do qual se pôde fazer o vacuo no aparelho. Finalmente

o balão está solidamente fixo n'uma tina *P* que contém um banho de temperatura conhecida. A experiencia consiste em medir o tempo que o thermometro gasta para se elevar de um certo numero de graus, 5 por exemplo, quando a sua temperatura é inferior á do balão e o que inversamente gasta para baixar do mesmo numero de graus quando a sua temperatura é superior á d'este. Acha-se que esses tempos são iguaes, quer o thermometro esteja a descoberto, quer esteja revestido de negro de fumo ou de outras substancias. Ora, tendo-se feito previamente o vacuo no aparelho, o aquecimento e resfriamento só podem depender dos poderes absorvente e emissivo do thermometro, e sendo a lei de Newton applicavel a pequenas differenças de temperatura, segue-se que para uma dada substancia e para a mesma differença de temperatura as quantidades de calor absorvidas e emittidas durante o mesmo tempo são iguaes e que portanto tambem o são os seus poderes emissivo e absorvente.

504. *Explicação de alguns phenomenos; applicações.* — A propriedade que os diversos corpos apresentam de emittir, absorver e reflectir mais ou menos facilmente o calor, explica diversos factos e tem numerosas applicações.

A neve funde lentamente ao sol porque diffunde uma grande parte do calor incidente, mas cobrindo-a com um corpo absorvente, como, por exemplo, particulas de carvão, a fusão torna-se rapida. A fusão da neve é tambem mais rapida debaixo das arvores do que nos logares expostos directamente aos raios solares, porque, como o indicou Melloni, os raios emittidos pelos ramos aquecidos são de natureza diversa dos raios directos do sol e mais facilmente absorvidos pela neve do que estes. A neve preserva do frio as terras que cobre por causa do seu pequeno poder irradiante.

A côr, segundo Melloni, não tem influencia sobre a absorção do calor obscuro, mas influe poderosamente sobre a do calor luminoso como o do sol. Assim os vestidos que mais convêem durante o inverno são os brancos por que, em geral, os corpos brancos absorvem pouco o calor, e portanto diffundem-o em grande quantidade, impedindo por conseguinte aquelles vestidos a perda do calor do corpo humano. De verão os vestidos brancos parecem mais frescos em virtude do seu fraco poder absorvente; a roupa branca oppõe-se á perda do calor humano, porque os raios emittidos pela pelle

são de novo diffundidos para ella, em todas as partes em que a roupa não está em immediato contacto com o corpo. É naturalmente por motivo analogo que a natureza deu aos animaes das regiões polares pello branco, principalmente no inverno. Os negros devem á côr negra da sua pelle o poderem supportar mais facilmente que os brancos o calor dos climas tropicaes, porque o grande poder emissivo da sua pelle os desembaraça de parte do calor do seu corpo. A acção dos raios solares não os incommoda muito porque a sua pelle reveste-se de uma materia oleosa, que reflectindo grande parte de calor incidente, modifica o seu grande poder absorvente.

Nos vasos que servem para aquecer os liquidos convem que a superficie seja negra e despolida na parte que recebe o calor e brilhante nas mais. Para conservar um liquido quente deve ser mantido n'um vaso de metal ou de porcelana branca polido exteriormente. Quando este se reveste com um panno e que se adapta perfeitamente á superficie metallica, augmenta-se o poder emissivo do vaso, prejudicando-se o effeito que se pretendia obter. Os revestimentos exteriores dos fogões e caloriferos devem ser negros, para que possam emittir grande quantidade de calor; e, pelo contrario o interior das chaminés deve ser revestido de porcelana ou tijolos brancos e polidos a fim de augmentar o poder reflector. Os muros dos jardins em que se apoiam latadas devem ser pintados de preto para que os raios solares que recebem sejam absorvidos e depois emittidos sobre a parte da fructa que não recebe aquelles raios.

SECÇÃO 2.^a

Conductibilidade

505. *Conductibilidade calorifica; coefficients de conductibilidade.*— A propagação lenta do calor no interior dos corpos, de molecula em molecula manifesta-se pela elevação gradual da temperatura e denomina-se *conductibilidade calorifica*.

Fourier, sem fazer nenhuma hypothese sobre a natureza particular do calor, admittiu que uma molecula se aquece

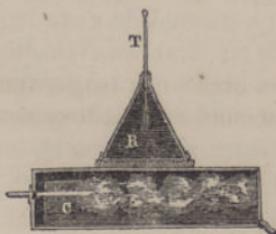
quando absorve uma radiação e que por esse facto fica apta para irradiar em torno de si, através dos espaços inter-moleculares, do mesmo modo que as massas materiaes no vacuo ou nos gazes. Fourier, partindo assim da hypothese da irradiação particular (§501), isto é, da irradiação em torno de cada molecula, e admittindo para este caso a lei de Newton, estudou analyticamente a conductibilidade calorifica, e, a maior parte dos resultados a que chegou tendo sido verificados, serviram de confirmação ás hypotheses de que partiu. Em seguida indicámos resumidamente a explicação da conductibilidade, segundo Fourier.

Se T e t designam as temperaturas de duas moleculas vizinhas A e B , a molecula B recebe de A uma quantidade de calor $q = k(T - t)$, isto é, função da differença de temperatura e de uma constante k que depende da distancia AB e da natureza das moleculas, porque, como as moleculas estão mui proximas, a differença de temperatura é necessariamente pequena e por isso applicavel n'este caso a lei de Newton, e porque é evidente que aquella quantidade deve variar com a distancia e natureza das moleculas. Se o corpo não é homogeneo a distancia AB variará com a direcção da linha AB e a quantidade de calor que passa nas diversas direcções não será identica, o que a experiencia confirma. Fourier suppunha ainda que a quantidade q era independente da temperatura T , o que se não pôde justificar rasoavelmente; porém conduz com as outras hypotheses a resultados que a experiencia confirma. Considere-se um muro homogeneo e indefinido de espessura e e cujas faces oppostas A e B parallelas entre si, são mantidas em temperaturas constantes T e t . No fim de certo lapso de tempo as temperaturas serão constantes em cada plano paralelo ás faces e uma quantidade de calor Q atravessa a unidade de superficie do muro durante a unidade de tempo. Concebe-se que essa quantidade deve augmentar com a differença de temperatura e diminuir com a espessura; pôde pois admittir-se que é directamente proporcional a $T - t$ e inversamente a e . Ter-se-ha pois: $Q = k \frac{T - t}{e}$. Se $T - t = 1^\circ$ e e igual á unidade linear será $Q = k$. O numero k que se denomina *coefficiente de conductibilidade*, representa, pois, a quantidade de calor que entra no muro ou que d'elle sae, através da unidade de superficie, durante a unidade de tempo, quando a espessura é igual á unidade e a differença entre as temperaturas externas igual a 1° . Suppondo que as faces A e B estão mergulhadas em fluidos mantidos respectivamente a temperaturas T' e t' o que no fim de certo lapso de tempo adquirem as temperaturas T e t pôde representar-se por $h(T' - T)$ e $h'(t - t')$

a quantidade de calor que entra no muro e a que d'elle sáe, por unidade de superficie e durante a unidade de tempo, se as differenças $T' - T$ e $t - t'$ são pouco consideraveis. Aquellas duas quantidades de calor são iguaes a $k \frac{T-t}{e}$, poisque a quantidade de calor que atravessa o muro é igual á que n'elle entra ou que d'elle sáe. Os numeros h e h' que representam as quantidades de calor que atravessam durante a unidade de tempo a superficie de A ou B quando as differenças entre as temperaturas dos dois meios que estas faces separam são iguaes a 1° , denominam-se *coefficientes de conductibilidade exterior*. É com o auxilio d'estas formulas que se tem procurado determinar a conductibilidade dos diversos corpos.

506. *Conductibilidade dos solidos*.—Os diversos corpos não têm igual conductibilidade. Uns, como o oiro, a prata, o cobre, e em geral todos os metaes, transmittem rapidamente o calor no interior da sua massa e dizem-se *bons conductores*; e outros pelo contrario transmittem difficilmente o calor no seu interior e dizem-se *maus conductores*, taes são as madeiras, o vidro, etc. e os liquidos e gases.

Para estudar a conductibilidade dos solidos reduzidos a laminas empregava Fourier um apparelho (fig. 304), deno-



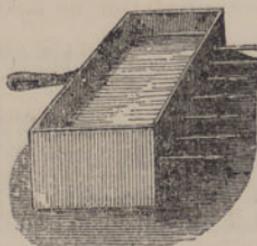
(Fig. 304)

minado *termometro de contacto*, que se compõe de um thermometro T , ajustado ao collo de um vaso conico R , cheio de mercurio e fechado na sua base por uma pelle de camurça. Colloca-se este instrumento sobre uma caixa C , cheia de vapor a t° e a columna thermometrica torna-se es-

tacionaria quando o calor recebido pelo thermometro iguala o que perde pela irradiação. Colloca-se então entre a caixa e a base do apparelho uma lamina da substancia que se pretende examinar, o que faz com que o calor transmittido seja menor e que o thermometro baixe tanto mais quanto menor é a conductibilidade de substancia. Este apparelho pôde servir para comparar entre si os poderes conductores de diversos solidos, reduzidos a laminas de iguaes dimensões.

Para comparar os poderes conductores dos solidos pôde empregar-se tambem um apparelho (fig. 305) devido a In-

genhouz, e que se compõe de uma caixa de folha sobre uma das faces lateraes da qual estão implantadas diferentes barras



(Fig. 305)

metallicas de igual comprimento e secção. Estas barras penetram um pouco no interior da caixa, e as partes exteriores estão revestidas por uma camada uniforme de cera. Enchendo a caixa de agua ebulliente ou antes de azeite elevado á temperatura de 200 ou 300°, a cera funde-se até uma distancia maior ou menor a contar da parede da caixa, o que indica para cada barra o grau de conductibilidade da substancia que a constitue.

A determinação dos coefficients de conductibilidade, que é bastante complexa empregando o thermometro de contacto, simplifica-se bastante estudando a conductibilidade de uma barra indefinida, o que se pôde fazer com o aparelho de Ingenhousz.

Fourier achou analyticamente que, suppondo pequena a secção da barra, para que a temperatura se possa considerar uniforme em toda a sua extensão, o excesso y da temperatura sobre a do meio ambiente á distancia x do extremo aquecido da barra é expresso pela formula

$$y = T e^{-ax}$$

na qual T é uma constante que representa o excesso da temperatura do extremo aquecido da barra sobre a do ambiente, e a base do systema

de logarithmos de Neper, e $a = \sqrt{\frac{hp}{ks}}$, sendo h e k os coefficients de conductibilidade exterior e interior e p e s o perimetro e a area da secção da barra. A formula de Fourier exprime que *n'uma barra indefinida, crescendo em progressão arithmetica as distancias ao ponto aquecido, os excessos de temperatura sobre a do ambiente decrescem em progressão geometrica*, lei que fôra enunciada por Lambert.

Empregando o aparelho de Ingenhousz, suppondo que se serviu da agua ebulliente, que em duas barras a fusão da cera se operou até ás distancias c e c' , e sendo o° a temperatura da atmosphaera ter-se-ha :

$$t = 100 e^{-ac} \quad t = 100 e^{-a'c'},$$

o que exige que

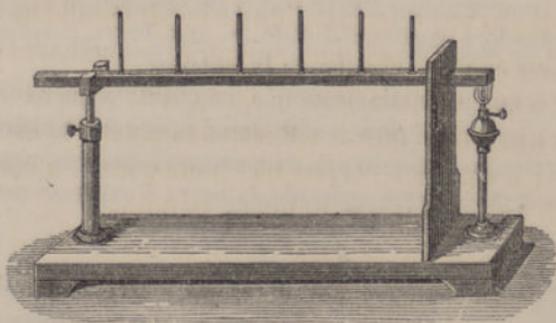
$$\frac{a^2}{a'^2} = \frac{c'^2}{c^2}$$

Ora como as barras têm todas a mesma secção e h é constante porque as barras estão cobertas de cera, será

$$\frac{k}{k'} = \frac{c^2}{c'^2},$$

relação que permite comparar os coefficients de conductibilidade dos diversos metaes.

Para aceitar estes resultados era necessario verificar a formula de Fourier ou a lei de Lambert. As primeiras experiencias de verificação foram executadas por Biot, que empregava barras extensas collocadas horisontalmente, as quaes eram recurvadas n'um dos extremos, mantido n'um banho de chumbo fundido cuja temperatura era constante. As temperaturas eram dadas por thermometros mui sensiveis cujos reservatorios mergulhavam em pequenas cavidades cheias de mercurio praticadas na barra. Despretz seguiu o methodo de Biot, empregando barras prismaticas (fig. 306) aquecidas por um foco ca-



(Fig. 306)

lorífico constante, as quaes atravessavam um anteparo, que as preservava da irradiação, e n'ellas estavam praticadas de espaço a espaço cavidades cheias de mercurio onde mergulhavam os reservatorios de pequenos thermometros, como nas experiencias de Biot. Ponde assim verificar-se a lei de Fourier, para os metaes bons conductores, como o ouro, a prata e o cobre. Em todas estas experiencias as barras eram bastante grossas, para que a temperatura fosse a mesma em todos os pontos da mesma secção recta, e demais as cavidades, ainda que pequenas, alteravam a homogeneidade das barras.

Mr. Lamberg e depois Mrs. Wiedmann e Franz fizeram experiencias extremamente rigorosas sobre a conductibilidade calorifica dos metaes, empregando fios ou barras mui delgadas e medindo a temperatura nos diversos pontos por meio do thermo-multiplicador. Em seguida apresentámos alguns dos numeros obtidos por estes ultimos experimentadores e que representam as relações entre os coefficients de

conductibilidade ou as conductibilidades relativas de diversos metaes, e que são pouco diferentes das conductibilidades electricas:

	Conductibilidade			Conductibilidade	
	Calorifica	Electrica		Calorifica	Electrica
Prata	100,0	100,0	Estanho	22,6	14,5
Cobre	73,3	77,6	Ferro	13,0	11,9
Oiro	58,5	53,2	Chumbo	10,7	8,5
Latão	21,5	23,6	Platina	10,3	8,4
Zinco	24,0	19,0	Bismutho	1,9	1,8

As conductibilidades absolutas foram medidas por Peelet e depois com extremo rigor por Neumann e Angstrom; os numeros que as representam differem muito pouco dos que se obtêm augmentando de $\frac{1}{3}$ os precedentes.

De todas as experiencias sobre a conductibilidade calorifica dos solidos se conclue: que, em geral, os melhores conductores são os corpos mais densos, taes como os metaes, e depois d'elles o marmore; que as substancias organicas são más conductoras; e que nos corpos não homogeneos a conductibilidade não é a mesma em todos os sentidos.

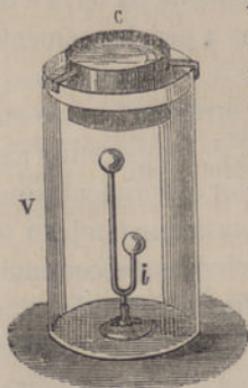
Os oxydos, a porcelana, o vidro, as madeiras, o carvão, as resinas, o enxofre, a seda, a lã, o algodão, conduzem mal o calor. É em virtude do grande poder irradiante da terra e da sua má conductibilidade que o calor solar a penetra sómente até pequena profundidade.

Quando o calor se transmite de um corpo para outro em contacto com elle, ha diminuição sensivel de temperatura nas camadas que se tocam, parecendo que o calor experimenta uma certa resistencia n'esta passagem, resistencia que tambem se manifesta quando no mesmo corpo ha soluções de continuidade. É por isso que nas madeiras a conductibilidade é maior no sentido do comprimento das fibras, e que os corpos no estado de divisão extrema ou constituidos por filamentos delica-dos conduzem mal o calor. Nos crystaes a conductibilidade tambem varia segundo a direcção em que se propaga o calor.

A má conductibilidade da seda, lã e algodão torna estas

substancias mui proprias para fazer os vestidos que se usam no inverno, por que ellas difficilmente dão passagem ao calor do corpo. O linho e o canhamo são melhores conductores e por isso nos parecem mais frescos. A má conductibilidade do vidro e a sua transparencia tornam esta substancia essencialmente propria para evitar a perda de calor no interior das habitações sem vedar o accesso da luz. Em virtude da fraca conductibilidade do vidro e do carvão pôde-se pegar impunemente n'um dos extremos de um tubo de vidro fortemente aquecido no extremo opposto e n'um dos extremos de um fragmento de carvão, incandescente no outro. É em virtude da sua grande conductibilidade que os metaes nos parecem mais frios que os outros corpos, especialmente no inverno, por que transmittem com extrema rapidez no interior da sua massa o calor dos nossos órgãos. Similhantermente os metaes quentes produzem uma impressão diversa da que produz um corpo mau conductor com a mesma temperatura. Envolvendo uma massa metallica com um panno de modo que o contacto esteja bem estabelecido, e collocando sobre o panno uma braza, este não arde porque o calor que recebe é rapidamente absorvi do pelo metal.

507. *Conductibilidade dos liquidos.* — Em geral os liquidos transmittem mal o calor e é quasi sempre pela acção das correntes interiores que se aquecem. A má conductibilidade dos liquidos demonstra-se introduzindo um thermoscopio n'um vaso de vidro *V* (fig. 307) cheio de liquido que se aquece por meio de um pequeno vaso metallico *C* cheio de azeite n'uma temperatura elevada e collocado na parte superior d'aquelle. No fim de algum tempo o indice do thermoscopio apenas apresenta um pequeno deslocamento. Com o mercurio emprega-se um vaso em cuja parede lateral está implantada a haste do thermometro que indica a temperatura interior.



(Fig. 307)

O mercurio é o liquido que melhor conduz o calor, o

que se explica pela sua grande densidade e natureza metálica.

Despretz, empregando um grande vaso de madeira cheio de agua, de metro e meio de altura, mantendo a temperatura constante no foco calorifico collocado superiormente, e dispondo diversos thermometros uns por cima dos outros em toda a altura do vaso, achou que o calor se transmite nos liquidos segundo a lei de Fourier, sendo porém a conductibilidade na agua consideravelmente menor que nas barras metallicas. A experiencia prolongou-se por muito tempo e haviam-se tomado as necessarias precauções para evitar os aquecimentos provenientes da irradiação.

Para aquecer um liquido é necessario collocar-o por cima do foco calorifico, porque n'esse caso estabelecem-se no interior do liquido correntes ascendentes e descendentes, que levam o aquecimento a toda a massa. Com effeito a parte inferior do liquido aquecendo-se torna-se menos densa e eleva-se portanto no vaso, transportando consigo o calor, ao passo que inversamente as camadas superiores descem até o fundo; estas correntes podem observar-se, lançando no liquido uma porção de serradura de madeira. O resfriamento dos liquidos opera-se analogamente. Aquecendo um liquido pela parte superior as camadas proximas do foco calorifico poderiam ferver sem que as inferiores mudassem de temperatura. Sempre que se obsta o estabelecimento das correntes interiores se diminue a transmissão do calor. Rumford fez congelar porções iguaes de agua em dois vasos identicos e lançou n'um d'elles 1 kilogramma de agua a 0° e no outro 1 kilogramma de agua a 100° e reconheceu que as camadas liquidas inferiores, attingindo o maximo da densidade, se interpunham entre o géllo e o liquido superior, de modo que no fim de certo lapso de tempo eram iguaes as porções de géllo fundidos nos dois vasos. Tomando dois balões iguaes cheios de agua a 100° e munidos de thermometros, acha-se que o resfriamento é menos rapido no balão em que os movimentos da agua são impedidos por pedaços de algodão ou de outras substancias. Os fructos carnu-dos, as plantas cujos tecidos são embebidos de diversos succos e os tecidos animaes conduzem mal o calor. Por isso muitas plantas resistem a temperaturas inferiores ao ponto de

congelação dos líquidos que contêm. É em virtude da má conductibilidade dos líquidos que a água superficialmente aquecida pelos raios solares nos lagos, mares, rios, etc., difficilmente transmite a temperatura adquirida ás camadas inferiores.

508. *Conductibilidade dos gazes.*—A conductibilidade dos gazes não se pôde apreciar directamente com facilidade, não só por causa do seu grande poder diathermico, como também pela sua pequena densidade e grande dilatabilidade, que tornam as suas moléculas extremamente moveis. A analogia entre os gazes e os líquidos faz antever que a conductibilidade d'aquelles deve ser extremamente pequena, verificando-se o seu aquecimento por meio de correntes interiores, analogamente ao que se verifica com os líquidos. Sabe-se que todas as substancias filamentosas como as pelles de animaes e os tecidos de seda e lã, entre cujos filamentos o ar fica retido, são más conductoras do calor e d'ahi se conclue que o ar é mau conductor.

Mr. Magnus estudou a conductibilidade dos gazes, empregando um tubo de vidro, collocado verticalmente e fechado por uma torneira, no qual o gaz era aquecido por uma fonte calorifica disposta na parte superior, e sendo a temperatura indicada por um thermometro collocado na parte inferior do aparelho. A temperatura do ar ambiente era mantida a 15°, para evitar as correntes ascendentes. Experimentando com o tubo vazio e depois com elle cheio successivamente de hydrogenio e de outros gazes mais ou menos condensados achou Magnus que a temperatura accusada pelo thermometro era mais elevada quando o tubo continha hydrogenio do que quando estava vazio, e tanto mais quanto mais condensado estava este gaz, verificando-se exactamente o contrario para os outros gazes. A conductibilidade dos gazes é pois insensivel, exceptuando apenas o hydrogenio, o que parece demonstrar que este gaz tem grande analogia com os metaes.

509. *Applicações da conductibilidade.*—Para conservar por bastante tempo um liquido quente ou para impedir que um corpo qualquer absorva calor, emprega-se um vaso de paredes duplas cujo intervallo contém materias más conductoras

como serradura de madeira, palha, vidro, etc. É assim que no verão se conserva o gêlo cercado-o de palha ou revestindo-o com pannos de lã. Á má conductibilidade dos vestidos junta-se ainda a do ar, que, achando-se entre estes e o nosso corpo, augmenta os obstaculos oppostos á perda do calor interior.

510. *Convecção do calor*.—O transporte do calor a distancia por meio de massas aquecidas, denomina-se *convecção*. É assim que se geram os *ventos*, e que estes vão alterar profundamente a temperatura de certas regiões, e que no seio do oceano se produzem as *correntes marinhas*, que tambem concorrem para produzir alterações semelhantes.

A convecção de calor pôde observar-se facilmente nos liquidos deitando com uma pipeta alguma agua fria n'um vaso de vidro contendo agua quente, ou praticando a experiencia inversa.

CAPITULO V

Origens de calor e theoria mechanica do calor

SECÇÃO 1.^a

Calor produzido pelas acções mechanicas

511. *Origens de calor*.—As fontes ou origens de calor podem grupar-se do seguinte modo: 1.^o, as *origens mechanicas*, comprehendendo a fricção, a percussão, a compressão e em geral todas as operações mechanicas pelas quaes se podem deformar os corpos; 2.^o, as *origens physicas* taes como o sol, a terra, as mudanças de estado, as acções moleculares e a electricidade; 3.^o, as *origens chemicas*, isto é, as acções chemicas, e em especial a combustão. A esta ultima classe se pôde tambem referir o *calor animal*.

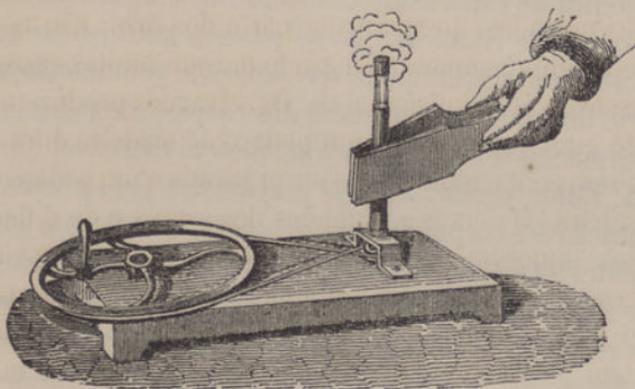
Antes de estudar a theoria mechanica do calor, indicaremos os modos como as differentes acções mechanicas geram o calor; estabelecendo assim as bases d'aquella theoria, para em

seguida tratar resumidamente do calor solar e terrestre, e do que resulta das acções moleculares e finalmente do calor proveniente das acções chímicas. Do calor produzido pelas mudanças de estado já se tratou (capitulo III), restando apenas explicital-o segundo a theoria dynamica. E no livro V se indicará como a electricidade póde gerar calor.

§12. *Calor produzido pela fricção.* — A fricção mutua de dois corpos desenvolve sempre uma quantidade maior ou menor de calor. Exemplos vulgares demonstram este facto. Assim, esfregando as mãos, uma pela outra, aquecem-se. Friccionando entre si dois pedaços de madeira, ou em geral dois corpos quaesquer, desenvolve-se tanto calor sobre as superficies friccionadas, que na maior parte dos casos não as podemos tocar impunemente, chegando mesmo muitas vezes o calor desenvolvido a inflamar-os. Os selvagens produzem fogo, fazendo girar rapidamente um pedaço de madeira dura, e terminado em ponta, n'uma cavidade praticada n'um pedaço de outra madeira. Os eixos e munhões dos carros e de diferentes machinas aquecem-se quando se verifica qualquer movimento em torno d'elles; é para diminuir este effeito e ao mesmo tempo para attenuar a fricção, que esses eixos e munhões se revestem previamente de substancias gordurosas. A madeira nos tornos póde chegar a carbonisar-se em parte por effeito da fricção. No fusil de pederneira as particulas metallicas destacadas pelo silex são tão fortemente aquecidas que se queimam. No vacuo a combustão não se verifica e não se vê portanto a faísca, porém observa-se que as particulas metallicas destacando-se apresentam signaes de fusão. Nas noites escuras observa-se muitas vezes faíscas produzidas pela fricção das ferraduras dos cavallos nas pedras das calçadas.

Davy, friccionando um contra o outro dois pedaços de gelo n'uma atmospherá cuja temperatura era inferior a 0° conseguiu fundil-os. Rumford fez experiencias notaveis sobre a producção do calor por meio da fricção. Tendo notado a grande quantidade de calor que se desenvolve na brocagem das bôcas de fogo, fez construir um cylindro ôco de ferro, no qual entrava uma especie de pilão fixo, fortemente comprimido

contra o fundo. O cylindro foi posto em movimento de rotação, no interior de uma caixa contendo 10 litros de agua, a qual no fim de 2 horas e meia entrou em ebulição. Mrs. Beaumont e Mayer construíram uma machina na qual 400 litros de agua se elevavam em 1 hora de 10 a 130° por meio da fricção de um cone de madeira coberto de canhamo e girando com velocidade de 400 voltas por minuto n'um tubo conico fixo e mergulhado n'uma caldeira hermeticamente fechada. Um aparelho mui simples, devido a Mr. Tyndall, torna patente em poucos minutos o calor produzido pela fricção. Consta este aparelho (fig. 308) de um pequeno cylindro de latão



(Fig. 308)

cheio de agua e ao qual se imprime movimento de rotação por meio de uma roda munida de manivella e um cordão sem fim. O tubo é levemente apertado por uma pinça formada por dois pedaços de madeira unidos por uma charneira e nos quaes estão praticadas cavidades semi-cylindricas. A fricção entre a pinça e o tubo aquece rapidamente a agua contida n'este, de modo que, no fim de alguns minutos a temperatura d'este liquido excede 100° e a rolha que tapa superiormente o tubo é projectada pela força do vapor produzido.

O movimento da agua nos mares, rios e quédas de agua, os ventos e em geral os movimentos dos fluidos produzem calor, resultante da fricção das differentes particulas umas contra as outras. Mr. Joule, fazendo girar uma roda de palhetas no interior de um vaso que continha agua, achou que, no fim

de certo lapso de tempo a temperatura d'esta se elevava. Uma bala atravessando o ar aquece-se pela fricção. E a theoria mais provavel sobre os aerolitos é que estes pequenos astros são corpos planetarios, que a attracção terrestre afasta das suas orbitas, e se tornam incandescentes pela fricção contra o ar atmosferico.

A quantidade de calor produzido pela fricção depende, como o demonstam immensas experiencias, da natureza e estado das superficies friccionadas, da pressão e da velocidade.

Sendo, como o prova a experiencia, indefinida a quantidade de calor produzido pela fricção, não pôde este ser attribuido á differença de capacidade calorifica dos corpos friccionados, nem ás acções chemicas que se passem entre esses corpos. Esse calor unicamente pôde ser explicado pelo movimento vibratorio impresso ás moleculas dos corpos que se friccionam; transformando-se assim o movimento em calor.

513. *Calor produzido pela percussão e pela pressão.* — A deformação dos corpos ducteis, seja pela percussão ou por qualquer outra fôrma, determina a producção de quantidades indefinidas de calor. A passagem de um metal pela fieira ou laminador, a extensão de uma barra produzida por grandes cargas, e a sua flexão, geram quantidades maiores ou menores de calor.

Quando se percute com o martello uma barra de ferro, chumbo, cobre, etc., é tal o calor desenvolvido, que approximando a qualquer d'estes corpos um fragmento de phosphoro ou enxofre, este inflammase immediatamente. O calor é não só devido á aproximação das moleculas mas principalmente ao movimento vibratorio que lhes é impresso.

Quando se comprime um corpo de modo que o seu volume se reduza, desenvolve-se uma quantidade de calor tanto maior quanto mais consideravel é a diminuição de volume. Os gazes, por exemplo, que são mui compressiveis, desenvolvem pela pressão mais calor que os outros corpos. É n'esta propriedade que se funda a construcção do fusil pneumatico



(Fig. 309)

(fig. 309). Quando se exerce uma forte pressão para

comprimir o ar contido no instrumento desenvolve-se uma temperatura tão elevada, que incendeia o oleo com que se tem humedecido os bordos do embolo e a combustão communica-se a uma porção de isca que tem sido previamente collocada na face do mesmo que está em contacto com o fluido comprimido. A inflammação da isca mostra que a temperatura se elevou pelo menos a 300°.

A elevação de temperatura produzida pela pressão basta para determinar a combinação, e portanto a detonação de uma mistura de oxigenio e hydrogenio.

514. *Frio devido á expansão dos gazes.*—Ao contrario do que se verifica na compressão dos gazes, a expansão d'estes determina a producção de frio. Prova-se isto collocando um thermometro muito sensivel sob o recipiente da machina pneumatica, porque se verá o thermometro accusar temperaturas cada vez mais baixas á medida que se rarefaz o ar. Abandonando depois a si mesmo o apparelho, o thermometro voltará de novo a accusar a temperatura primitiva, e deixando em seguida penetrar o ar, o thermometro accusará uma temperatura superior, resultante da compressão momentanea do ar. N'esta ultima parte da experiencia o thermometro collocado junto ao lugar por onde passa o ar não accusa mudança de temperatura; um pouco mais adiante, no ponto em que o ar se tem dilatado, accusa uma temperatura mais baixa; e é só a maior distancia que, por effeito da compressão das primeiras porções entradas pelas que se lhe seguiram, se observa augmento de temperatura.

Quando o vapor sáe de uma caldeira de alta pressão, condensa-se sob a fôrma de denso nevoeiro, resfriando-se a ponto que mergulhando n'elle a mão se sente uma impressão de frio. Se a pressão não fosse superior á da atmospherá o vapor teria a temperatura de 400°. O gaz *anhydrido carbonico* consolida-se (263) quando sáe de um recipiente onde estava fortemente comprimido.

Gay-Lussac, comparando o effeito da compressão e expansão do ar (477), achou que a elevação de temperatura produzida por certo augmento de pressão é igual ao abaixamento re-

sultante de uma igual diminuição. Mr. Joule collocou n'um calorimetro dois balões de cobre, um vasio e outro cheio de ar a 22 atmosferas, e tendo-os reunido a pressão tornou-se em ambos igual a 11 atmosferas, sem que a agua accusasse a minima differença de temperatura, o que mostra que houve compensação entre os effeitos da compressão e expansão do ar.

SECÇÃO 2.^a

Theoria mechanica do calor

515. *Theorema do trabalho.* — Quando se applica uma força constante a um ponto material, ha entre as velocidades adquiridas $V, V' \dots$, os espaços percorridos $e, e' \dots$, e as accelerações $j, j' \dots$, (40) as seguintes relações

$$V^2 = 2 j e, V'^2 = 2 j e';$$

e substituindo j pela relação entre a força f e a massa m do ponto material, e subtrahindo entre si as duas equações resultantes, obtem-se

$$f(e - e') = \frac{1}{2} (m V^2 - m V'^2).$$

O primeiro membro d'esta equação representa o producto da força pelo espaço percorrido pelo ponto de applicação durante o tempo considerado, isto é, o trabalho da força (97); e o segundo representa o accrescimo de força viva, porque o producto $m V^2$ se denomina força viva (99). A equação anterior exprime pois, que *o trabalho de uma força durante um tempo dado é igual a metade do accrescimo de força viva do ponto material durante o mesmo tempo.* Este theorema tem sido generalizado para os casos em que o ponto material é solicitado por muitas forças, e para o caso de applicação de forças a pontos materiaes livres ou ligados entre si.

A unidade de trabalho é o kilogrammetro, isto é, o trabalho produzido pela elevação de um kilogramma á altura de um metro, ou pelo seu descenso da mesma altura.

O theorema do trabalho mostra que todo o corpo que *despende* ou *gasta* um certo trabalho *cria* uma força viva equi-

valente e inversamente o corpo que *perde* força viva, *gera* ou *accumula* trabalho. Assim, por exemplo, quando se deixa cair uma pedra de certa altura, o trabalho despendido na queda transforma-se em força viva de que o corpo está animado quando encontra algum obstaculo, força viva que se póde ainda transformar em trabalho. E quando se imprime a um corpo movimento ascencional, a velocidade diminue successivamente, e o corpo perde por conseguinte força viva, e quando ambas são nullas tem-se accumulado ou produzido trabalho, que se dispende, quando o corpo cæe, reproduzindo a velocidade primitiva no momento em que elle chega ao ponto de partida.

Deixando, por exemplo, cair um martello sobre um timbre, o trabalho despendido por aquelle, será necessariamente transformado em vibrações sonoras; e uma somma de forças vivas, igual ao duplo d'aquelle trabalho, animará as moleculas do timbre. Este communica o seu movimento vibratorio aos meios que o circumdam e ao nosso orgão auditivo. A força viva dissemina-se, porém não se perde, porque se fosse possivel reunil-a de novo, seria susceptivel de produzir o trabalho primitivo. Agora se o martello cæe sobre uma massa de chumbo não haverá vibrações sonoras; porém como o trabalho não póde ter sido despendido sem produzir alguma cousa, admitte-se que se transformou em movimentos moleculares tão rapidos, que não podendo ser sensiveis ao nosso orgão auditivo, geram no entanto o calor que se observa na massa de chumbo.

§16. *Transformação do trabalho em calor e transformação inversa.*—Em geral, na fricção e compressão, o trabalho despendido transforma-se em força viva molecular, isto é, em calor. Assim estendendo uma porção de cautchuc, ha trabalho gasto e producção de calor. Nas experiencias de Rumford (§12) era o trabalho d'um cavallo que produzia a rotação do cylindro, que gerava o calor. Comprehende-se, pois, bem que a quantidade d'este seja indefinida como era o trabalho do motor. Fazendo girar rapidamente um disco de cobre entre os extremos dos ramos d'um forte electro-iman, aquelle experimenta grande resistencia, devida ás acções electricas que se dão en-

tre o disco e o iman, e ao mesmo tempo o disco aquece-se e tanto mais quanto maior é o trabalho despendido para o fazer girar. Na experiencia de Joule (512) a resistencia do liquido gastava uma parte do trabalho do motor, aquecendo-se aquelle tanto mais quanto maior era essa despeza. E quando se comprime um gaz mantido n'um recipiente cercado d'agua, a resistencia do gaz é uma despeza de trabalho que produz a elevação de temperatura da agua.

Inversamente, sempre que ha calor destruido, ha producção de trabalho. Assim, quando um gaz ou vapor aquecido se dilata impellindo um embolo, resfria-se. E quando um gaz se expande, sem ter sido aquecido, resfria-se tambem (514), porque produz o trabalho da propria expansão. Quando se abandona a si mesmo um pedaço de cautchuc previamente estirado, encurta-se produzindo trabalho ao mesmo tempo que a sua temperatura diminue. Na experiencia de Gay-Lussac já citada (477 e 514) o movimento do gaz produz differenças iguaes de temperatura em sentidos contrarios, porque a mesma quantidade de trabalho creado ou destruido é acompanhada de quantidade equivalente de calor annullado ou produzido. E na experiencia de Joule (514) a água do calorimetro não accusa variação de temperatura, porque o calor destruido pela expansão n'um dos balões é igual ao creado pela compressão no outro. Se o segundo balão, em vez de vasio, estivesse cheio de agua, o ar expandindo-se teria de expellir este liquido, e a temperatura da agua do calorimetro baixaria.

Quando se projecta sobre a face da pilha do thermo-multiplicador uma corrente de ar previamente comprimido n'um reservatorio, aquelle instrumento accusa uma diminuição de temperatura, porque no trabalho que o ar executa saindo, uma parte do calor equivalente a esse trabalho se consome. Quando porém se dirige contra a face da pilha a corrente de ar produzida pelo folle ordinario, o apparelho thermometrico accusa sempre uma elevação de temperatura, porque n'este caso o trabalho é produzido pelo braço do operador e a destruição d'esse trabalho importa a producção de calor.

317. *Equivalente mechanico do calor.*—As experiencias que precedem e muitas outras igualmente concludentes levaram á conclusão de que o trabalho que se despende se transforma em calor, e que inversamente o calor consumido se transforma em trabalho mechanico.

Em geral o trabalho empregado n'um corpo ou *orgão mechanico* produz trabalho exterior e , trabalho interior i , despendido em afastar ou approximar as suas moleculas, isto é, em o dilatar ou contrahir, e finalmente trabalho empregado em fazer vibrar rapidamente as moleculas, dando a cada uma certa velocidade V e um acrescimo de força viva $\frac{1}{2} m V^2$ e ao seu conjunto $\frac{1}{2} \Sigma m V^2$, quantidade que representa calor. No caso em que não haja trabalhos interior e exterior, deve o trabalho despendido T ser exactamente representado pelo calor produzido $\frac{1}{2} \Sigma m V^2$. Ora esta quantidade não se podendo avaliar directamente por não se conhecer V , mede-se em calorias. Se Q representa esta medida e E o trabalho correspondente a uma caloria ou a relação constante entre o trabalho despendido e o calor creado será: $T = E Q$.

Mr. Joule, sabio de Manchester, a quem se devem os primeiros trabalhos importantes sobre este ramo da Physica, deu ao coefficiente E , o nome de *equivalente mechanico do calor*. Este equivalente representa o trabalho que corresponde a uma *caloria*, isto é, o trabalho que despendido para exercer a fricção, comprimir um corpo, etc., dá origem a uma caloria. Se a theoria é exacta, dever-se-ha chegar pois ao mesmo numero para representar o equivalente mechanico do calor, qualquer que seja o modo de experimentação empregado.

Foi o medico allemão Mayer, que primeiro formulou a relação intima que existe entre o calor e o trabalho, estabelecendo o numero geralmente admittido como equivalente mechanico do calor. Quasi ao mesmo tempo mr. Joule tratava experimentalmente o mesmo assumpto e chegava depois de bastantes trabalhos a estabelecer em bases seguras a nova theoria do calor. Já em 1800 Mongolfier considerára o calor como susceptivel de se transformar em trabalho mechanico, e inversamente; porém estas idéas não foram adoptadas n'essa epocha.

518. *Determinação do equivalente mechanico do calor.*— Mr. Joule procurou determinar o equivalente mechanico do calor por differentes meios, invertendo por assim dizer o problema, isto é, procurando a quantidade de calor produzido por certa despeza de trabalho. Depois d'elle diversos sabios têm procurado fazer essa determinação pela experien-
cia ou pelo calculo.

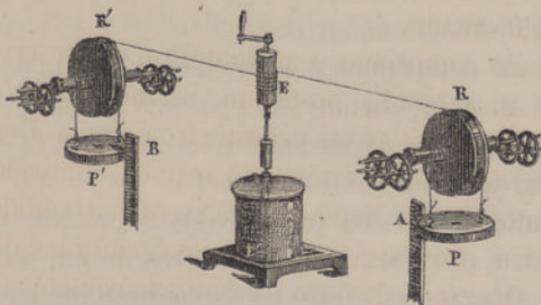
Mr. Joule comprimiu o ar contido n'um reservatorio por meio de uma bomba premente, estando tanto esta como aquelle mergulhados n'um calorimetro de agua. Depois de trescentos movimentos do embolo, o ar tinha adquirido a pressão de 22 atmospheras. Media-se então o calor C cedido á agua do calorimetro, proveniente da compressão do gaz e da fricção do embolo. Operando de novo trescentos movimentos de embolo com o reservatorio aberto, determinou-se approximadamente o calor C' devido a este ultimo effeito; $C - C'$ representa pois o calor proveniente da compressão do gaz. Em cada movimento do embolo a pressão sobre este, augmentando de uma quantidade constante, se c representa a extensão da carreira do embolo, P a pressão primitiva, a o accrescimento constante de pressão e P_1 pressão final; o trabalho total T será:

$$T = P c + (P + a) c + \dots + P_1 c = 300 \frac{(P + P_1) c}{2};$$

e o equivalente mechanico $E = \frac{T}{C - C'}$. Procedendo d'este modo achou-se $E = 444$ kilogrammetros.

Mr. Joule, baseando-se na fricção dos liquidos, achou resultados mais precisos. O aparelho empregado era um calorimetro d'agua ou de mercurio, no interior do qual se movia em torno de um eixo $E E'$ (fig. 310) uma roda de palhetas que, pela sua fricção contra o liquido, elevava a temperatura d'este. O movimento da roda era produzido por um duplo cordão $R E$ e $R' E$, que passava pelas roldanas R e R' solicitadas por pesos P e P' que caíam de alturas que se determinavam por meio de reguas A, B . O trabalho gasto pela resistencia do liquido obtem-se subtrahindo do trabalho total

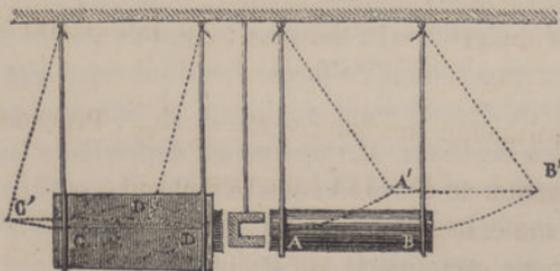
$P a$, producto dos pesos pela altura percorrida, o trabalho perdido pelas fricções do aparelho, o qual se avalia reunindo directamente as duas roldanas e procurando o peso p necessario para lhe imprimir a mesma velocidade. O calor desenvolvido apreciava-se pelos methodos calorimetricos. Com a agua achou-se $E=424. \text{kgm}$, e com o mercurio $E=425. \text{kgm}$ E



(Fig. 310)

substituindo a roda de palhetas por um disco de ferro fundido girando sobre um plano fixo, achou-se $E=426. \text{kgm}$

Mr. Hirn, a quem se devem excellentes trabalhos sobre a theoria mechanica do calor, determinou o equivalente mechanico empregando dois cylindros horisontaes de ferro fundido $C D$ (fig. 311) e $A B$, cujos pesos eram respectivamente P e



(Fig. 311)

p e entre os quaes collocou uma massa de chumbo E , cujo peso era π e de que c era o calor especifico. Os cylindros e a massa E estavam suspensos por cordas. Levantando o cylindro $A B$ a uma pequena altura a , figurada em $A' B'$, e deixando-o cair como um martello sobre a massa E , esta era esmagada contra o cylindro $C D$, que figura de bigorna. O trabalho perdido elo

martello na queda é $p(a - a')$ sendo a' a altura a que elle de novo se eleva em virtude da elasticidade. Pelo seu lado a bigorna subindo á altura A , adquiriu o trabalho PA . O trabalho T absorvido pela massa E é pois $p(a - a') - AP$. Se Θ representa o accrescimento de temperatura da massa de chumbo, o equivalente E será igual a $\frac{T}{\pi c \theta}$. O valor de E achado por este meio é igual a 425 kilogrammetros.

Mr. Person determinou pelo calculo o valor do equivalente mechanico do calor, partindo do principio que uma massa gázosa não perde calor expandindo-se no vacuo (514). Por este meio achou para E o valor de 424.^{kgm}

Os resultados obtidos pelos diversos processos não são perfeitamente accordes: porém os erros devem ser attribuidos ás incertezas das experiencias, porque um mesmo processo dá muitas vezes resultados que divergem mais entre si do que os de processos differentes. A circumstancia de se terem obtido numeros proximos para representar o equivalente E não deve deixar duvida sobre a existencia d'este. Toma-se ordinariamente para representar E o seu valor medio, isto é, 430.^{kgm}

519. *Explicação dos diversos phenomenos calorificos segundo a theoria mechanica do calor.*— Os corpos são constituídos por moleculas em movimento, apresentando n'um dado instante uma somma de forças vivas que representa o calor que contêm. Essa somma augmenta ou diminue quando se aquecem ou resfriam. A *temperatura* depende da velocidade do movimento vibratorio de que as moleculas estão animadas e representa esse estado. As moleculas transmittem o movimento de que estão animadas aos corpos que as cercam, que reciprocamente lh'o podem ceder. O equilibrio de temperatura dá-se quando ha compensação entre o movimento cedido e o recebido, communicando os corpos mais quentes maior quantidade de movimento do que a que recebem.

Como o movimento molecular é tanto mais intenso quanto maior é a quantidade do calor communicado, comprehendendo perfeitamente que as moleculas tendam a afastar-se umas

das outras e a fazer tomar maior volume aos corpos que constituem. N'um solido as particulas estão retidas pela força de cohesão ao mesmo tempo que afastadas umas das outras pelo calor. Continuando a communicação de calor, as moleculas afastam-se mais entre si, isto é, executam movimentos mais amplos em torno das suas posições de equilibrio, do que resulta o augmento de volume ou *dilatação*. Communicando ainda mais calor, a força de cohesão vae decrescendo successivamente até que as moleculas, sem estarem completamente libertas do jugo da cohesão, são perfeitamente moveis umas sobre as outras. É este o estado liquido.

Finalmente, se ao corpo no estado liquido se communica ainda mais calor, as moleculas distanciar-se-hão cada vez mais, isto é, o liquido dilatar-se-ha, e por fim o movimento das moleculas tornar-se-ha completamente livre. Estas deixando de obedecer á força de cohesão, isolar-se-hão, e se uma das superficies do liquido é livre, isto é, não limitada por um solido ou liquido, as particulas que vibram á superficie do liquido sairão d'elle, lançando-se no espaço com certa velocidade. Estas moleculas apresentarão pois o estado de *vapor* ou de *gaz*. Vê-se pois como a theoria mechanica ou dynami-ca do calor dá conta do phenomeno geral da dilatação e das mudanças de estado.

O phenomeno da fusão é sempre acompanhado de destruição de calor e a solidificação de producção de calor. A theoria material, na impossibilidade de explicar estes phenomenos, denominava *latente* o calor que desapparecia durante a fusão e que de novo se manifestava na solidificação. A theoria thermodynamica prevê e explica perfeitamente estes factos.

Para vencer a cohesão que une entre si as moleculas dos solidos é necessario o trabalho de uma força opposta. Este trabalho póde em parte effectuar-se pulverisando a substancia; porém, em geral, opera-se totalmente fornecendo ao corpo por unidade de peso uma certa quantidade de calor que será o equivalente thermico da cohesão destruida. É este calor que se denominava latente de fusão e que melhor se denominará simplesmente *calor de fusão*. Na fusão ha tambem

trabalho interior, isto é, afastamento ou aproximação das moléculas, e trabalho exterior destinado a vencer as resistências exteriores. O géllo diminue de volume pela fusão e o contrario succede com a parafina. A pressão, obrando no mesmo ou em sentido inverso do calor, faz baixar o ponto de fusão no primeiro caso e eleva-o no segundo.

Os phenomenos da vaporação e liquefacção são acompanhados do desaparecimento ou producção de calor, factos que se concebem perfeitamente segundo a theoria dynamica. De feito as moléculas de um liquido, quando se afastam para darem origem ao vapor, produzem alem do trabalho interior que as separa o trabalho exterior de projecção, analogo ao dos gazes quando se dilatam. A producção d'estes trabalhos determina a perda de calor que, para cada unidade de peso, constitue o que se chamava calor latente de vaporação, e que melhor se denominará simplesmente *calor de vaporação*.

Não só se não conhece a natureza intima do movimento que o calor imprime ás moléculas dos solidos e liquidos como tambem qual a porção de calor empregado na producção do *trabalho interior*.

520. *Theoria dos gazes; consequencias.* — Nos gazes perfeitos o trabalho interior, isto é, o empregado em approximar ou afastar as moléculas, é nullo, porque estas, inteiramente libertas dos liames da cohesão, são completamente independentes entre si. A experiencia de Joule, (514) mostrando que um gaz se dilata sem resfriar quando não produz trabalho exterior, parece comprovar effectivamente aquelle facto. Verificada, porém, a independencia mutua das moléculas gazosas, custa a comprehender-se como estas formam um todo por tal fórma solidario, que uma alteração de pressão ou temperatura produzida n'um ponto de qualquer massa gazosa vae modificar o resto da massa. Estes factos explicam-se rasoavelmente por meio da theoria proposta em 1738 por Bernouilli e desenvolvida ultimamente por Clausius e Joule. Segundo esta theoria, as moléculas gazosas são lançadas rectilineamente em todas as direcções, com grandes velocidades, cruzando-se em todos os sentidos e chocando-se mesmo sem perderem quan-

tidade de movimento. Estabelece-se assim uma especie de regimen commum nos gazes, de modo que se o movimento enfraquece em algum ponto, é immediatamente reforçado pelo resto da massa agitada. O effeito da força attractiva entre duas moleculas que se approximam é nullo ou quasi nullo por serem grandes os espaços intermoleculares e as velocidades das moleculas. Da theoria de Bernouilli deduzem-se como consequencias as diversas propriedades dos gazes.

As moleculas gazosas contidas em qualquer reservatorio chocam continuamente e em todas as direcções as paredes d'este, obrando a resultante das diversas componentes normaes ás paredes, como uma pressão continua normal que constitue a *pressão do gaz*. É a pressão resultante d'estes choques continuos das moleculas que faz inchar uma bexiga contendo ar, quando se diminue a pressão externa (163, fig. 85) ou se augmenta a temperatura do ar interior; n'este ultimo caso é o augmento das forças vivas impressas ás moleculas que determina aquelle effeito. A impressão do calor sobre os nossos órgãos, na proximidade de corpos quentes resulta igualmente dos reiterados choques das moleculas aereas que os órgãos experimentam.

Quando se exerce pressão com um embolo sobre o gaz contido n'um tubo, as moleculas gazosas que incidem sobre o embolo recebem, alem da velocidade reflectida, igual á incidente, um acrescimo de velocidade que é a do embolo; a força viva das moleculas augmenta á custa do trabalho communicado pelo embolo, e a massa gazosa aquece-se. Reciprocamente se o choque das moleculas impelle o embolo em sentido contrario, as moleculas perdem a sua velocidade e temperatura, desaparecendo uma quantidade de calor equivalente ao trabalho que o embolo produz.

A pressão P de uma massa gazosa póde medir-se pelo esforço que seria necessario applicar em sentido contrario ao da acção do gaz, sobre uma superficie igual á unidade, para destruir a componente normal v da velocidade das moleculas, e para lhe dar uma outra velocidade normal e igual. Se M designa a massa de todas as moleculas, será $P = 2 M v$. Ora M é evidentemente proporcional ao numero de moleculas contidas na unidade de volume ou á densidade d e á massa

m e velocidade v de cada uma. Ter-se-ha pois $P = 2 k d m v^2$, o que indica, que para determinado valor da força viva, ou para determinada temperatura, a pressão do gaz é directamente proporcional á densidade ou inversamente proporcional ao volume.

Sendo as moléculas dos diversos gazes igualmente livres, comprehende-se que nas mesmas condições de temperatura e pressão, um dado volume de qualquer gaz ou mistura de gazes deve conter o mesmo numero de moléculas, e que a mesma quantidade de calor eleve de 1° a temperatura da molécula elemental de qualquer gaz. Por outra parte as moléculas gazosas devem tambem afastar-se igualmente entre si para o mesmo accrescimento de temperatura, o que equivale a dizer que o coefficiente de dilatação é constante para todos os gazes.

Assim a lei da compressibilidade dos gazes, devida a Mariotte, as da mistura e igual dilatação dos gazes, devidas a Gay Lussac e a do calor atomico descoberta por Dulong, comprovam as hypotheses sobre a constituição dos gazes. Se estas leis não são rigorosamente verdadeiras para todos os gazes, como o demonstram principalmente os importantes trabalhos de mr. Victor Regnault, é isso talvez devido a que nunca se verifica o estado gazoso perfeito. Esse estado apenas se verifica talvez com o hydrogenio e approximadamente com o oxygenio e azote e a sua mistura, o ar atmospherico. O gaz anhydrido carbonico afasta-se muito do estado de gaz perfeito, assim como os diversos gazes impermanentes, e os vapores estão no mesmo caso.

Se, na expressão que representa a pressão P de um gaz n'uma certa temperatura, em função da pressão a 0° se substitue t por 267 ou antes por 273 , por ser $\frac{1}{273}$ o valor mais exacto do coefficiente medio da dilatação dos gazes, obtem-se $P = 0$. D'aqui resulta que a -267° , ou antes -273° a pressão do gaz será nulla, e como esta é proporcional á força viva molecular, é necessario que n'esta temperatura as moléculas estejam em reponso e não haja por conseguinte calor. Por isso essa temperatura se denomina *zero absoluto* (485). É facil de ver que a temperatura absoluta, isto é, a contada a partir do zero absoluto, é proporcional á quantidade de força viva do gaz e que lhe serve de medida.

524 *Calor desenvolvido pelo choque dos projectis e aereolithos.*—O trabalho que póde executar um projectil de peso P e animado de velocidade v é (515) $T = \frac{P v^2}{2 g}$. Se o projectil pára repentinamente, este trabalho transforma-se n'uma quantidade de calor expressa por $P \theta c E$, se c representa o calor especifico do projectil, θ a elevação de temperatura e E o equivalente mechanico do calor. Ter-se-ha portanto, $\frac{P v^2}{2 g} = P \theta c E$, e $\theta = \frac{v^2}{2 g c E}$, expressão que permite calcular a tem-

peratura desenvolvida pelo choque, suppondo que o calor produzido não é repartido entre o projectil e o obstaculo que se lhe oppõe. Suppondo a velocidade de 500 metros por segundo, uma balla de ferro aquecer-se-ia 300° e uma de chumbo 800°. E os aerolithos, cujas velocidades variam entre 10 e 100 kilometros por segundo, e alguns dos quaes são de ferro quasi puro, attingirão necessariamente temperaturas elevadissimas, quando experimentam a resistencia do ar.

Calculou-se que se a Terra parasse repentinamente no seu movimento de translacção, desenvolveria tanto calor que se volatilisaria. Se depois de parar caísse sobre o sol, resultaria d'este facto tanto calor como o prodnzido pela combustão de mil e seiscentos globos de carvão iguaes ao volume terrestre.

SECÇÃO 3.^a

Calor solar e terrestre e devido ás acções moleculares

522. *Hypotheses sobre a constituição physica do sol.*—O sol é a fonte mais intensa de calor para a superficie terrestre e por isso o principal elemento da força e da vida. Tem este astro a fórma espherica e move-se sobre si mesmo em 25,34 dias, e o seu diametro é cento e doze vezes maior que o terrestre. Examinado com o auxilio de um poderoso instrumento de optica, denominado telescopio, apresenta a superficie como que estriada por pontos e traços brilhantes, denominados *faculas* e por *manchas* escuras, algumas das quaes são tão grandes, que se observam com a vista desarmada. As manchas, posto que não sejam permanentes, conservam-se ás vezes durante muitas revoluções successivas do sol. Não se sabe a origem do calor solar, porém diversas hypotheses mais ou menos verosimeis se têm feito para a explicar. Pensava-se antigamente que o sol era como um immenso reservatorio de calor, cuja quantidade parecia não ter diminuido desde os tempos historicos, ou um foco de materias em combustão. O estado de adiantamento da sciencia demonstra a falsidade d'estas hypotheses, poisque no primeiro caso o sol se devia necessariamente resfriar e no segundo extinguir-se. É necessario que o sol se renove perpetuamente para que o calor d'este astro seja permanente.

Mayer admitte que os asteroides e todas as materias cosmicas da luz zodiacal caem sobre o sol, produzindo pelo choque tão grande quantidade de calor que pôde manter a incandescencia solar. A velocidade de rotaçãõ do sol devia porém diminuir consideravelmente em virtude d'esses continuos choques, chegando por fim a destruir-se, o que não é exacto.

Segundo mr. Faye, o sol é constituído por um nucleo obscuro, que

se observa no centro das manchas, cercado de uma camada luminosa que se nota nos contornos d'aquellas e finalmente por um involuero gazoso ou pelo menos liquido e extraordinariamente brilhante, a *photosphera*, acima da qual ainda se observa nos eclipses totaes uma especie de nuvens rosadas a que se dá o nome de *protuberancias*. As manchas, como o demonstram as observações, são especies de cavidades praticadas nas duas camadas exteriores. Mr. Faye suppõe que a massa do sol é devida á condensação de uma materia cosmica, que pela sua concentração perdeu grande quantidade de força viva, gerando tão consideravel quantidade de calor, que a temperatura produzida, fóra de toda a comparação, deve produzir a dissociação de todos os elementos. Na superficie a temperatura, em virtude da irradiação, deve baixar a 5000° ou 6000°, e então os elementos começando a reagir entre si, formam a *photosphera*, que é constituida por um gaz contendo particulas solidas. Estas serão attrahidas pelo nucleo para se dissociarem de novo, sendo substituidas por outras que continuarão o mesmo effeito. Esta explicação está longe de satisfazer completamente.

523. *Medida do calor solar.*— A quantidade de calor que o sol nos envia foi medida approximadamente por Pouillet por meio apparelhos de que denominou *pyrheliometros*. Antes d'elle já Saussure e Herschell haviam procurado medir essa quantidade.



(Fig. 312)

O pyr heliometro compõe-se de uma caixa cylindrica *C* (fig. 312) cuja superficie anterior é coberta de negro de fumo, para absorver completamente os raios solares, sendo as outras prateadas e polidas para irradiarem o menos possivel. Esta caixa, que serve de calorimetro, contém agua distillada na qual mergulha o reservatorio de um thermometro *T*. O apparelho póde girar em torno do eixo *A*, a fim de misturar entre si as camadas liquidas. Um circulo inferior, cuja área é igual á da superficie anterior da caixa recebe a

sombra d'esta, servindo para orientar o aparelho, a fim de que aquella superficie receba normalmente os raios solares. Para operar com este instrumento volta-se primeiramente a superficie ennegrecida, durante $5'$, para uma parte do céu sem nuvens, depois expõe-se á acção directa dos raios do sol durante outros $5'$, e finalmente durante igual espaço de tempo colloca-se de novo o aparelho como no principio. Em cada um d'estes intervallos de tempo se observa a diminuição ou o acrescimo de temperatura accusado pelo thermometro. Se t' e t'' representam os resfriamentos observados na primeira e ultima observações, $\frac{t' + t''}{2}$ será a perda de calor experimentado pelo aparelho durante a acção solar, e se t designar o augmento de temperatura durante a exposição aos raios solares, o effeito T devido a esta ultima causa será igual a $t - \frac{t' + t''}{2}$. E se P designa o peso equivalente em agua do calorimetro e S a área da superficie, a quantidade de calor absorvida durante um minuto pela unidade de superficie será $\frac{P T}{S}$.

Se A representa a quantidade do calor recebido durante um minuto pela unidade de superficie, no limite superior da atmospha, acha-se que a quantidade de calor C recebida á superficie do solo pela unidade de supercie é expressa por $A a^e$, sendo e a espessura da atmospha e a uma quantidade que se acha ser constante em todo o dia, variando no anno entre 0,7244 e 0,7888, o que mostra que um raio solar vindo do zenith perde proximamente $\frac{1}{4}$ do seu calor antes de chegar ao solo. A constante A achou-se igual a 1,7633 calorias, de sorte que se não houvesse atmospha, a unidade da superficie terrestre receberia em cada minuto 1,7633 calorias. Calculou-se que o sol poderia fundir n'um anno uma camada de gêlo que o envolvesse e tivesse mil quatrocentas quarenta e sete leguas de espessura. A quantidade de calor recebido pela superficie terrestre varia com a obliquidade dos raios. Assim durante o dia, é tanto maior quanto mais distante está o sol do horisonte. Essa quantidade varia tambem com as estações segundo a distancia a que a terra está do sol. E varia ainda com a latitude, sendo maxima no equador e minima nos polos.

524. *Effeitos do calor solar.*— Nas regiões equatoriaes os raios solares incidindo fortemente sobre a superficie terres-

tre produzem, em alto grau, o aquecimento do ar e das aguas, que se evaporam. O ar quente e carregado do vapor contém uma grande provisão de calor, que perde em parte pela sua elevação e expansão nas altas regiões da atmosphera. Formando, porém, as correntes que se dirigem para os polos, desce depois junto ao solo, retomando então o seu volume e pressão primitiva. É assim que transporta para as regiões temperadas o calor e a agua que absorvêra na zona torrida. O vapor aquoso depois de ter sido transportado para os continentes condensa-se, produzindo a chuva e cedendo ao solo o calor de vaporação que tinha absorvido, alem do que provém do trabalho da sua quèda. As aguas das chuvas que formám as ribeiras e os rios dirigem-se para o mar, e n'esta ultima parte do seu trajecto libertam a quantidade restante do calor que a sua ascensão e vaporação nas regiões equatoriaes lhes tinha feito absorver.

Os effeitos mechanicos produzidos pelo vento e correntes de agua são em ultima analyse devidos ao calor do sol.

§25. *Calor proprio da terra.*—O globo terrestre tem calor proprio, insensível á superficie, mas que as escavações das minas e dos poços artesianos, as fontes thermaes e a existencia dos vulcões comprovam plenamente. N'uma profundidade, diversa nos differentes logares do globo, encontra-se uma camada de terreno em que a temperatura é constante em todas as estações do anno, a qual se denomina camada invariavel.

A partir d'esta camada, nas grandes escavações, minas e poços artesianos, tem-se achado que por cada 30 metros de profundidade, termo medio, augmenta 1.º a temperatura, de sorte que se esta lei é constante, suppondo que a temperatura media da superficie do globo é 10º, na profundidade de 2:700 metros, abaixo da camada invariavel, a temperatura será de 100º; por conseguinte n'uma maior profundidade, mas muito áquem do centro da terra, devem todas as substancias, ainda as mais refractarias ao calor, jazer em completa fusão.

Diversas hypotheses têm sido feitas pelos physicos e geologos para explicar o calor interior da terra. A hypothese mais

geralmente seguida, admite que a terra esteve primitivamente no estado liquido pelo effeito de uma elevadissima temperatura, e que as partes mais exteriores, achando-se expostas ao resfriamento no espaço, se consolidaram progressivamente, formando uma especie de crusta solida, existindo ainda a parte central em completa fusão.

526. *Calor devido ás acções moleculares.*—Em geral as acções moleculares, taes como a absorpção, a imbibição e os phenomenos capillares são acompanhadas de desenvolvimento de calor. Mr. Pouillet achou que, quando se lança n'um liquido um solido em estado de divisão, se produz sempre um augmento de temperatura, que varia segundo a natureza das substancias. Phenomeno analogo se verifica quando os solidos absorvem os gazes. Assim a platina muito dividida ou o *negro de platina* absorve tal quantidade de oxygenio que a temperatura elevada que se produz pôde determinar diversas combustões. A esponja de platina, que se obtém precipitando pelo sal ammoniaco o chlorureto de platina, dá os mesmos resultados.

Mr. Fabre achou recentemente que o calor desenvolvido na absorpção pelo carvão de um gramma de anhydrido sulfuroso ou de protoxydo de azote, é mais consideravel que o calor resultante da liquefacção de um peso igual dos mesmos gazes, e com o anhydrido carbonico é mesmo superior ao calor que resultaria da sua solidificação. Mr. Mitscherlick explica estes phenomenos, admittindo que entre as moleculas do carvão e as do gaz ha uma acção especial que deheominou *affinidade capillar*.

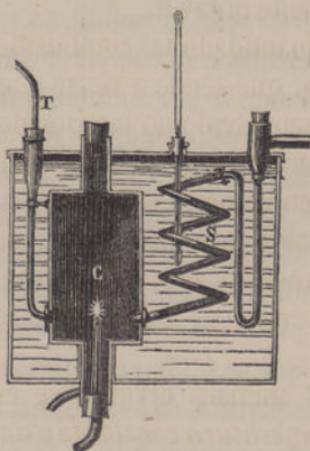
SECÇÃO 4.^a

Calor devido ás acções chimicas

527. *Calor desenvolvido nas combinações chimicas.*—Em geral, quando dois corpos se combinam, ha sempre desenvolvimento de calor, porque na reunião das moleculas de corpos differentes, collocados uns em presença dos outros, ellas perdem necessariamente uma parte da velocidade que as anima,

e a força viva perdida determina a producção de uma quantidade equivalente de calor. Pôde-se dizer que este calor mede o trabalho da afinidade.

Lavoisier foi o primeiro que procurou medir o calor desenvolvido nas combustões do carvão e do hydrogenio, empregando para esse fim o seu calorimetro. Rumford empregou um calorimetro especial, em que havia uma serpentina, onde circu-



(Fig. 313)

lavam os productos da combustão. Os processos de Lavoisier e Rumford eram porém muito imperfeitos. Despretz e Dulong aperfeiçoaram o aparelho de Rumford. O aparelho empregado por Dulong compunha-se de um reservatorio (fig. 313) C, onde se fazia a combustão, mergulhado n'um vaso cheio de agua. O oxygenio necessario para a combustão entrava pelo tubo T, e os productos d'esta circulavam n'uma serpentina S,

onde em parte se condensavam, dirigindo-se a parte restante para um gazometro, para ser depois medida e analysada. Nos casos em que o combustivel era metallico, não se podendo medir o peso do metal queimado, determinava-se o calor produzido pela fixação de um litro de oxigenio.

Finalmente mrs. Fabre e Silbermann executaram trabalhos muito rigorosos n'um aparelho analogo ao precedente, porém mais aperfeiçoado. Em seguida damos alguns dos resultados obtidos por estes dois experimentadores. Os diversos numeros representam o calor de combustão, isto é, o numero de calorías produzidas pela combustão de um gramma de cada substancia.

Hydrogenio.....	34462	Graphite natural.....	7797
Essencia de terebentina	11576	Diamante.....	7770
Azeite de oliveira.....	9862	Alcool absoluto.....	6962
Ether ordinario.....	9431	Oxydo de carbonio.....	2490
Carvão de madeira....	8080	Enxofre nativo.....	2262

É principalmente nas combustões que se tem procurado medir o calor desenvolvido. Alguns sabios tentaram tambem determinar a quantidade de calor produzido nas acções chemicas pela via humida. Nem em todas as acções chemicas o desenvolvimento do calor é tão apreciavel como nas combustões; no enferrujamento do ferro em presença do ar humido o calor é, por exemplo, insensivel. Na combinação do acido sulphurico com a agua é porém já bastante notavel.

O corpo que se produz em maior quantidade nas combustões ordinarias é o anhydrido carbonico, que tende a viciar o ar.

528. *Calor animal.* O calor desenvolvido no interior dos animaes, que lhes dá uma temperatura propria, e em geral diversa da do meio em que vivem, denomina-se *calor animal*. E a differença que existe entre o calor produzido pelos animaes e aquelle que perdem pela irradiação, pela evaporação e pelo contacto constitue a sua *temperatura*, a qual pôde ser apreciada pelo thermometro.

Relativamente á temperatura os animaes dividem-se em *animaes de sangue quente ou de temperatura constante* e *animaes de sangue frio ou de temperatura variavel*. Os primeiros têm em geral uma temperatura fixa, bastante superior á temperatura media do meio ambiente e não seguem as variações d'esta, taes são os mamiferos e as aves; os segundos têm uma temperatura pouco elevada acima da do meio em que vivem e que é sujeita ás variações da temperatura exterior, taes são os reptis, os peixes e os invertebrados.

A causa principal do calor proprio dos animaes é a respiração, porque o ar inspirado fornece o oxygenio necessario para transformar em anhydrido carbonico e em vapor aquoso o excesso de carbonio e de hydrogenio que existe na economia.

Lavoisier, comparando a respiração a uma combustão ordinaria, suppunha que nos animaes de sangue quente o carbonio e o hydrogenio se queimavam nos pulmões, desenvolvendo a quantidade de calor que aquelles dois elementos produziram, combinando-se com o oxygenio do ar.

Para comprovar esta theoria collocava dois pequenos animaes da mesma especie, de peso igual e sensivelmente identicos, um n'uma

campanula de que renovava o ar e outro no seu calorimetro. No fim de certo lapso de tempo achou que o primeiro queimava 3,33 grammas de carvão, o que equivalia á produção da quantidade de calor precisa para fundir 326,75 grammas de gélo; e que o segundo tinha effectivamente fundido 407,27 grammas de gélo. Havia, pois, um excesso de calor desenvolvido relativamente ao que a combustão do carbonio teria produzido. Lavoisier não tinha, porém, tido em attenção a baixa temperatura a que o animal estava sujeito e a quantidade de agua produzida, apesar de notar com rasão que este excesso de calor provinha provavelmente do resfriamento experimentado pelo animal e da formação da agua. Despretz e Dulong fizeram depois experiencias mais precisas. Collocaram um animal n'uma caixa mantida no interior de um calorimetro de agua, fazendo-o respirar uma corrente de ar puro fornecido por um gazometro e recolhendo n'outro os productos da expiração, de sorte que se podia medir a quantidade de oxygenio absorvida e a dos productos da combustão. Achou-se assim que o calor do animal correspondia aos $\frac{8}{10}$ do que produziria a combustão das quantidades de carbonio e hydrogenio correspondentes ás de anhydrido carbonico e agua, achados pela analyse nos productos da combustão. Mas estas experiencias, embora mais exactas que a de Lavoisier, não estão ao abrigo de causas de erro, porque tambem não se tomava em conta o resfriamento experimentado pelo animal, porque os gazes provenientes da expiração eram recolhidos sobre a agua, a qual dissolve uma notavel proporção de gaz carbonico, e porque emfim os calores de combustão do carbonio e do hydrogenio por meio dos quaes se calculava o calor produzido pela formação do anhydrido carbonico e da agua não eram exactos. Mas ainda mesmo, tendo em conta estas causas de erro e empregando no calculo os calores de combustão mais exactamente determinados por mrs. Favre e Silbermann, reconhece-se que effectivamente o calor desenvolvido pela respiração é apenas sensivelmente igual ao que o animal produz no mesmo tempo.

A theoria de Lavoisier não é, pois, completamente exacta, porque a quantidade de calor produzido pelos animaes é um pouco superior á que provém da formação do anhydrido carbonico e da agua. Estas pequenas differenças resultam de que as combustões que se operam no organismo não se reduzem á simples conversão de carbonio e de hydrogenio em anhydrido carbonico e agua; ha tambem calor proveniente das combustões incompletas como as que dão origem a varios productos que saem do organismo pelas excreções como são a urêa, o acido urico, etc; e alem d'isso sabe-se que os elementos do sangue produzem uma maior quantidade de calor do que produziriam

se estivessem livres. Deve tambem notar-se que em virtude de numerosas experiencias, está hoje plenamente demonstrado que as combustões não se dão simplesmente nos pulmões, mas sim na profundidade de todos os órgãos, onde o sangue é levado pela circulação, havendo apenas nos pulmões uma troca de anhydrido carbonico, vapor aquoso e azote que estão dissolvidos no sangue, por oxygenio e azote que n'elle se dissolvem, transformando-se o sangue de venoso em arterial.

529. *Força animal.*—Mayer compara o animal com uma machina thermica, dando-se por consequente em todos os movimentos que elle executa a transformação do seu calor interior em força e perdendo o animal uma parte d'esse calor correspondente ao trabalho exterior produzido. As experiencias confirmam plenamente esta opinião. Mr. Hirn collocou um homem n'uma caixa de madeira fechada, na qual estava uma roda de palhetas, movida por um motor externo. Esse individuo podia conservar-se immovel, effectuar um trabalho subindo pelas palhetas quando ellas giravam, descendo, ou inversamente descer por ellas quando subiam e aspirava por meio de um tubo o ar de um gazometro e expirava-o para outro, de modo que se conhecia a quantidade de oxygenio absorvido e a de anhydrido carbonico produzido. Substituia-se depois na caixa o homem por um bico de gaz que se fazia arder de modo que produzisse a mesma quantidade de calor no mesmo tempo. Achou-se que no estado de repouso o paciente consumia trinta grammas de oxygenio por hora, produzindo cento e cinquenta calorias, que quando executava o trabalho ascensional a respiração se activava, consumindo cento e cinquenta grammas de oxygenio por hora, produzindo apenas duzentas e cinquenta calorias, e sendo o resto do calor transformado no trabalho externo executado e no trabalho interno dos órgãos, e que quando descia pela roda de palhetas consumia menos oxygenio e a quantidade de calor produzido variava entre seis a sete calorias por cada gramma de oxygenio absorvido.

530. *Calor produzido pelos vegetaes.*—Os vegetaes tambem possuem calor proprio. A sua temperatura em geral não excede ou excede pouco a do ar ambiente; chega ao seu maximo quando o calor e a luz do sol têm a maior intensidade e durante a noite é igual á do ar ambiente.

O calor proprio dos vegetaes parece resultar, como o dos animaes, da combustão do carbonio e hydrogenio, a qual se

verifica na occasião em que a vida das plantas é mais activa, isto é, durante a germinação e a floração. As partes verdes das plantas em presença dos raios solares, no estado ordinario, absorvem o anhydrido carbonico do ar e exhalam o oxygenio, mas esta acção não determina calor. É assim que os vegetaes restituem ao ar a pureza continuamente alterada pelas combustões ordinarias e pela respiração dos animaes, operando aquelles um trabalho á custa do calor solar, calor que depois os animaes, que d'elles se alimentam mais ou menos directamente, regeneram e distribuem.

CAPITULO VI

Noções sobre as machinas de vapor

531. *Resumo historico ácerca da invenção das machinas de vapor.*—A machina de vapor creou ou antes aproveitou uma força quasi ignorada nos seculos passados. Considerada nas suas relações com o mundo physico e moral realiso a machina de vapor uma revolução enorme, e ao mesmo tempo que cimentou em bases poderosas a industria moderna, tem cõncorrido para emancipar o homem do trabalho braçal e para lhe conquistar o bem estar.

Tem-se procurado remontar á antiguidade para descobrir o germen da invenção da machina de vapor. A *colipyla* de Herão da



(Fig. 314)

Alexandria (fig. 314) parece ter sido o primeiro exemplo do emprego do vapor como força motora. O principio d'este apparatus era o mesmo que o do torniquete hydraulico. A existencia do vapor

da agua não era porém conhecida dos antigos, e Herão não podia por conseguinte dar ao seu apparelho a importancia theorica que se lhe tem querido attribuir.

Salomão de Caus descreveu em 1625 um pequeno apparelho em que o vapor d'agua obrando pela pressão, analogamente ao que se verifica com o ar na fonte de compressão, obrigava a água a subir por um tubo. Comtudo, apesar da auctoridade de Arago, é forçoso reconhecer que Salomão de Caus nada diz que possa fazer imaginar que elle tivesse a idéa de empregar o vapor para elevar columnas de agua. O italiano Branca descreveu tambem, em 1629, um apparelho muito analogo á eolipyla de Herão, e em que um jacto de vapor produzia o movimento de uma pequena roda de palhetas. E em 1663 o marquez de Worcester dava uma descripção obscura de um apparelho que parece analogo ao de Salomão de Caus.

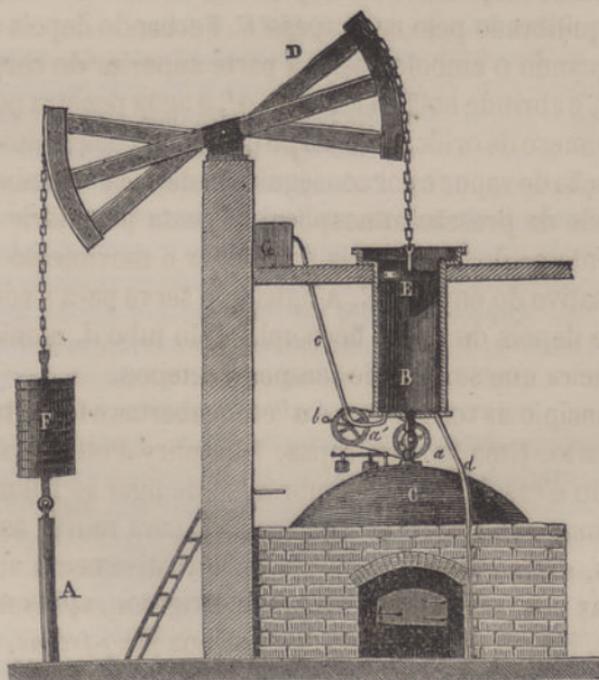
Depois da descoberta da ponderabilidade do ar e das memoraveis experiencias de Otto de Guericke pensava-se em tirar partido da pressão atmospherica. Otto de Guericke executára uma curiosa experiencia na qual se fazia mover um embolo n'um cylindro depois de ter feito o vacuo no interior d'este. Para substituir este vacuo queimava Hui-ghens uma porção de polvora por baixo do embolo, que devia descer pelo effeito da pressão atmospherica, quando os gazes, depois de resfriados, se tivessem contrahido. Este meio não produzia bons resultados e Diniz Papin teve a idéa de empregar o vapor de agua para elevar o embolo e de condensar em seguida esse vapor por um resfriamento, deixando que a pressão atmospherica fizesse descer o embolo. É pois a Papin que pertence a idéa da applicação do vapor para fazer mover um embolo n'um corpo de bomba. Savery construiu em 1698 uma machina em que se applicava o principio da condensação. E Newcomen e Cawley, realisando as idéas de Papin, construíram em 1705 a primeira machina de vapor importante, conhecida pelo nome de *machina atmospherica*.

Depois d'esta machina notaveis aperfeiçoamentos se têm successivamente realisado na machina de vapor, cujo emprego se generalisou consideravelmente. A machina de vapor tal como hoje se emprega nos grandes paquetes transatlanticos e nas locomotivas constitue por assim dizer uma obra collectiva. Alguns engenheiros distinctos como Watt, Fulton, Stephenson, deixarão, porém, sempre vinculados os seus nomes á historia das machinas de vapor.

Para completar esta curta noticia damos a opinião expressa por Sadi Carnot, em 1824, sobre a invenção e progressos das machinas de vapor. «A descoberta das machinas de fogo, como a maior parte das invenções humanas, deve a sua origem a ensaios quasi informes, ensaios que foram attribuidos a diferentes individuos e de que se não conhece o verdadeiro auctor. Em summa, a verdadeira

descoberta consiste menos n'esses primeiros ensaios do que nos aperfeiçoamentos successivos que levaram as machinas de fogo ao estado em que as vemos actualmente. Ha talvez tanta distancia entre os primeiros apparatus em que se desenvolveu a força expansiva do vapor e as machinas actuaes, como entre a primeira jangada que os homens construíram, e o navio de alto bordo». Esta opinião caracteriza, como diz mr. Jacqmin, uma situação sempre verdadeira.

532. *Descripção da machina de Newcomen.*— A machina atmospherica de Newcomen, empregada por muito tempo em Inglaterra, e ainda hoje em algumas localidades para exgotar a agua das minas, está representada na figura 315. Consta



(Fig. 315)

essencialmente de uma caldeira *C*, onde se gera o vapor e que communica superiormente com um corpo de bomba *B*, no qual se move um embolo. A caldeira tem uma valvula de segurança, fixa no extremo de uma alavanca, ao longo da qual se pôde mover um peso regulador. A haste do embolo está ligada por uma cadeia ao extremo de uma alavanca *D*, denominada *balanceiro*, da qual o outro extremo sustenta por



meio de outra cadeia um contrapeso F e a haste A do embolo de uma bomba aspirante. Para que esta haste e a do embolo E se movam verticalmente, as duas cadeias enrolam-se em parte sobre os arcos que terminam o balanceiro.

Duas torneiras ou valvulas a e a' , cuja parte saliente tem a fôrma circular e podendo mover-se por meio de uma alavanca como se vê em b , servem para communicar a parte inferior do corpo da bomba B , successivamente com a caldeira e com um reservatorio C , que contém agua fria, por intermedio de um tubo c . Abrindo a torneira a , o vapor entra no corpo de bomba, e vencendo a pressão atmospherica, eleva o embolo, cujo peso é equilibrado pelo contrapeso F . Fechando depois a torneira a quando o embolo chega á parte superior do corpo de bomba B , e abrindo então a torneira a' , a agua penetra por um grande numero de orificios no corpo de bomba, determinando a condensação do vapor e por conseguinte a descida do embolo E , em virtude da pressão atmospherica. Basta pois abrir alternativamente as duas torneiras para obter o movimento vertical alternativo do embolo E . A agua que serve para a condensação sáe depois do corpo de bomba pelo tubo d , munido de uma torneira que se abre de tempos a tempos.

Ao principio as torneiras a e a' eram abertas e fechadas por um operario. Uma vez um rapaz, Humphry Potter, estando incumbido d'esse trabalho, lembrou-se de ligar ao balanceiro os extremos das alavancas que serviam para mover as duas torneiras, de modo que estas eram alternativamente abertas e fechadas pelo movimento d'aquelle. Brighton, aproveitando esta idéa, inventou uma barra denominada *plug-frame*, destinada a tornar automatica á machina de Newcomen.

533. *Divisão geral das machinas de vapor.*—As machinas de vapor, em relação ao fim especial para que são destinadas, dividem-se em *machinas fixas*, de *navegação* ou *maritimas*, e de *caminhos de ferro* ou *locomotivas*. Ha ainda uma variedade de machinas fixas, que têm a propriedade de se poderem transportar facilmente de um para outro lugar: são as *locomoveis*.

Relativamente ao modo como actua o vapor, as machinas

podem ser de *acção* ou *efeito simples*, e de *efeito duplo*. Nas primeiras o vapor actua apenas sobre uma das faces do embolo, produzindo o movimento ascendente ou o descendente d'este no corpo de bomba, e nas segundas o vapor obra alternativamente sobre cada uma das faces do embolo, de modo que tanto o movimento ascendente d'este, como o descendente, suppondo o corpo de bomba vertical, são produzidos pela tensão do vapor. A machina de efeito simples diz-se *atmosphérica* quando o movimento ascendente do embolo é produzido pela acção do vapor e o descendente pela pressão atmosphérica: é o caso da machina de Newcomen, já descripta.

As machinas de efeito duplo podem ser de *baixa* e de *alta pressão*, conforme a tensão do vapor é inferior a duas atmospheras, ou igual a duas ou mais. Alguns auctores denominam machinas de *media pressão* aquellas em que o vapor obra a duas ou tres atmospheras.

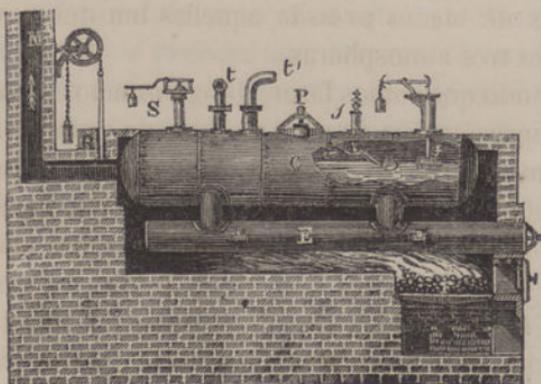
No estudo que vamos fazer, descreveremos separadamente os principaes órgãos de uma machina de vapor fixa, apresentando em seguida a descripção de um typo da machina de efeito duplo do systema Watt, e dando depois algumas rapidas noções ácerca de outros systemas e das machinas maritimas e locomotivas.

534. *Geração do vapor; caldeiras.*— A fôrma das caldeiras ou geradores de vapor é mui variavel. As caldeiras das machinas de Newcomen eram esphéricas ou pelo menos formadas por uma parte hemisphérica com o fundo plano. A fôrma esphérica, posto seja a que offerece maior resistencia á pressão do vapor, tem comtudo o inconveniente de apresentar pequena superficie em relação com a grande massa de agua que pôde conter. Para as caldeiras de alta pressão, o estudo das causas que tendem a deformal-as tem feito adoptar geralmente a fôrma cylindrica.

As caldeiras podem ser de cobre, ferro fundido ou ferro batido; ordinariamente emprega-se este ultimo. Ultimamente têm-se tambem construido caldeiras de aço, as quaes resistem mais que as de folha de ferro, podendo ter paredes de pequena espessura. Segundo os regulamentos francezes a es-

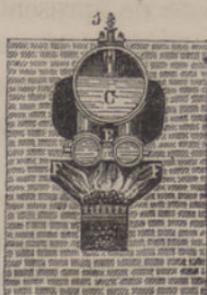
peSSura das paredes nas caldeiras de ferro batido determinam-se pelas seguintes fórmulas : $e = \frac{1/2 P D}{277} + 0^m,003$ para as machinas fixas e $e = \frac{1/2 P D}{414} + 0^m,002$ para as locomotivas; designando D o diametro interior da caldeira e P a pressão effectiva, isto é, a differença entre as pressões interior e exterior. O carimbo official que têm as caldeiras fabricadas em Inglaterra indica sempre a pressão effectiva a que as caldeiras podem resistir; o carimbo francez refere-se unicamente á pressão interior. Ordinariamente o diametro interior das caldeiras não excede muito um metro, preferindo-se dar maior comprimento á caldeira ou juntar diversas caldeiras quando se pretende grande quantidade de vapor.

As caldeiras podem dividir-se em caldeiras de fornalha



(Fig. 316)

exterior e de fornalha interior. O typo mais commum da caldeira de fornalha exterior é a de Woolf, representada longitudinal



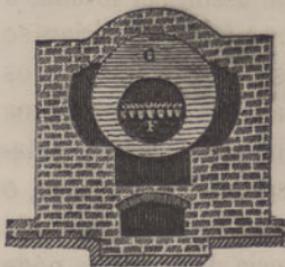
(Fig. 317)

nal e transversalmente nas figuras 316 e 317. A caldeira é constituida por um cylindro de folha de ferro C , terminado por duas calotes esphericas e communicando por conductos com tubos tambem de folha de ferro, de fôrma analoga á da caldeira e de menor diametro que esta E , dispostos por baixo do cylindro principal em numero de dois ou tres, e aos quaes se dá o nome de *ebullidores* ou *fervedouros*. O emprego dos ebullidores tem a vanta-

gem de produzir vapor mais quente e de economizar espaço e material.

gem de augmentar a superficie aquecida, preservando até certo ponto a caldeira da acção energica da chamma. Alem d'isto á possibilidade de os substituir em pouco tempo e quasi sem interrupção de trabalho e a facilidade de tirar os residuos fazem com que a caldeira de Woolf reuna todas as condições desejaveis de força, economia e simplicidade. A fornalha *F* está disposta por baixo dos ebullidores; porém a chamma contorna-os, percorrendo os espaços que circundam a caldeira e dirigindo-se depois para a chaminé *M*, cuja tiragem é regulada por um registro *R*, que fecha mais ou menos a communicacão da fornalha com ella. A figura 316 representa alguns apparatus accessorios da caldeira; *P* designa a porta do homem que se abre para proceder ás limpezas ou a algum reparo, e *t* e *t'* os tubos que servem para alimentar a caldeira e para dar saída ao vapor produzido.

As caldeiras de fornalha interior têm a vantagem de economisar o calor que nas do outro systema é consumido em aquecer as paredes de alvenaria sobre que estão estabelecidas, ao passo que apresentam o inconveniente de ter pequena superficie de aquecimento e de se arruinarem promptamente nas partes expostas á acção da chamma. A figura 318 representa o cóрте de uma caldeira de fornalha interior; *C* designa a caldeira, e *F* a fornalha. Mr. Fairbairn aconselha o emprego de duas fornaldas interiores. Nas locomotivas e nas machinas maritimas modernas, a chamma e o fumo percorrem uma grande quantidade de tubos cercados pela agua, offerecendo



(Fig. 318)

esta fôrma de caldeiras, devida a mr. Séguin, grande superficie de aquecimento n'um espaço pequeno. Nas locomotivas e, em geral, nas machinas em que a chaminé não pôde ser muito elevada, a tiragem é activada por um jacto de vapor.

535. Causas da explosão das caldeiras; accessorios d'estas.

—A explosão das caldeiras pôde provir da falta de resistencia de suas paredes. Como, porém, ellas devem ter sido sujeitas

a experiencias preliminares, não é esta geralmente a causa da explosão.

A causa mais importante da explosão das caldeiras provém de que certas partes d'ellas, levadas accidentalmente a temperaturas mui elevadas, são depois rapidamente postas em contacto com a agua. Por uma parte a agua posta em contacto com as paredes ao rubro, reduz-se rapidamente a vapor, augmentando assim a pressão interior e por outra parte o resfriamento quasi instantaneo das paredes determina uma modificação na constituição molecular d'estas, de que resulta uma diminuição na sua resistencia. Convem pois que o nivel da agua no interior da caldeira se mantenha invariavel, estando só em contacto com a chamma a parte banhada interiormente pela agua. A quantidade d'agua que a caldeira pôde rasoavelmente comportar, para que o vapor produzido tenha espaço para se manter, não deve exceder os $\frac{2}{3}$ da capacidade; assim será apenas a parte da caldeira correspondente a esta capacidade que poderá estar em contacto com a chamma.

Outra causa das explosões depende das inscrustações resultantes das materias solidas que a agua contém em dissolução. As paredes inferiores da caldeira podem assim ser levadas a temperaturas muito mais elevadas do que a que adquiririam se a agua estivesse em contacto com ellas, e tornam-se menos resistentes; ora, se por uma causa qualquer se produz uma fenda na crusta, a agua infiltra-se n'ella e reduz-se rapidamente a vapor, destacando fragmentos maiores da crusta, o que determina a formação rapida de grandes quantidades de vapor que com a diminuição da resistencia das paredes pôde originar uma explosão. Evita-se esta causa de explosão limpando a miudo a caldeira ou collocando no seu interior diversas substancias, taes como batatas ou proto-chlorureto de estanho.

Nas caldeiras com ebulidores pôde haver uma explosão quando os tubos de comunicação d'estes com a caldeira são muito estreitos, porque o vapor pôde então expulsar a agua do interior dos ebulidores e as paredes d'estes aquecerem ao rubro, ficando uma pequena porção de agua no seu interior sem

molhar as paredes, isto é, no estado espheroidal. Quando a temperatura das paredes descer, deve chegar um instante em que a agua molha as paredes e n'essa occasião produz-se rapidamente uma grande quantidade de vapor, que pôde originar uma explosão. Evita-se esta causa de explosão fazendo bastante largos os conductos que estabelecem a communicação da caldeira com os ebulidores.

A ausencia de ar em dissolução na agua da caldeira pôde ainda ser origem de explosão, principalmente depois de um periodo de repouso (459-2.º).

Alem das causas mencionadas as caldeiras podem ainda rebrantar: em virtude da producção de quantidades de vapor superiores ás que se dispendem na machina, ou pela producção rapida de vapor devida ao aquecimento das paredes da caldeira em contacto com a alvenaria, ou pelo deslocamento de massas de vapor formadas em certas partes da caldeira, ou ainda em consequencia da deterioração da caldeira ou de disposições viciosas empregadas na sua construcção.

A fim de evitar os accidentes que podem resultar da producção excessiva de vapor e da variação do nivel da agua no interior da caldeira, adaptam-se a esta diversos apparatus accessorios, alguns dos quaes estão representados na figura 316. Esses apparatus são de segurança ou apenas indicadores.

Entre os apparatus de segurança figura em primeiro lugar a valvula de segurança S, collocada na extremidade de um tubo vertical que communica inferiormente com a caldeira. Uma alavanca movel em torno de um dos seus extremos, apoia-se na parte superior da valvula e sustenta no outro extremo um peso regulador, calculado para a maxima pressão a que a caldeira deve resistir. Em vez das valvulas de segurança podem-se empregar placas fusiveis, formadas de ligas metallicas que se fundem nas temperaturas elevadas que o vapor adquire quando a sua tensão é consideravel. Este meio apresenta inconvenientes.

Para conhecer em cada instante a pressão do vapor no interior da caldeira empregam-se os diversos manometros, especialmente os metallicos. A fim de conhecer o nivel da agua

na caldeira podem empregar-se dois tubos de prova, munidos exteriormente de torneiras e situados mui proximos, mas de modo que um deve mergulhar constantemente na agua e outro no vapor. Póde tambem empregár-se um tubo exterior de vidro recurvado communicando com a caldeira pelos seus extremos, e no qual se patenteia constantemente o nivel da agua no interior. Ordinariamente deve o nivel da agua corresponder ao meio do tubo. O fluctuador ou boia *f* (fig. 316), que se eleva ou baixa com o nivel da agua na caldeira e cujo movimento se torna sensivel exteriormente por meio de uma alavanca, serve tambem para o mesmo fim. E para prevenir os accidentes que pela inadvertencia do machinista podem resultar do abaixamento do nivel da agua na caldeira, emprega-se ainda uma outra boia collocada n'um dos extremos de uma alavanca curva de primeira especie, cujo ramo maior fecha hermeticamente uma abertura que communica com o exterior e equilibrado no outro por meio de um contrapeso. Quando a boia desce abaixo do limite conveniente, o vapor penetra por aquella abertura, indo produzir um silvo agudo n'uma especie de apito *s*. Nas caldeiras das locomotivas o silvo que indica a proximidade de um comboio ou de uma machina é produzido por um aparelho analogo.

Resta indicar apenas o modo como são alimentadas com agua as caldeiras. Nas machinas de baixa pressão a caldeira é alimentada por uma corrente de agua, que vae substituindo aquella que se reduz a vapor. Nas de alta pressão emprega-se uma bomba premente para esse effeito, havendo em algumas machinas uma disposição especial para regular esta alimentação, de modo que não haja na caldeira agua em excesso. Uma boia especial, que baixa ou levanta com o nivel da agua na caldeira, regula o movimento das valvulas collocadas no tubo de alimentação. Mr. Giffart inventou ha poucos annos um machinismo para alimentar com agua as caldeiras, no qual uma corrente de vapor, saindo de um tubo estreito para uma capacidade larga que communica com o reservatorio da agua, produz a rarefacção do ar existente n'essa capacidade e determina a aspiração da agua, que é depois injectada na cal-

deira. O emprego do *injector* de Giffart dispensa a bomba de alimentação e tem sido muito generalisado ultimamente.

536 *Condensador; machina de effeito simples de J. Watt.* — O modo de condensar o vapor na machina de Newcomen produzia grande perda de calor, porque as paredes do corpo de bomba eram alternativamente resfriadas a uma temperatura mui baixa e depois aquecidas a uma temperatura elevada. Estas alternativas davam em resultado uma grande perda de tempo e augmento na despeza do combustivel. James Watt, machinista escocez, reconhecendo em 1763 este inconveniente, teve a idéa de operar a condensação fóra do corpo de bomba, empregando um vaso denominado *condensador* o qual communicava com aquelle por intermedio de um tubo. O principio em que se funda o emprego do condensador é o do equilibrio de tensão em espaços desigualmente aquecidos (444). A comunicação do condensador com o corpo de bomba estabelecia-se quando o embolo attingia o limite superior da sua excursão, interrompendo-se quando chegava ao limite inferior.

Watt construiu depois uma machina de effeito simples em que adoptou o seu condensador. N'esta machina, que ainda hoje se emprega em algumas localidades para o esgoto da agua das minas, o embolo, em vez de descer no corpo de bomba em virtude da pressão atmospherica, desce pela acção do vapor que obra de cima para baixo, sendo a acção de um peso collocado na parte do balanceiro opposta á haste do embolo que depois faz subir este quando a acção do vapor se torna igual sobre ambas as faces. O corpo de bomba é fêchado superiormente por um disco, no centro do qual ha uma abertura guarneçada de estopa embebida de substancias gordas por onde passa a haste do embolo. Quando o vapor entra pela parte superior do corpo de bomba, a parte inferior communica com o condensador e o embolo desce; e quando este chega á parte inferior do seu curso o vapor entrando igualmente pelas partes superior e inferior do corpo de bomba o embolo sobe pela acção do peso addicionado ao balanceiro. Esta machina tem como accessorios: uma bomba aspirante

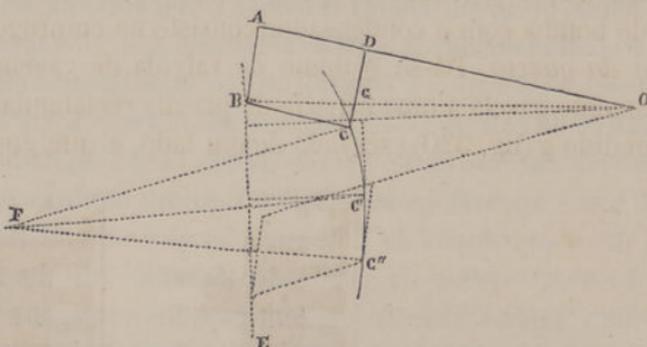
denominada *bomba de ar*, destinada a extrahir do condensador a agua n'elle injectada e uma parte do ar que d'ella se evolve; uma bomba premente chamada *bomba alimentar*, destinada a prover continuamente de agua a caldeira; e o *parallelogrammo* articulado destinado a transformar o movimento circular alternativo do extremo do balanceiro no movimento rectilíneo de vae-vem das hastes do embolo da machina e do da bomba de ar. Estesapparelhos accessorios figuram tambem na machina de effeito duplo de J. Watt. A machina de effeito simples descripta apesar da perda de trabalho, resultante da acção das bombas accessorias, tem grandes vantagens sobre a de Newcomen, poupando quasi dois terços do combustivel o emprego do condensador separado.

537. *Machinas sem condensador*. — Quando a tensão do vapor na caldeira é superior a uma atmospherá, não é preciso o condensador, porque se obtem a diminuição da tensão do vapor dentro do corpo de bomba, fazendo communicar alternativamente as duas extremidades d'este com a atmospherá. A machina sem condensador é vantajosa, porque occupa menos espaço do que a que o tem, e porque se não perde trabalho no movimento da bomba de ar e da que alimenta de agua fria o condensador. Quando porém se dispõe de grande quantidade de agua e se não exige que a machina occupe pouco espaço, convém empregar o condensador nas machinas de alta pressão, porque o acrescimo de trabalho que resulta do modo como a condensação se opera, é superior ao trabalho resistente das bombas auxiliares.

Para que se possa deixar de empregar o condensador convém que a pressão interior seja pelo menos de duas atmospheras, porque o vapor encontra quando sáe uma resistencia igual a uma atmospherá. A maxima pressão é geralmente de seis atmospheras, e por excepção eleva-se em alguns paizes a dez.

538. *Parallelogrammo articulado de Watt*. — Para transformar o movimento circular alternativo do extremo do balanceiro em movimento rectilíneo tambem alternativo da haste do embolo empregou Watt seu *parallelogrammo* arti-

culado. Seja $O A$ (fig. 319) o braço de um balanceiro que tem movimento de rotação em torno do ponto O , e $A B C D$

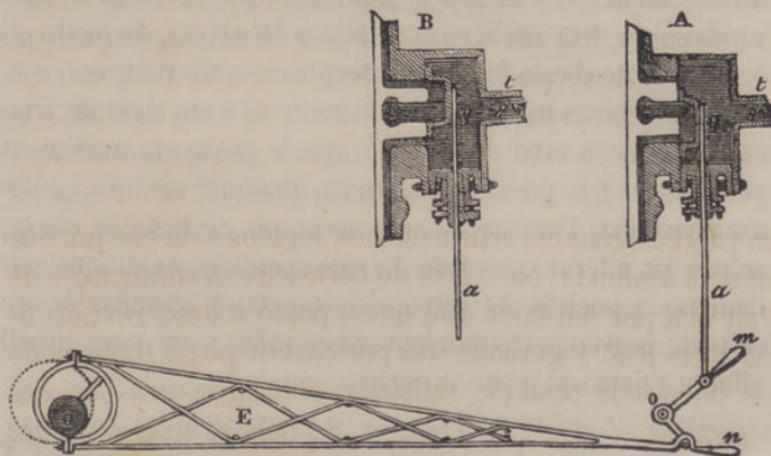


(Fig. 319)

um parallelogrammo articulado nos angulos e de que um dos lados se confunde com o eixo do balanceiro. A construcção de Watt tem por fim fazer com que o ponto B descreva uma linha recta $B E$. Figurando tres posições do ponto B , de modo que fique essa condição satisfeita, obtêm-se tres posições respectivas c, c', c'' do ponto c . Se pois se fixar o vertice c do parallelogrammo por meio de uma alavanca $F C$ ao centro F do circulo que passa pelos tres pontos c, c', c'' , fica resolvido o problema. Deve notar-se, porém, que o ponto B não descreverá rigorosamente uma recta, como é facil de verificar executando a construcção para pontos intermedios; porém o desvio a um e outro lado d'essa recta póde ser levado a 3 ou 4 millimetros, por algumas condições de construcção. Demonstra-se facilmente que todos os pontos da recta $B O$, como por exemplo o ponto G , descrevem sensivelmente rectas, assim como o ponto B , e podem por isso servir para se lhes adaptar as hastes de embolos das diversas bombas accessorias.

539. *Distribuição do vapor nas machinas de effeito duplo; valvula de gaveta, excentricos.*—Nas machinas de effeito duplo o vapor tem de obrar alternativamente sobre as duas faces do embolo, e entrar por conseguinte, ora pela parte superior, ora pela inferior do corpo de bomba, ao passo que a parte que não recebe vapor communica com o condensador

ou a atmospherá. O systema mais geralmente seguido para operar aquella distribuição ou divisão do vapor e estabelecer a communição alternada da parte superior ou inferior do corpo de bomba com o condensador consiste no emprego da *valvula da gaveta*. Dá-se o nome de valvula de gaveta ou simplesmente gaveta a uma especie de prisma rectangular de ferro fundido *g* (fig. 320) escavado de um lado, e que guiado



(Fig. 320)

por uma haste *a* movida pela propria machina, escorrega no interior de uma caixa, na qual o vapor entra pelo tubo *t*, e que se denomina *caixa de distribuição ou de vapor*. A face escavada da gaveta applica-se exactamente a uma das paredes de caixa, na qual estão praticadas tres aberturas, uma das quaes communica com o condensador ou a atmospherá, e as outras duas respectivamente com as partes superior e inferior do corpo de bomba. Na figura *A* o vapor entra directamente no corpo de bomba pela parte superior, communicando a inferior com o condensador e o embolo desce no corpo de bomba; e na figura *B* verifica-se exactamente o contrario. É geralmente o proprio eixo de rotação da machina que, por intermedio de um machinismo especial denominado *excentrico*, determina o movimento da valvula de gaveta.

Nas machinas de effeito duplo o movimento oscillatorio do balanceiro é transformado em movimento de rotação, impresso

a um eixo horizontal provido de uma roda denominada volante. O excentrico é uma roda cujo plano é perpendicular ao eixo O da machina, mas que se liga a esse eixo de modo que não gira em torno do centro de figura. Esta roda está ligada invariavelmente a uma alavanca E , (fig. 320) cujo extremo n adquire movimento rectilíneo alternativo que o aproxima e o afasta alternadamente do eixo O da machina, em cada volta do excentrico. O extremo n está ligado por meio de uma alavanca curva, fixa em o , com a haste a da gaveta, de modo que o movimento d'esta é também rectilíneo e alternativo.

Nas machinas marítimas e locomotivas e em algumas fixas, convem que o eixo de rotação, que é posto em movimento pelo balanceiro, possa mover-se em qualquer sentido, conforme convenha. Para isso é necessario que no instante em que se precisa alterar o sentido do movimento se modifique rapidamente a posição da valvula de gaveta. A alavanca m , que se pôde mover perfeitamente com a mão, serve para aquelle effeito. Chama-se a isto *inverter o vapor*.

Para que o vapor possa entrar alternadamente pelas partes superior e inferior do corpo de bomba é necessario que a gaveta se possa conservar por algum tempo nas posições figuradas em A e B , (fig. 320) enquanto o sentido do movimento do embolo não varia, e que passe rapidamente de uma a outra posição quando o embolo chega ao fim da sua excursão ascendente ou descendente. Ora o excentrico de



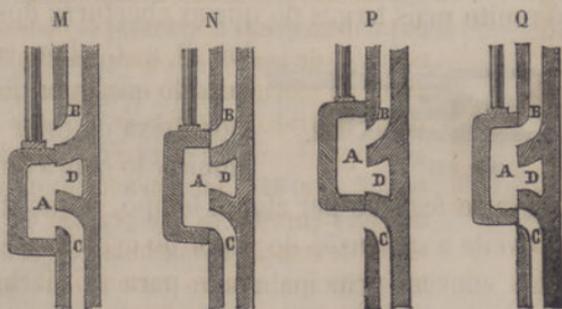
(Fig. 321)

Watt, recebendo movimento alternativo continuo, não satisfaz plenamente a essa condição, acontecendo também que as aberturas por onde o vapor entra no corpo de bomba são comprimidas durante uma parte do movimento do embolo, o que occasiona perda de trabalho. Obvia-se a este inconveniente, empregando em vez do excentrico ordinario, uma peça C , (fig. 321) que tem a fôrma de um triângulo de lados curvilíneos fixo por um dos vertices ao eixo o de rotação da machina e encaixilhada no interior de um quadro rectangular ligado á haste $A A$, que a seu turno faz mover a gaveta. Com o emprego d'este excentrico a haste $A A$ passa rapidamente de um extremo da sua carreira ao outro e conserva-se por algum tempo n'essas posições extremas, quando a base do triângulo está junto ao lado maior do rectangulo. Podem também,

empregando-se o excentrico ordinario, diminuir-se os inconvenientes notados, dando pouca largura ás aberturas que communicam a caixa de vapor com o corpo de bomba e condensador e tornando a carreira da gaveta maior do que é rigorosamente necessario, porque então os bordos da gaveta gastam um pequeno lapso de tempo a passar pelas aberturas designadas. Compensa-se a pequena largura das aberturas alongando-as no sentido perpendicular ao do movimento da gaveta.

540. *Expansão do vapor; modos de a empregar nas machinas de effeito duplo.*—Watt, tendo observado, que em alguns casos a velocidade do embolo se accelerava successivamente durante a sua carreira o que dava origem a choques quando se modificava o sentido do seu movimento lembrou-se para obviar a este inconveniente, de deixar entrar o vapor no corpo de bomba apenas durante uma parte do curso ascendente ou descendente do embolo, de modo que o vapor se expanda depois e acabe a sua acção com força decrescente. A expansão diminue o trabalho total, mas, ao passo que torna mais regular o movimento do embolo, permite realisar uma economia de vapor e portanto de combustivel. A theoria e a experiencia comprovam plenamente as vantagens obtidas com o emprego da expansão.

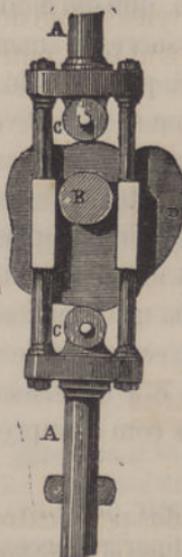
Para se obter a 'expansão durante uma parte do curso do embolo, empregando a valvula de gaveta ordinaria é necessario que esta tome successivamente diversas posições e que n'ellas se conserve durante um pequeno lapso de tempo, como está representado em *M, N, P e Q* (fig. 322). Em *M*, o



(Fig. 322)

vapor que vem da caldeira passa para o conducto *B* e obra a plena pressão sobre a face superior do embolo, ao passo que a parte inferior do corpo de bomba communica com o

condensador *D* pelo conducto *C*. Subindo a gaveta *A* esta toma a posição *N*, o vapor já não entra pelo conducto *B*, mas a parte inferior do corpo de bomba communica ainda com o condensador; o vapor que existe superiormente ao embolo obra sobre elle por expansão. Continuando a gaveta a subir tomará a posição *P*, e finalmente quando começa a descer toma a posição *Q*, sendo estas duas posições as oppostas de *M* e *N*.



(Fig. 323)

Para fazer tomar á gaveta as quatro posições referidas, emprega-se um excêntrico de fôrma particular (fig. 323). Consta este excêntrico da peça *D*, ligada invariavelmente ao eixo de rotação *B* da machina. Esta peça é contornada por quatro arcos de circulo, concentricos com o eixo de rotação e ligados entre si por partes de diversa curvatura. Duas pequenas rodas *c, c*, ligadas á haste *A A*, que se move no sentido longitudinal, estão sempre em contacto com os bordos oppostos do excêntrico *D*, de modo que, pelo movimento de rotação d'este, a haste toma successivamente quatro posições, que correspondem aos quatro movimentos das rodas *c, c*, sobre os arcos de circulo e passa rapidamente de uma d'essas posições á immediata.

Mr. Clapeyron, empregando a valvula de gaveta ordinaria, movida pelo excêntrico circular, conseguiu tambem obter a expansão. Para isso os bordos da correição ou gaveta *A* são munidos das peças *M, M*, (fig. 324) muito mais largas do que as aberturas dos conductos *B* e *C*. Por este meio quando qualquer dos conductos deixa de estar em communicação com a caixa de va-



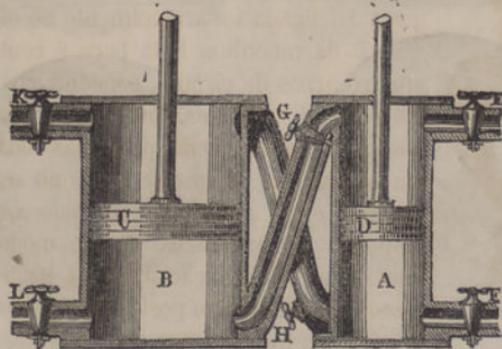
(Fig. 324)

por, conserva-se fechado por algum tempo, o que dá logar a que se aproveite a expansão do vapor no cylindro. Este meio mui simples convem principalmente para as machinas que têm a executar movimentos muito rapidos, taes como as locomotivas.

Em muitos casos convem que se possa variar a expansão, segundo a resistencia que a machina deve vencer. A expansão

variavel pôde ser obtida, empregando o trabalho e vigilancia do machinista ou automaticamente pela propria machina. N'este ultimo caso é o regulador de força centrifuga, que adiante descreveremos, que gradua a expansão segundo as necessidades da machina.

541. *Machina de dois cylindros de Woolf.*—A fim de aproveitar a acção expansiva do vapor, Woolf inventou uma machina com dois cylindros de capacidades diversas n'um dos quaes *A* (fig. 325) o vapor obra a plena pressão e no outro

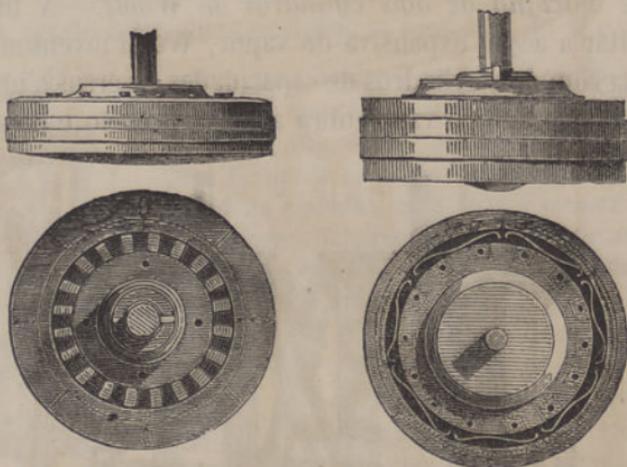


(Fig. 325)

B por expansão. Os embolos *C* e *D* estão ligados pelos extremos superiores das suas hastes, de modo que se movem juntos, estando sempre á mesma altura nos cylindros respectivos. Os cylindros communicam entre si por intermedio dos tubos *G* e *H*, de modo que o vapor que se dirige da caldeira para a parte superior ou inferior do cylindro *A* pelos conductos *E* ou *F*, pôde passar para a parte inferior ou superior do outro *B*, e vae depois para o condensador pelos conductos *K* e *L*. O vapor depois de ter obrado no primeiro cylindro vae expandir-se no segundo, sendo o trabalho total a somma d'estes dois trabalhos. As machinas de Woolf permitem realizar a um grande economia de combustivel.

542. *Embolos metallicos.*—Em vez dos embolos ordinarios como os das bombas, revestidos no seu contorno por estopa, e que se estragam pelo uso continuado, empregam-se hoje embolos metallicos, cujos contornos se adaptam perfeitamente á superficie interna dos corpos de bomba, superficie

que se consegue tornar perfeitamente uniforme. É necessario, todavia, deixar ao contorno do embolo uma certa flexibilidade para que o contacto entre elle e o cylindro não produza grande adherencia e dificulte o movimento. Para isso os embolos (fig. 326 e 327) são compostos de duas ordens de sectores



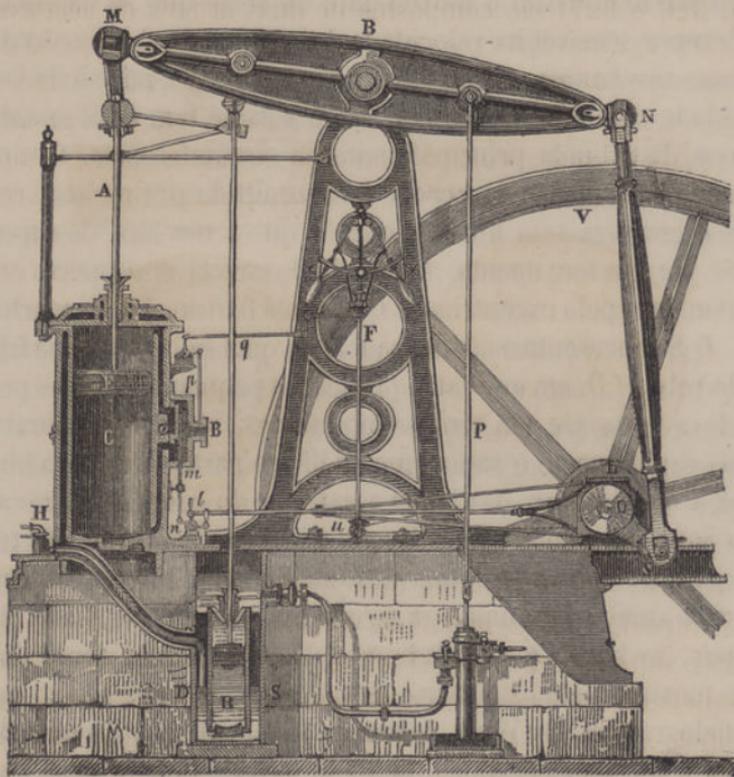
(Fig. 326)

(Fig. 327)

metallicos, que constituem dois aneis sobrepostos e mantidos entre dois discos metallicos de menor diametro que o embolo e sufficientemente apertados, para que permittam o jogo d'aquelles sectores, os quaes são constantemente premidos por meio de molas contra a superficie interna do corpo de bomba.

543. *Descripção da machina de effeito duplo do systema Watt.*—Depois dos detalhes precedentes é facil comprehender o conjuncto da machina de Watt, de effeito duplo. A figura 328 representa um typo de uma machina d'esse systema, construido por Farcot. O corpo de bomba *C* recebe o vapor pelo tubo *A*. A haste do embolo articula-se por meio do parallelogrammo de Watt com a extremidade *M* de uma alavanca muito forte *MN*, ordinariamente de ferro fundido, movel em torno da sua parte media e denominada *balanceiro*. O outro extremo *N* do balanceiro está articulado com uma *biella* ou *tirante* *NS*, que a seu turno se articula com a manivella *SO*, fixada ao eixo *O* da arvore mechanica que se pretende mover; de modo que o movimento oscillante da biella se trans-

forma em movimento de rotação. A este eixo está ligada uma grande roda, muito pesada *V* denominada *volante*, e destinada a regularisar o movimento e a fazer que elle progrida, pela sua velocidade adquirida, nos dois *pontos mortos* ou



(Fig. 328)

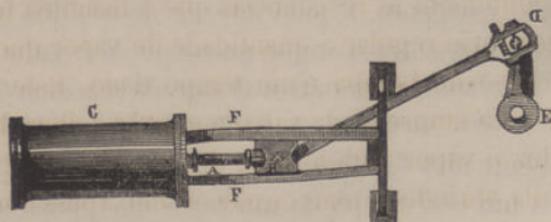
instantes criticos, que correspondem ás posições em que a biella se acha no prolongamento da manivella. De feito quando o embolo chegã ao ponto mais baixo e ao mais alto do corpo de bomba, o extremo *N* do balanceiro occupa o ponto superior ou inferior do arco que pôde descrever; e a biella bem como a manivella acham-se então na direcção da vertical que passa pelo eixo da *arvore*. N'estas duas posições, denominadas *pontos mortos*, a acção do vapor apenas tende a levantar ou a comprimir o eixo da *arvore* e não a dar-lhe movimento de rotação; e se este movimento progride é em virtude da velocidade que o eixo e volante têm recebido nas posições

anteriores. A velocidade da arvore tende por conseguinte a ser minima quando a manivella passa pela posição vertical e maxima quando passa pela horisontal. O volante armazenando força viva na primeira posição, despende-a depois na segunda, regularizando assim o movimento, de sorte que se não nota differença sensivel na velocidade do movimento de rotação da *arvore mechanica*. Como a força viva depende, não só da velocidade como da massa, por isso o volante tem uma grande massa distribuida principalmente na circumferencia. O movimento de rotação da *arvore* é transmittido por meio de rodas e correias sem fim aos corpos que a machina de vapor deve pôr em movimento. A valvula de gaveta *m p* é posta em movimento pelo excentrico *L C* que está fixo ao eixo da machina. *D S* representa o condensador, no qual se injecta agua fria pelo tubo *HD*, em que estão praticados pequenos orificios por onde a agua sáe em tenuissimos filetes, a fim de absorver mais rapidamente o vapor que se dirige para o condensador. *B* é a *bomba d'ar*, destinada a extrahir do condensador o ar e a agua um pouco aquecida que é levada depois por um tubo para a *bomba alimentar*, destinada a substituir na caldeira com a qual communica, a agua que passou ao estado de vapor. As hastes *q* e *P*, da bomba d'ar e da bomba alimentar, são movidas pelo balanceiro, estando a primeira ligada ao parallelogrammo de Watt. A bomba destinada a alimentar de agua fria o condensador é tambem movida pela propria machina, podendo a sua haste estar tambem ligada ao balanceiro.

544. *Moderador; pendulo conico*.—Para evitar que a arvore mechanica adquira grande velocidade quando se supprimem ou diminuem as resistencias que a machina tem a vencer, é necessario regular a quantidade de vapor que deve entrar no corpo de bomba n'um tempo dado. Este resultado obtem-se pelo emprego da valvula girante collocada no tubo que conduz o vapor para a caixa de vapor (fig. 320 e 328). Esta valvula, abrindo-se mais ou menos, deixa passar uma quantidade maior ou menor de vapor n'um tempo dado e por isso torna as excursões do embolo mais ou menos rapidas. Para graduar o movimento d'esta valvula empregou Watt o *pendulo*

conico (fig. 328) ou *moderador de força centrifugg*. É constituído por duas espheras ou antes duas lentes pesadas suspensas por duas barras articuladas a um eixo vertical *F*. Outras duas barras estão articuladas d'um lado com as primeiras pelos extremos e pelo outro estão fixas a um anel que pôde escorregar ao longo do eixo. Este é posto em rotação pela propria machina, estando ligado com o eixo *O* da arvore mechanica por meio d'um cordão sem fim e da engrenagem *u*. As duas espheras ou lentes, subindo mais ou menos pela acção da força centrifuga, levantam mais ou menos a extremidade de uma alavanca *q* que se liga ao anel, e essa alavanca a seu turno communica o movimento que recebe á valvula girante por meio de outra alavanca *p*. Assim a propria machina regula a entrada do vapor para que seja, quanto possivel, constante a velocidade.

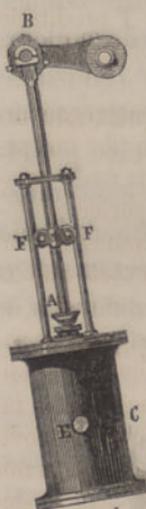
345. *Diversos sistemas de machinas fixas*.—A machina de Watt com condensador, alem de occupar um grande espaço, tem um peso consideravel, e exige grandes despezas de collocação; e por isso se têm procurado disposições mais simples para a substituir em muitos casos. O grande numero de modelos construidos e empregados de machinas fixas pôde reduzir-se a tres typos principaes que diversificam principalmente no modo de transmittir o movimento do embolo ao eixo principal. Alem do typo de Watt, já descripto, em que essa transformação se effectua por intermedio de um balanceiro, da biella e da manivella, ha machinas em que se reúne directamente o extremo da haste á biella que se articula com a manivella, e outras em que o extremo da haste se articula immediatamente com a manivella.



(Fig. 329)

As machinas em que o extremo da haste do embolo se liga com a biella ou tirante da manivella podem ser de cylindro

vertical, como a de Maudslay e de cylindro horisontal (fig. 329). Estas machinas são quasi sempre de alta pressão e sem condensador. Em geral as machinas sem balanceiro não têm condensador, porque exigem disposições accessorias bastante complicadas para o movimento da bomba de ar. Quer a machina seja de cylindro vertical, quer seja de cylindro horisontal (fig. 329), a haste do embolo *A B* precisa ser guiada no seu movimento, para que não seja desviada pela resistencia obliqua que experimenta da parte do tirante *B D*, resistencia que muda de direcção e sentido á medida que a manivella gira em torno do eixo *E* da arvore. Por isso o extremo *B* da haste é munido lateralmente de dois rodetes obrigados a mover-se ao longo de duas hastes fixas *F, F*. Nas machinas de cylindro vertical a acção da gravidade accelera ou retarda o movimento do embolo, segundo o sentido d'esse movimento, as de cylindro horisontal estão livres d'esse inconveniente.



(Fig. 330)

Nas machinas em que o extremo da haste se liga directamente á manivella, não só a haste precisa ser obrigada a mover-se ao longo das duas hastes *F, F*, ligadas invariavelmente ao corpo de bomba *C*, (fig. 330), mas alem d'isso deve este oscillar em torno de dois fortes munhões *E*, para que a haste *A B* do embolo possa ter sempre a direcção do eixo do cylindro em todas as posições que ella toma em virtude da sua ligação directa com a manivella. Por esta razão estas machinas denominam-se de cylindro oscilante. É pelo interior de um dos munhões que entra o vapor no corpo de bomba, saindo depois pelo outro. O jogo da machina de *cylindro oscilante* é perfeitamente analogo ao da machica pneumática de Bianchi.

Ha ainda um outro typo de machinas de vapor, em que o movimento circular se obtem directamente pela acção do vapor. É porém de quasi nenhuma applicação, apesar da sua simplicidade, diminuto preço e pequeno peso.

§46. *Theoria da machina de vapor; idéa do indicador de Watt.*— Quando uma machina de vapor chega ao estado de actividade normal, uma certa porção de agua que existe no condensador a uma baixa temperatura t_0 , é levada por intermedio da bomba alimentar para a caldeira, onde adquire a temperatura t_1 , e, reduzindo-se a vapor saturado, passa depois para o corpo de bomba, no qual se expande e resfria, voltando de novo para o condensador, onde retoma sensivelmente a temperatura inicial. A agua readquire pois o seu estado primitivo, não produzindo nem dispendendo trabalho interior. O trabalho das forças elementares que se exercem entre os órgãos da machina, é nullo porque estes conservam as posições e velocidades primitivas. Logo é necessario que o trabalho produzido pela machina seja creado á custa do calor despendido. De feito, o trabalho total, executado pelo embolo, representa o calor despendido pelo vapor d'agua, como o demonstram as experiencias de mr. Hirn. Se q designa a quantidade de calor do vapor gerado na caldeira, sob uma pressão e temperatura determinadas e n'um tempo dado, esse vapor passa para o corpo de bomba onde se dilata e resfria, reduzindo-se mesmo uma porção ao estado liquido. A quantidade de calor c , perdido no corpo de bomba, pôde avaliar-se pelos processos calorimetricos, medindo a quantidade q' de calor recebido pela agua do condensador. Mr. Hirn mostrou que a relação entre o trabalho total T produzido pelo embolo e a quantidade $c = q - q'$, era pouco inferior ao numero que exprime o equivalente mechanico do calor.

Para medir o trabalho total disponivel do embolo empregou mr. Hirn o indicador de Watt. Este aparelho é constituído por um pequeno corpo de bomba, munido de um embolo, que uma mola especial sustem em equilibrio na parte media. As partes superior e inferior do pequeno corpo de bomba communicam respectivamente com as partes analogas do corpo de bomba da machina, de sorte que ha sempre entre as duas faces dos dois embolos a mesma differença de pressão, sendo o movimento do embolo do indicador uma imagem reduzida do movimento do embolo da machina. Ora o embolo do indicador é munido de um lapis que segue as suas oscillações e as inscreve sobre um papel enrolado sobre um cylindro, que tem movimento uniforme. Decompondo o tempo de uma oscillação em pequenos intervallos e multiplicando a pressão media que o vapor exerce durante esses intervallos pelo caminho do embolo durante o mesmo tempo, e sommando depois os productos, acha-se o trabalho total T , que é empregado em vencer as resistencias passivas e em produzir o trabalho effectivo da machina.

Nem todo o calor gerado na caldeira é utilizado pela machina, porque esse calor deve em primeiro logar elevar a temperatura da agua de t_0 a 100° e depois reduzil-a a vapor, no que se gasta uma quantidade de

calor igual a 650 calorias proximamente. No corpo de bomba o vapor expande-se resfriando-se e liquifazendo-se em parte, e no condensador perde-se o calor restante. A fracção de calor utilizado pela machina, ou $\frac{q-q'}{q}$, que se denomina *coeficiente economico*, varia entre $\frac{1}{6}$ e $\frac{1}{10}$.

547. *Trabalho effectivo das machinas de vapor; detalhes economicos sobre o emprego do vapor como motor.*—O trabalho produzido por uma machina de vapor avalia-se ordinariamente em cavallos vapores. Cada *cavallo vapor* corresponde a 75 kilogrammetros. Deve notar-se que o trabalho de um cavallo vapor não corresponde ao de um cavallo ordinario; é necessario dispor de 5,5 cavallos ordinarios, para produzir em vinte e quatro horas o trabalho de um cavallo vapor.

O trabalho effectivo que se póde medir por meio de um aparelho dynamometrico junto ao eixo da arvore mechanica não corresponde ao trabalho produzido pelo embolo, o que resulta das perdas occasionadas na transmissão do movimento pelas resistencias passivas e pelo jogo das bombas accessorias. O valor do rendimento da machina ou o seu effecto util obtem-se dividindo pelo trabalho effectivo o trabalho produzido pelo embolo, ou mais rigorosamente, o trabalho correspondente ao calor gerado na caldeira. As machinas de alta pressão com o vapor obrando a 5 atmosferas, com expansão e sem condensação são as que dão maior effecto util.

Os combustiveis geralmente empregados são o coke e a hulha. Ora a combustão de 1^k de hulha desenvolve 7:500 calorias e a de igual peso de coke 6:000; e o calor necessario para elevar 1^k de agua ao estado de vapor saturado, sob a pressão media de 4 a 6 atmosferas é igual a 650 calorias. Se todo o calor fosse utilizado, 1^k de hulha ou de coke produziria respectivamente 11^k,5 ou 9^k,2 de vapor n'aquellas condições, porém como a combustão não é geralmente completa, e os productos d'ella contêm ainda grande quantidade de calor e alem d'isso o calor se perde tambem pela irradiação exterior, conductibilidade das paredes da fornalha e aquecimento do azote

do ar, por isso os resultados praticos não concordam com as previsões theoricas. A experiencia demonstra que, em boas fornalhas, 1^k de hulha queimando-se produz apenas a vaporação de 7 a 8^k de agua. Nas boas machinas com expansão e condensação 1^k de hulha póde produzir 30:000 kilogrammetros, o que corresponde ao consumo de 1^k,2 de hulha por cada cavallo vapor em cada hora.

Para conseguir estes resultados convem empregar todos os meios para evitar a condensação do vapor desde o momento em que se forma até áquelle em que deixa de obrar. Para isso convem revestir o tubo que conduz o vapor da caldeira para o corpo de bomba, com substancias pouco conductoras como o carvão, a palha e a lã. O corpo de bomba deve tambem ser igualmente revestido, a fim de preservar da irradiação exterior. Consegue-se isso tambem empregando um segundo cylindro exterior ao corpo de bomba e no qual circula uma corrente de vapor; este segundo cylindro denomina-se *camisa*.

548. *Substituição do vapor da agua por outros vapores ou ar quente.*— Entre as tentativas feitas para aperfeiçoar a machina de vapor e que têm principalmente por objecto diminuir a perda de calor que se verifica nas machinas ordinarias, fizeram-se as da substituição do vapor da agua por outros ou por ar quente.

O vapor em vez de sair para a atmosphaera ou ir para o condensador ordinario depois de ter obrado no corpo de bomba, póde ser aproveitado empregando um condensador completamente fechado e de fôrma especial, para fazer ferver um liquido mais volátil que a agua, como o ether por exemplo, e o vapor d'este liquido obrando n'um corpo de bomba annexo póde juntar o seu effeito ao do vapor de agua no cylindro principal. As machinas construidas segundo estes principios chamam-se *machinas de vapores combinados*. Em vez do ether, que é extremamente inflammavel, póde empregar-se o chloroformio ou o sulphureto de carbonio.

O vapor depois de ter obrado no corpo de bomba póde ainda ser aquecido de novo, de maneira que, augmentando em força expansiva póde novamente servir. As machinas construidas segundo este principio, por Séguin, chamam-se *machinas de vapor reaquecido*.

Tem-se tambem pretendido substituir o vapor de agua por ar comprimido ou aquecido. A disposição mais notavel é a de ar aquecido de Ericson, em que a força elastica do vapor de agua é substituida

pela que o calor communica ao ar, economisando a quantidade de calor despendido na vaporação da agua. Na machina de Ericson o ar é obrigado a atravessar uma serie de redes metallicas fortemente aquecidas, aquece-se depois ainda sobre um forno e vae obrar sobre o embolo, passando depois novamente pelas mesmas redes a que cede uma parte do calor que ainda contém.

549. *Idea sobre as machinas de vapor maritimas.*— A primeira idéa de empregar o vapor a fim de fazer mover um barco, deve-se a Papin. Em 1781 o marquez de Jouffroy fez navegar sobre o rio Saone em França, um barco movido pela acção do vapor. Depois de diversos ensaios o inglez Fulton e depois de rejeitados os seus serviços na Europa, construiu em New-York em 1807 o primeiro barco movido por vapor destinado ao transporte de mercadorias e passageiros. E em 1812 foi lançado ao rio Clyde, na Escocia, um barco do mesmo genero para fazer serviço entre Glasgow e Greenock. Depois a navegação a vapor fez grandes progressos, tomando um extraordinario desenvolvimento.

Na navegação empregam-se quasi sempre machinas de baixa pressão e com condensação, pela facilidade que ha em ter agua para alimentar o condensador. Empregam-se ordinariamente duas machinas semelhantes de effeito duplo, obrando sobre a mesma arvore por meio de manivellas perpendiculares entre si, de modo que uma está na melhor posição quando a outra se acha n'um ponto morto. Nos pequenos navios pôde empregar-se uma unica machina. O balanceiro é em geral collocado inferiormente ao corpo de bomba e a machina não tem volante.

O movimento da machina pôde ser transmittido ao navio por meio de rodas collocadas lateral e externamente ao mesmo, constituidas por pás ou palhetas, que apoiando-se successivamente na agua o fazem caminhar. O emprego de rodas tem inconvenientes porque quando o navio se inclina, fica uma d'ellas sem apoio, o que perturba a marcha da machina; alem d'isso quando o mar está agitado as rodas ficam ora completamente mergulhadas, ora fóra da agua. Nos navios de guerra o emprego das rodas apresenta ainda maiores inconvenientes, não só porque estão collocadas na parte mais vulneravel do navio, mas porque occupam uma extensão que pôde ser melhor aproveitada. Em vez de rodas emprega-se hoje quasi exclu-

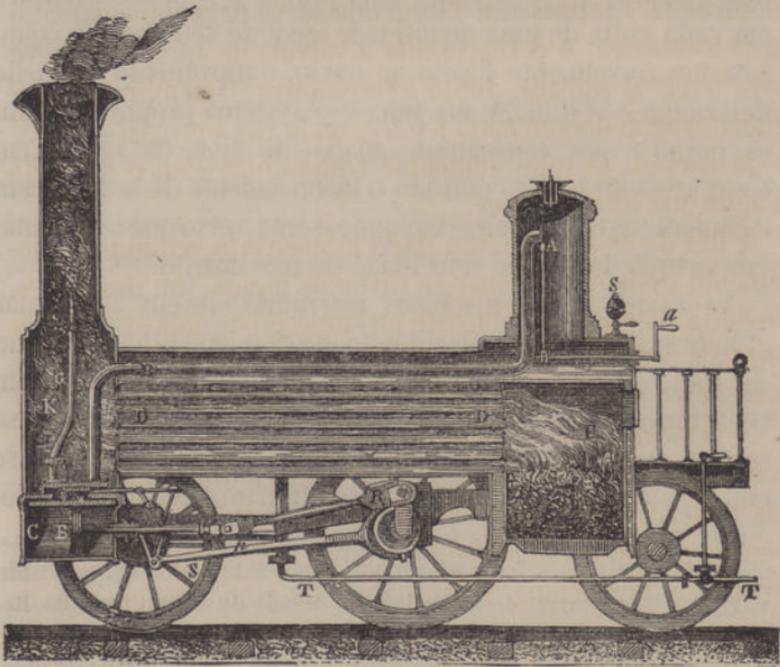
sivamente, sobretudo nos navios de guerra, o *propulsor helicoidal* ou *helice*. O emprego do helice para fazer mover um barco era já conhecido antes da invenção da machina de vapor. Em 1823 Delisle propoz o emprego do helice para os navios de guerra e Sauvage aperfeçoou-o notavelmente, mostrando que o maximo effeito util se obtem quando consta de um unico filete. O helice colloca-se debaixo da agua na parte posterior do navio, mas adiante do leme, e é composto de differentes peças em fôrma de azas dispostas em helice sobre um eixo horisontal existente na direcção da comprimento do navio e que é posto em movimento pela machina. Comprehende-se facilmente como a rotação do helice faz mover o navio; a agua pela sua inercia obra como uma porca, e o helice avançará em cada volta de uma quantidade igual ao seu passo e como está invariavelmente ligado ao navio, o movimento d'aquelle determina o d'este. A machina e o systema propulsor ficam no porão e por conseguinte abaixo do nivel da agua. Tem o emprego do helice comtudo o inconveniente de se gastarem facilmente as chumaceiras em que assenta o eixo que o sustenta, em virtude da grande velocidade do movimento.

As caldeiras das machinas maritimas devem apresentar grande superficie de aquecimento em pequeno espaço e terem diminuto peso, sendo de pequenos diametros e divididas em repartimentos destinados a reter a agua quando o navio se inclina. O emprego das caldeiras tubulares analogas ás que se empregam nas locomotivas tem-se ultimamente generalisado.

550. *Idéa geral sobre as locomotivas*.—A idéa de empregar a machina de vapor para fazer mover um carro sobre uma estrada ordinaria ou sobre carris de ferro data do meado do seculo passado. Robinson, amigo de Watt, foi o primeiro que se lembrou d'essa applicação da machina de vapor, em 1759. Todavia a difficuldade de obter uma grande quantidade de vapor obstou por muito tempo a que as locomotivas podessem prestar serviços reaes. As primeiras locomotivas foram empregadas em Inglaterra para o transporte de minérios. Depois da invenção das caldeiras tubulares por mr. Séguin, mr. Stephenson construiu em 1829 a primeira locomotiva empregada para o transporte, em caminho de ferro, de mercadorias e passageiros. Depois a locomotiva foi successivamente aperfeçoada por Stephenson e outros engenheiros.

Nas locomotivas não ha o balanceiro e volante das machinas ordinarias e as caldeiras são tubulares. A machina está disposta sobre um carro de madeira, sustentado por quatro rodas e compõe-se de duas partes principaes: o apparelho gerador do vapor, que apresenta exteriormente a fôrma cylindrica, constituindo o corpo da locomotiva, e o apparelho motor, que consiste em dois corpos de bomba dispostos horisonalmente, e collocados aos lados e na parte anterior da machina, os quaes por meio d'um tirante e d'uma manivella fazem mover duas rodas denominadas motoras, porque avançando pela adherencia dos carris ou *rails*, arrastam consigo a machina.

A figura 331 representa o cóрте longitudinal de uma loco-



(Fig. 331)

motiva mostrando os seus principaes detalhes. A caldeira apresenta externamente a fôrma cylindrica e é atravessada por diversos tubos *D, D*, que, partindo da fornalha *F*, terminam na parte opposta *K*, sendo cercados pela agua que ella contém. A fornalha é cercada de todos os lados pela caldeira, excepto pela inferior, onde se acha o cinzeiro e pela parte posterior,

na qual existe uma porta por onde se introduz o combustivel. O vapor produzido na caldeira, accumula-se no espaço *A* que lhe fica superiormente, chamado camara de vapor, d'onde se dirige aos corpos de bomba por meio de um tubo *A B* que se bifurca na parte anterior. O acesso do vapor a este tubo regula-se á vontade por meio de uma alavanca que tem exteriormente uma pega *a*. A distribuição do vapor em cada cylindro *C* verifica-se por meio de uma valvula de gaveta movida por meio do excentrico *S*. O vapor depois de obrar no cylindro dirige-se para a chaminé, servindo para activar a tiragem. As hastes dos embolos ligam-se directamente a dois tirantes *R*, articulados com as manivellas que fazem mover as rodas motoras. *T T* representa o tubo que serve para alimentar com agua a caldeira, e *S* representa a valvula de apito que serve para fazer os signaes. Junto á locomotiva ha sempre um pequeno wagon denominado *tender*, onde vae a provisão d'agua e de carvão. O tubo alimentar communica com o deposito d'agua que ha no *tender*.

A fim de se variar n'um dado momento [o sentido do movimento podem empregar-se diversos meios, um dos quaes, devido a Stephenson, consiste no emprego de dois excentricos em cada roda, dispostos de modo que quando se substitue um pelo outro se inverte a distribuição do vapor.

A velocidade das locomotivas cresce com o diametro das rodas motoras. O augmento extraordinario de diametro d'estas poderia prejudicar a estabilidade da machina. Crampton venceu essa difficuldade collocando as rodas motoras na parte posterior da machina. As machinas de grande velocidade do systema Crampton e podendo dar a velocidade de 100 e 120 kilometros por hora, são as que especialmente se empregam nos comboios de passageiros.

Modernamente diversos systemas têm sido inventados na Europa e America, a fim de se adaptar a locomotiva ás estradas ordinarias. Entre elles figura um bastante notavel pela simplicidade e barateza, devido a mr. Larmanjat, posto já em pratica em alguns paizes e introduzido em Portugal, em 1870, pela intelligente iniciativa do sr. duque de Sal-

danha. A locomotiva tem anteriormente uma unica roda guiada por um conductor e alem d'ella duas rodas lateraes que são as motoras. O wagon tem tambem duas rodas especiaes correspondentes á linha media e que, como a roda directriz da locomotiva, se movem sobre um unico carril menos largo e menos saliente que os dos caminhos de ferro ordinarios e alem d'essas tem duas rodas lateraes destinadas a manter o equilibrio da carruagem. O material d'este systema de viação accelerada é consideravelmente mais barato do que os dos caminhos de ferro ordinarios. Todavia o systema Larmanjat só se pôde applicar com vantagem em estradas largas, bem construidas e de pequeno declive.

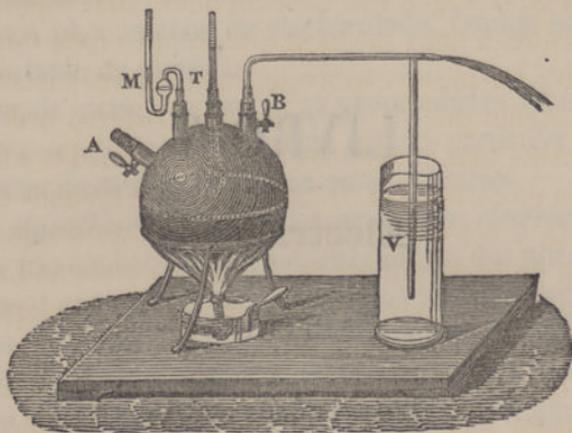
551. *Locomoveis.*—Dá-se o nome de *locomoveis* ás machinas de vapor destinadas a funcionar como machinas fixas, mas dispostas sobre um carro, a fim de poderem facilmente ser transportadas de um ponto para outro. O emprego das locomoveis tende a espalhar-se ha alguns annos, especialmente para os trabalhos agricolas.

A fim de occuparem pequeno espaço dá-se ordinariamente ás locomoveis a disposição geral das locomotivas, apenas com a differença de que ha um só corpo de bomba e que o eixo da arvore é munido de volante e não sendo, como nas locomotivas, destinado a fazer caminhar a machina.

443 (bis). *Apparelho do sr. Benevides para demonstrar as propriedades dos vapores.*—O sr. F. da Fonseca Benevides, professor de physica no instituto industrial de Lisboa, inventou um aparelho mui simples, por meio do qual se demonstram as principaes propriedades dos vapores¹. Compõe-se este aparelho de um balão de cobre (fig. 332) munido de quatro tubuladuras, n'uma das quaes está adaptado um manometro de ar comprimido *M* e n'outra um thermometro *T*, destinados a medir a pressão e a temperatura do vapor produzido dentro do balão, o qual contém um liquido que se faz ferver por meio de uma lampada que se colloca inferiormente. A tubuladura A

¹A descripção d'este aparelho, não tendo podido ficar no logar competente, vae aqui como additamento ao § 443.

serve para fazer communicar o interior do balão com a atmosphera, ou com um reservatorio de ar comprimido ou ra



(Fig. 332)

feito, ou com um modelo de machina de vapor. E á outra tubuladura *B* está adaptado um tubo de vidro por onde o vapor póde sair determinando o esgoto de um liquido contido n'um vaso *V*. Este tubo, que é um modelo simplificado do injector de Giffard, tem interiormente um adelgaçamento por onde o vapor sae, produzindo uma especie de vacuo que determina a ascensão do liquido que está no vaso. As tubuladuras *A* e *B* são munidas de torneiras.

Este aparelho serve não sómente para verificar as diversas propriedades dos vapores (443), como para estudar as leis da ebulição (457), o modo de acção do injector de Giffard, o frio produzido pela expansão do vapor com forte tensão quando se espalha na atmosphera, o emprego do vapor como força motora, etc.

LIVRO V

Electricidade

CAPITULO I

Electricidade statica

SECÇÃO 1.^a

Principios fundamentaes de electricidade

552. *Phenomenos geraes da electricidade.*—Quando se fricciona um pau de lacre ou de enxofre, um cylindro de vidro ou um fragmento de alambre com um panno de lã ou com uma pelle de gato, os corpos friccionados adquirem a propriedade de attrahir corpos leves, taes como serradura de madeira, barbas de penna, fragmentos de medulla de sabugueiro, etc., que repellem em seguida, depois do contacto. Se o corpo friccionado tiver certo volume approximando-lhe as pontas dos dedos sentir-se-ha uma leve tremura e ouvir-se-ha um estalido, e se a experiencia se praticar na obscuridade ver-se-ha saltar entre o dedo e o corpo friccionado algumas pequenas faiscas ou centelhas.

A causa d'estes phenomenos denominou-se *electricidade*, vocabulo derivado do nome grego *electron*, que significa alambre, corpo em que Thales de Mileto descobriu as propriedades descriptas, e por isso se faz datar da epocha de 600 annos antes de Christo, em que viveu este philosopho, o conhecimento dos phenomenos electricos. A noticia que os antigos

tinham d'estes phenomenos limitava-se, porém, a pouco mais dos factos referidos por Thales, e foi incontestavelmente o medico inglez Gilbert que nos fins do seculo xvi, alargando o estudo dos phenomenos de electricidade, fundou este ramo tão importante da physica.

Os corpos quando possuem as propriedades acima referidas dizem-se *electrisados*, e este estado particular em que ellas se manifestam denomina-se *estado electrico*.

553. *Hypotheses sobre a natureza da electricidade*.— Ainda se não conhece bem a natureza intima dos phenomenos electricos e para a explicar os physicos têm recorrido a hypotheses puramente gratuitas, que fazem depender a electricidade de fluidos imponderaveis. D'estas as principaes e que ainda se conservam na sciencia são: a de Franklin, e a de Symmer, injustamente attribuida a este physico inglez, que não fez mais que aproveitar as idéas já emittidas por Dufay e dar-lhes a fórma de theoria.

Segundo Franklin todos os corpos contêm no estado latente um fluido imponderavel cujas particulas se repellem mutuamente, sendo pelo contrario attrahidas pelas moleculas dos corpos, fluido que augmentando ou diminuindo em quantidade nos corpos, se manifesta pelos modos tão diversos de que a electricidade é capaz, electrizando os corpos positiva ou negativamente.

Symmer, admittindo igualmente que em todos os corpos existe a electricidade sob a fórma de um fluido que elle chamou *electricidade neutra*, suppunha que esta sob o influxo de diversas causas se decompõe em dois fluidos de qualidades oppostas, que denominou *fluido vitreo* e *fluido resinoso*, denominações que correspondem ás de electricidade positiva e electricidade negativa de Franklin. Adiante veremos os fundamentos d'esta theoria, que seguiremos, porque é a mais geralmente acceita e a que melhor dá conta dos diversos phenomenos electricos, dos quaes é por assim dizer a traducção. Devemos porém observar desde já que as tendencias da Physica moderna, apoiadas nas ultimas descobertas sobre a natureza do calor e da luz e na connexão que parece existir entre

os phenomenos calorificos, luminosos e electricos, são para considerar esta ultima ordem de phenomenos como resultado do movimento do ether e para proscrever assim da sciencia a *theoria da dualidade de fluidos*, que só se conserva hoje como explicação transitoria dos phenomenos electricos.

554. *Distincção da electricidade em electricidade statica e electricidade dynamica.*— Os phenomenos electricos podem manifestar-se por duas maneiras bem distinctas, que differem principalmente pelas causas que lhes dão origem e pelos effeitos que produzem. D'aqui resulta a distincção da electricidade em *electricidade statica* e *electricidade dynamica*.

A *electricidade statica* desenvolve-se ordinariamente pelo attricto e accumula-se na superficie dos corpos onde adquire um certo estado de tensão, e os seus effeitos mais geraes são attracções e repulsões exercidas sobre os corpos leves e a producção de faiscas. E a *electricidade dynamica*, tendo por causa principal as acções chimicas, propaga-se através dos corpos com grande velocidade debaixo da fórma de corrente, e manifesta-se principalmente por phenomenos chimicos de composição e de decomposição e pelo desvio que imprime á agulha magnetica. Emfim sob a denominação de *electro-magnetismo* comprehende-se um grupo de phenomenos, chamados *magneticos*, que antigamente se consideravam como dependentes de um agente distincto da electricidade denominado *magnetismo*, bem como as acções reciprocas que entre si exercem as correntes electricas e os magnetes.

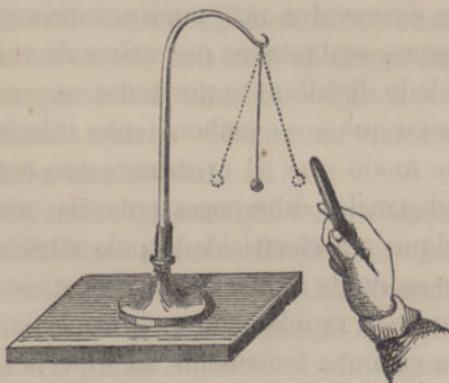
É verdade que podem obter-se correntes electricas, posto que fracas, por meio de electricidade statica, como provou Colladon, assim como tambem a electricidade dynamica póde accumular-se nos corpos em dadas circumstancias como aquella; estes factos porém são excepçoes e em nada destroem a divisão que acabámos de estabelecer da electricidade emquanto ao modo como se manifesta.

Como a electricidade statica é sempre a mesma, qualquer que seja a origem d'onde provenha, e como o meio mais simples e o mais geralmente empregado para a produzir é a fricção, é principalmente á electricidade desenvolvida pela fricção,

ção que nos referimos no decurso d'este capitulo, reservando para o fim d'elle tratar resumidamente das diversas origens de electricidade statica.

555. *Electroscopios e electrometros. Pendulo e agulha electrica.*—Os apparatus empregados para examinar-se os corpos estão ou não electrizados denominam-se *electroscopios*, e aquelles destinados alem d'isso a medir as quantidades de electricidade chamam-se *electrometros*. Os electroscopios mais simples e que desde já precisámos conhecer são o *pendulo electrico* e a *agulha electrica*.

O *pendulo electrico* (fig. 333) é composto de uma bala de sabugueiro suspensa n'um fio de seda fixo a uma haste curva de vidro. Para se conhecer se um corpo está ou não electrizado aproxima-se este á bala de



(Fig. 333)

sabugueiro, que seá attrahida e em seguida repellida no caso affirmativo, e fica em quietação no caso contrario.

A *agulha electrica* é tambem'um electroscopio mui sensivel. É constituida por um arame de cobre com os extremos terminados por esferas ôcas do mesmo metal, e que tem na parte media uma pequena lamina de aço por meio da qual se colloca sobre um fulcro de vidro: basta a mais leve acção electrica para pôr a agulha em movimento.

556. *Divisão dos corpos em idio-electricos e anelectricos e em bons e maus conductores da electricidade.*—Durante muito tempo se dividiu os corpos em *idio-electricos* e *anelectricos*: á primeira categoria pertenciam todos os corpos que se electrizavam pela fricção, como o enxofre, o vidro, o alambre, as resinas, etc.; e á segunda as substancias, taes como, os metaes, as pedras, etc., que, pelo contrario, parecia não se electrizarem qualquer que fosse o modo e o tempo empregado para as friccionar.

A distincção dos corpos em *idio-electricos* e *anelectricos* não tem fundamento plausivel. De feito friccionando um cylindro metallico fixo a um cabo de vidro ou de resina, e approximando-o ao pendulo electrico, a bala de sabugueiro é attrahida e logo repellida, exactamente como succede quando o corpo friccionado é o vidro ou qualquer resina e diversamente do que succederia se o cylindro metallico não estivesse sustentado por um cabo de vidro. Ainda mais; n'esta substancia assim como nas resinas, enxofre, etc., a electricidade sómente se desenvolve nos pontos friccionados, enquanto que nos metaes sustentados por cabos de vidro ou de resina a electricidade distribue-se por todos os pontos da sua superficie por maior que seja e embora tenha sido friccionada n'um só ponto. De modo que ha evidentemente entre estas duas ordens de substancias differenças notaveis, não enquanto ao modo de adquirir a electricidade pelo attricto, mas pelo que respeita ao modo de a reter e de a propagar; assim a electricidade diffunde-se rapidamente pela superficie dos metaes e estaciona ou caminha lentamente na superficie do vidro e das substancias resinosas.

D'aqui a divisão dos corpos em *bons conductores da electricidade*, e *maus conductores*, chamados tambem *isoladores*, por servirem para isolar os primeiros, a fim de não se perder a sua electricidade.

Os principaes corpos bons conductores são, segundo a ordem decrescente de sua conductibilidade: os metaes, o carvão calcinado, a plombagina, os acidos, as dissoluções salinas, os minerios metallicos, a agua, os vegetaes, os animaes, a chamma, o vapor aquoso e o ar rarefeito; e os maus conductores são: o gêlo, o cautchuc, o marmore, as madeiras seccas, o ar e os gazes seccos, o papel, a lã, a seda, o diamante, o vidro, o enxofre, as resinas e o alambre.

Para provar a grande conductibilidade electrica dos metaes, do corpo humano e do solo e a má conductibilidade da seda póde praticar-se a seguinte experiencia:

Prende-se uma cadeia metallica a um dos cylindros da machina electrica, que adiante descreveremos, e conserva-se le-

vantada por meio de um cordão de seda, fixo ao extremo livre; pondo a machina electrica em actividade reconhece-se que a cadeia se electriza instantaneamente, porque, approximando-lhe as juntas dos dedos se sentem tremuras, ouvem-se estalidos e vêem-se saltar pequenas faiscas. Se porém se pozer a cadeia em contacto com o solo para o que basta sustental-a na mão pela parte metallica, não se manifestam os mesmos vestígios de electricidade, e isto porque o corpo humano e o solo são bons conductores da electricidade. Interpondo, emfim, uma porção de cordão de seda entre duas porções de corrente metallica e praticando a mesma experiencia nota-se que os phenomenos electricos não se produzem alem da porção da corrente que está em contacto com o cylindro da machina, porque a seda conduz mal a electricidade.

D'estas experiencias conclue-se tambem que o ar é mau conductor da electricidade, poisque se este fluido fosse bom conductor a electricidade desenvolvida passaria da corrente para o ar, isto é, dissipar-se-hia á medida que se desenvolvesse.

É por causa da grande conductibilidade dos metaes que é impossivel electrizar-os pela fricção sem previamente os isolar convenientemente. É pois indispensavel isolar estes corpos todas as vezes que com elles se pretende praticar alguma experiencia de electricidade.

Da interpretação erronea do facto da grande conductibilidade electrica dos metaes e do corpo humano na experiencia em que se friccionava um cylindro de metal não isolado, é que derivou a divisão, hoje abandonada, dos corpos em *idioelectricos* e *anelectricos*.

557. *Circumstancias que influem na conductibilidade electrica dos corpos.*—As circumstancias que influem na conductibilidade dos corpos para a electricidade são:

- 1.º *A natureza dos corpos*, como já indicámos (556).
- 2.º *A estrutura e o estado de aggregação dos corpos*. Assim a plumbagina conduz bem a electricidade, ao passo que o diamante é um corpo mau conductor; o vidro pulverisado, a flor de enxofre e a cera fundida são bons conductores; e a

agua que no estado liquido conduz bem a electricidade torna-se má conductora quando passa ao estado solido.

3.º *A temperatura.* Com effeito todos os corpos quando aquecidos conduzem bem a electricidade; o vidro, o enxofre, a gomma laca e mesmo os gazes submettidos a uma temperatura elevada tornam-se bons conductores da electricidade.

4.º *A presença do vapor aquoso.* Assim, por exemplo, os gazes e muitos corpos maus conductores tornam-se bons conductores da electricidade quando humidos.

558. *Electricidades contrarias.*—Qualquer corpo electrisado repelle o corpo leve que primeiro attrahiu, depois de lhe ter communicado pelo contacto parte da sua electricidade; é assim que approximando ao pendulo electrico um cylindro de vidro friccionado com um panno de lã, a bala de sabugueiro é primeiro attrahida e em seguida repellida, porque a electricidade que recebeu de vidro é repellida pela electricidade que esta substancia ainda contém. Iguaes effeitos se produzem com um pau de lacre ou qualquer resina, parecendo á primeira vista que a electricidade desenvolvida no vidro tem as mesmãs qualidades da que se desenvolve pela fricção da resina; não succede porém assim. Com effeito se ao pendulo repellido pelo vidro se approximar a resina friccionalda, esta attrahirá fortemente a bala de sabugueiro, sendo a attracção mais energica do que se a bala estivesse no estado natural, e observar-se-hão igualmente phenomenos analogos se ao pendulo repellido pela resina se apresentar o cylindro de vidro friccionado.

Dufay, apoiado nos factos que acabámos de descrever, distinguuiu duas especies de electricidade, uma que denominou *vitrea*, que se desenvolve no vidro quando se fricciona esta substancia com a lã, e outra que recebeu o nome de *resinosa*, desenvolvida pela fricção da resina com a mesma substancia. E interpretando os resultados das experiencias acima descriptas, estabeleceu alem d'isso, que: 1.º, *um corpo depois de adquirir a electricidade vitrea é repellido por ella e pelo contrario attrahido pela electricidade da resina*; 2.º, *um corpo carregado de electricidade resinosa é repellido por ella e*

atrahido pela electricidade do vidro. Estas duas conclusões podem resumir-se dizendo que as *electricidades do mesmo nome se repellem e as de nomes differentes se attrahem.*

As denominações de electricidade vitrea e resinosa devem antes ser substituidas pelas expressões *electricidade positiva* e *electricidade negativa* de Franklin (que geralmente se representam pelos signaes algebricos + e —), porque, como veremos no numero seguinte, a electricidade desenvolvida no vidro e na resina varia com a natureza da substancia com que se friccionam. No entretanto quando se quizer usar das primeiras denominações devem sempre suppor-se definidas como fica dito.

559. *Lei da electricidade desenvolvida pelo attricto.*—Depois da descoberta de Dufay, Wilck reconheceu que *todas as vezes que se friccionavam um contra o outro dois corpos de natureza qualquer, um adquiria a electricidade negativa ao passo que o outro se carregava de electricidade positiva.*

Tal é a lei da electrificação pelo attricto, que se póde demonstrar carregando previamente o pendulo electrico de uma electricidade conhecida e approximando-lhe separadamente os dois corpos friccionados, que podem ser, por exemplo, dois discos um de vidro e o outro de metal coberto de lã, munidos dos competentes cabos isoladores: n'estas circumstancias um attrahe a bala de sabugueiro e o outro repelle-a. Reconhece-se tambem que as duas especies de electricidade desenvolvidas nos dois corpos são em quantidades iguaes, porque apresentando-os ao pendulo enquanto estão em contacto não se observa a minima acção electrica.

A especie de electricidade que os corpos adquirem pela fricção depende :

1.º *Da natureza dos corpos.* Com effeito a lã adquire friccio-nada com o vidro a electricidade negativa e com a resina a electricidade positiva, e o mesmo acontece a quasi todos os corpos. Quando os dois corpos friccionados são da mesma substancia cada um d'elles adquire indifferentemente qualquer das duas especies de electricidade, póde acontecer comtudo que ambos adquiram uma unica especie de electricidade; mas n'este caso a outra é transportada pelas particulas destacadas dos corpos

no acto da fricção. É o que se reconhece friccionando duas penas de pato ou duas fitas de flanela em cruz. Em seguida apresentámos uma lista de algumas substancias collocadas segundo uma ordem tal, que cada uma d'ellas se electriza positivamente quando se fricciona com as que a seguem e negativamente quando friccionadas com as que a precedem. São as seguintes: pelle de gato, vidro polido, lã, pennas, madeira, papel, seda, gomma laca, resina, polvora-algodão e vidro despolido.

2.º *Do estado da superficie.* Assim o vidro polido friccionado com um panno de lã adquire a electricidade positiva, ao passo que o vidro despolido se electriza negativamente, e igualmente friccionando um contra o outro dois discos de vidro, um dos quaes polido e o outro despolido, este ultimo adquire a electricidade negativa.

3.º *Da temperatura.* De feito submettendo á fricção dois discos de vidro identicos, mas em differentes temperaturas, o que tiver temperatura mais elevada electriza-se negativamente,

Em geral, póde dizer-se que o corpo cujas moleculas se podem deslocar mais facilmente adquire a electricidade negativa e o outro a positiva.

560. *Theoria de Symmer.*—Esta theoria resume os phenomenos que temos estudado nos seguintes principios:

1.º Todos os corpos no estado natural, isto é, não electrizados contêm um fluido imponderavel, denominado *fluido neutro* ou *fluido natural*, em quantidade indefinida e inesgotavel.

2.º Sob a influencia de certas acções o fluido neutro decompõe-se em dois fluidos de propriedades oppostas, que são o *fluido vitreo* ou *positivo* e o *fluido resinoso* ou *negativo*.

3.º Os dois fluidos podem propagar-se com grande rapidez atravez dos corpos bons conductores, estacionando ou caminhando lentamente nos corpos isoladores.

4.º Pela fricção de dois corpos um sobre o outro, o seu fluido neutro decompõe-se, adquirindo um dos corpos o fluido positivo e o outro o fluido negativo, e se depois da fricção os reunirmos voltam ambos ao estado natural pela recomposição do fluido neutro.

5.º Os corpos carregados de fluidos do mesmo nome repellem-se e os de nome contrario attrahem-se em virtude de uma affinidade particular que tende a combinar os dois fluidos oppostos.

SECÇÃO 2.ª

Medida das forças electricas.— Distribuição e perda da electricidade

561. *Leis das attracções e repulsões electricas.*— As acções attractivas e repulsivas que os corpos electrizados exercem uns sobre os outros estão submettidas ás duas leis seguintes:

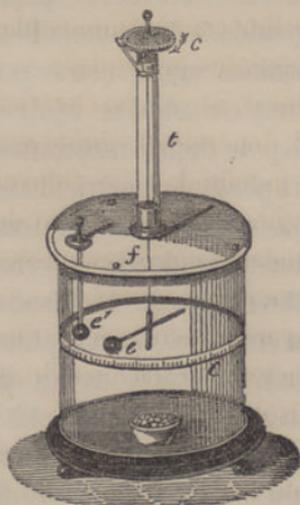
1.ª *As attracções e repulsões electricas estão na razão inversa dos quadrados das distancias entre os corpos electrizados ;*

2.ª *Á mesma distancia, estas forças estão na razão directa dos productos das quantidades de electricidade de que os corpos estão carregados.*

Estas duas leis foram demonstradas experimentalmente por Coulomb por dois methodos differentes por elle denominados *methodo da torsão* e *methodo das oscillações*. Trataremos separadamente de cada um d'estes methodos.

562. *Methodo da torsão ; balança de torsão.*— Para demonstrar as leis das acções electricas pelo primeiro methodo, Coulomb empregou um apparelho denominado *balança electrica* ou *de torsão*, que se acha representado na figura 334.

Este apparelho compõe-se de uma especie de caixa cylindrica de vidro *C* e de um tubo de vidro *t* adaptado á parte media da tampa superior da caixa, na direcção do eixo do qual existe um fio de prata *f*, que sustenta inferiormente uma agulha horisontal de gomma laca



(Fig. 334)

terminada n'uma das extremidades por uma pequena esphera de metal *e*. Na parte superior o fio está suspenso a um

parafuso que atravessa o centro de um disco metallico de fórma circular c , movel em torno da vertical que passa pelo centro, e póde ser torsido n'um ou n'outro sentido fazendo mover o disco ou o parafuso, o qual póde girar independentemente do disco; este tem a circumferencia graduada, de sorte que, movendo-o em relação a uma haste fixa que tem na extremidade um nonio, fornece o meio de medir a torsão que o fio experimenta.

Á altura da agulha de gomma laca existe uma circumferencia C , dividida em graus, cujo zero corresponde a uma esphera e' , da mesma substancia e do mesmo volume da esphera e , e fixa no extremo inferior de uma haste de vidro que se introduz na caixa por uma abertura praticada na sua tampa superior, de modo que a abertura fique obliterada por um botão que termina superiormente a haste. Uma outra abertura póde existir para introduzir uma haste carregada de electricidade a fim de electrizar as duas espheras, e finalmente uma capsula contendo chlorureto de calcio, collocada sobre o fundo inferior da caixa, tem por fim dessecar o ar existente no recinto do aparelho.

Os centros das duas espheras devem ficar n'um mesmo plano horizontal e a iguaes distancias da extremidade do fio metallico.

Descripto assim o aparelho, vejamos agora como por meio d'elle se demonstram as leis acima enunciadas.

Demonstração da primeira lei. Depois de ter dessecado o ar contido na caixa, a fim de diminuir a perda de electricidade, faz-se girar o disco c até que as duas espheras se toquem. Feito isto electriza-se a esphera e' , sustentando-a pelo cabo, e introduz-se rapidamente no aparelho depois de electrizada. A esphera e , electrizando-se pelo seu contacto com a esphera e' , é então repellida e depois de algumas oscillações fica em equilibrio a certa distancia, no ponto correspondente a 40° , por exemplo. Este resultado provém evidentemente da igualdade entre a força electrica da esphera e a força da torsão do fio. Ora como a força de torsão é proporcional ao angulo de torsão (184, 2.^a) segue-se que a repulsão electrica na distancia actual é representada por 40° de torsão.

Movendo porém o disco e de modo que torsendo o fio a esphera e fique retida na divisão 20.^a da circumferencia, que representa um arco, metade do precedente, a repulsão electrica é ainda igual á torsão do fio. Mas esta força é agora representada pelo angulo de torsão, 20° , sommado com o numero de graus que o disco percorreu; e achando-se que este numero é igual a 140° , 160° designa, pois, a força de torsão n'este caso.

E como os angulos de desvio são tão pequenos para que se possa sem grande erro tomar os arcos pelas respectivas cordas, segue-se que a repulsão electrica a uma distancia igual á metade da distancia primitiva é quatro vezes maior do que a esta distancia; do mesmo modo se acharia que a repulsão electrica a uma distancia tres vezes menor é nove vezes maior, etc. De uma maneira analoga se provaria que as attracções estão submettidas á mesma lei, sendo unicamente preciso n'este caso que as duas espheras, em vez da mesma electricidade, estejam carregadas de electricidades contrarias (558).

Demonstração da segunda lei. Depois de haver electrizado a esphera e' e de ter notado o desvio que a esphera e experimenta, toca-se aquella com outra da mesma substancia, do mesmo diametro e não electrizada. A esphera e' perde assim metade da sua electricidade; n'estas circumstancias nota-se que as duas espheras se approximam mais, e fazendo por meio do movimento impresso ao disco que o desvio seja o mesmo que na primeira phase da experiencia, reconhece-se que o angulo de torsão é igual a metade do que era n'aquelle caso, e que por conseguinte a força de repulsão produzida é metade da precedente. Se se subtrahir pelo mesmo meio metade de electricidade restante achar-se-ha que a força de repulsão é um quarto da primitiva, etc. Resultados analogos se obtêm se em vez de tocar a esphera e' se toca a esphera e . Por outras experiencias se prova similhantemente a lei para o caso em que as duas espheras em vez de se repellirem, se attrahem, ficando, portanto, assim plenamente demonstrada a segunda lei.

563. *Methodo das oscillações.*—Coulomb confirmou os resultados

das experiencias feitas com a sua balança electrica por meio do methodo das oscillações. Consiste este methodo em comparar as accelerações j e j' , devidas ás forças F e F' que tendem a attrahir ou repellir duas esferas electrizadas collocadas a distancias conhecidas d e d' .

Para isso colloca-se uma esfera metallica electrizada e convenientemente isolada defronte de um pendulo constituido por uma agulha horisontal de gomma laca suspensa por um fio de seda e terminando n'uma das extremidades por uma bala de sabugueiro. Carrega-se esta de electricidade do mesmo nome ou de electricidade opposta á da esfera, conforme se quer estudar a lei para o caso das repulsões ou das attracções electricas, e faz-se oscillar a agulha.

Sendo c a distancia da bala de sabugueiro ao fio e t e t' os tempos que a agulha gasta para fazer n oscillações ás distancias d e d' , e demonstrando a experiencia que aquelles tempos são proporcionaes ás distancias respectivas, ter-se-ha em virtude da segunda lei do pendulo (137):

$$\frac{j}{j'} = \frac{d'^2}{d^2};$$

e portanto (62)

$$\frac{F}{F'} = \frac{d'^2}{d^2},$$

o que demonstra a primeira lei.

Emfim demonstra-se tambem a segunda lei comparando os effeitos produzidos a uma dada distancia sobre a bala de sabugueiro pela esfera carregada com quantidades de electricidade diferentes.

564. *Causas de erro das experiencias de Coulomb; experiencias de Harris.*—As experiencias de Coulomb não estão ao completo abrigo de causas de erro. Assim deve attender-se em primeiro logar á perda de electricidade, que, como veremos adiante, se verifica pelo ar e pelos corpos isoladores. A influencia d'esta causa póde todavia attenuar-se a ponto de se tornar quasi inapreciavel, fazendo as experiencias em tempo secco, empregando cargas pequenas, e usando de agulhas de gomma laca e de esferas de determinadas dimensões.

Outros erros são os que se commettem na balança de torsão, tomando os arcos pelas respectivas cordas na contagem das distancias entre as esferas e tomando apenas uma componente da força attractiva ou repulsiva por estas forças. Mas estes dois erros tendem a compensar-se, como se póde provar pelo calculo.

Independentemente, porém, d'estas causas de erro, as experiencias de um sabio inglez, mr. Harris, vieram provar que as leis de Coulomb não são absolutamente verdadeiras.

O aparelho empregado por Harris, comquanto semelhante ao de Coulomb, differe d'este principalmente em a agulha de gomma laca

ser suspensa por intermedio de dois fios de seda parallellos, e d'ahi o nome de *balança bifilar*. Os fios estão separados em diferentes alturas por peças de cortiça, a fim de impedir a sua approximação quando se torse o systema. Assim suspensa, a agulha faz oscillações isochronas, qualquer que seja a sua amplitude, e a força que faz conservar a agulha a uma certa distancia da posição de equilibrio é proporcional a esta distancia, como o provam as experiencias do sabio inglez.

Por meio d'este apparelho observou Harris que as leis de Coulomb não se verificavam quando as distancias entre os corpos electrizados eram muito pequenas. Mas este facto tem explicação. Assim quando a distancia entre os corpos electrizados é pequena, os fluidos electricos accumulam-se nas partes da superficie dos corpos que se correspondem no caso de attracção e nas partes oppostas no caso de repulsão, como veremos (574); e n'estas circumstancias a distancia media entre as partes electrizadas não pôde ser representada pela linha, que una os dois centros de figura. Alem d'isso pela influencia (571) que os dois corpos exercem entre si produz-se a decomposição do fluido neutro que cada um d'elles contém, a qual tende a diminuir a repulsão e pôde mesmo convertel-a em attracção.

Em conclusão, pois, as leis de Coulomb são só verdadeiras quando applicadas a pontos mathematicos, sendo necessario para as demonstrar experimentalmente empregar corpos de pequenas dimensões, para que as distancias entre os differentes pontos se possam considerar sensivelmente iguaes, e collocal-os em grande distancia a fim de evitar a accumulção dos fluidos e a decomposição do fluido neutro. É o que confirmam as experiencias de mr. Marié Davy, que, tendo experimentado com o apparelho de Harris e observando todas as cautelas que acabámos de mencionar, reconheceu que a primeira lei de Coulomb se verifica sensivelmente quando a distancia entre as duas espheras electrizadas é superior a nove ou dez vezes o seu raio.

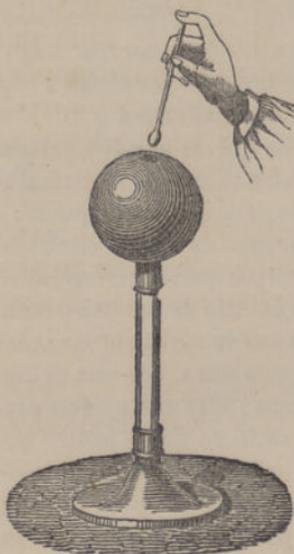
565. *Distribuição da electricidade; suas leis.*—A electricidade, assim como o calor, distribue-se nos corpos conductores e tanto mais facilmente quanto maior é o grau de conductibilidade d'estes. As leis que regulam esta distribuição são as seguintes:

1.^a *A electricidade desenvolvida nos corpos conductores ou a que lhes é communicada distribue-se na sua superficie, onde forma uma camada de mui pequena espessura.*

2.^a *A tensão ou força da electricidade em qualquer ponto da superficie de um corpo electrizado é proporcional ao quadrado da espessura da camada electrica.*

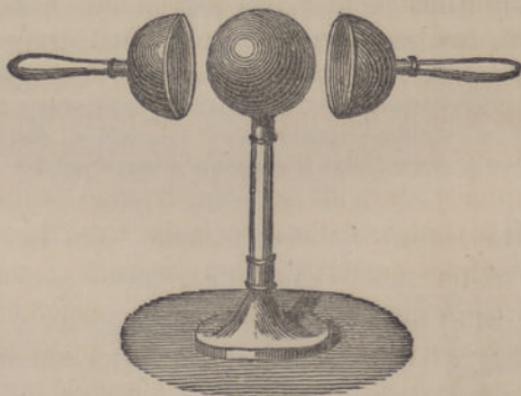
A primeira lei demonstra-se pelas seguintes experiencias:

- 1.^a Electrizando uma esphera ôcca de latão (fig. 335) aberta na parte superior e convenientemente isolada, e tocando a sua superficie externa com um disco metallico isolado por um cabo de gomma laca, denominado *plano de prova* ou *de ensaio*, observa-se que quando se approxima o disco do pendulo electrico, este se desvia da posição de equilibrio, ao passo que se se toca com o *plano de prova* o interior da esphera, o pendulo não accusa o menor indício de electricidade á sua approximação.



(Fig. 335)

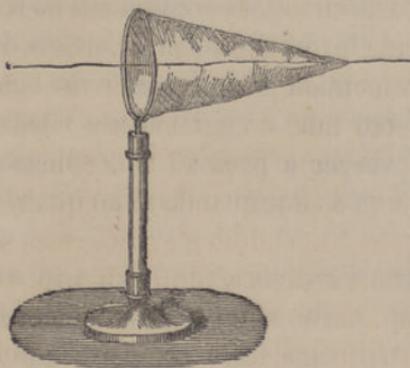
- 2.^a Sobre uma esphera metallica isolada por um pé de vidro applicam-se duas calottes hemisphericas da mesma substancia e igualmente isoladas (fig. 336), cujas concavidades se adaptam perfeitamente á superficie da esphera; electriza-se o systema e depois



(Fig. 336)

separam-se da esphera bruscamente e ao mesmo tempo as duas calotes, e apresentando-as ao pendulo assim como a esphera, reconhece-se que aquellas estão electrizadas, enquanto que esta não manifesta o menor vestigio de electricidade.

3.^a Fixa-se á circumferencia de um circulo metallico sustentado por um supporte isolador um sacco conico de musselina (fig. 337), que por meio



(Fig. 337)

de um fio de seda que atravessa o fundo se pôde á vontade virar de modo a tornar externa a sua superficie interna e vice-versa. Electriza-se o sacco, e por meio de um plano de prova reconhece-se que é sempre na superficie externa que a electricidade se accu-

mula, qualquer que seja a posição que se dê ao sacco. Esta experiencia é devida a Faraday.

4.^a Reconhece-se tambem pela experiencia que uma esphera massiça de metal adquire a mesma quantidade de electricidade que uma esphera de madeira do mesmo diametro coberta apenas de uma camada metallica pouco espessa.

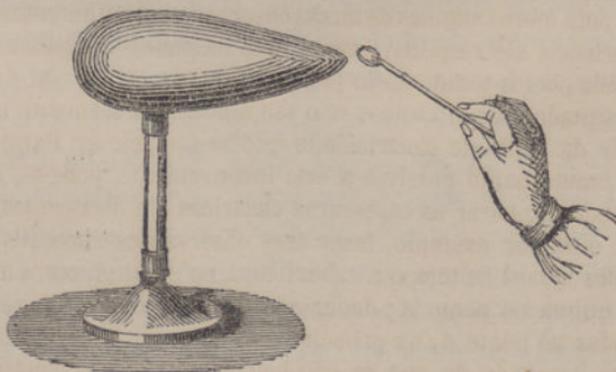
5.^a Póde, emfim, demonstrar-se ainda a primeira lei, suspendendo, por meio de dois fios de seda fixos nas extremidades, um cylindro de metal a que se adapta uma lamina metallica muito flexivel, que se pôde enrolar ou desenrolar em torno do cylindro por meio de uma manivella. Ao bordo livre da lamina estão appensos dois electroscopios compostos por pendulos electricos duplos, de modo que, electrizando o cylindro e por consequente a lamina, a divergencia das balas de sabugueiro dos electroscopios denuncia logo a presença da electricidade (558). Ora, se se enrola toda a lamina vê-se augmentar o desvio das balas do pendulo, ao passo que desenrolando-a se nota o contrario. Estes resultados explicam-se porque a electricidade se accumula na superficie livre da lamina, e no primeiro caso esta superficie é menor, e portanto evidentemente maior a acção electrica em cada ponto da superficie externa da lamina.

Estas experiencias mostram pois que a electricidade se accumula á superficie dos corpos conductores, o que depende

da repulsão entre as moléculas d'um mesmo fluido como se pôde demonstrar pelo calculo. Demais demonstra o calculo e provam as experiencias, que a electricidade accumulada na superficie dos corpos conductores forma apenas uma camada de pequenissima espessura, abi mantida pela pressão e má conductibilidade do ar. O esforço que a electricidade n'estas circumstancias exerce para vencer a pressão atmospherica constitue a *tensão electrica*, a qual adquire o maximo quando vence a pressão do ar.

A segunda lei foi demonstrada analyticamente por Laplace partindo das leis de Coulomb. Com effeito Laplace demonstrou que o fluido electrico tem uma força repulsiva que é por toda a parte proporcional á sua espessura, e como o esforço exercido para vencer a resistencia do ar varia em rasão composta da força repulsiva e da espessura, conclue-se que a tensão electrica é proporcional ao quadrado da espessura da camada electrica.

566. *Influencia da fórma dos corpos na distribuição da electricidade.*—Na superficie de uma esphera conductora isolada a electricidade distribue-se uniformemente em todos os pontos, constituindo uma camada, cuja espessura é por toda a parte igual, em consequencia da fórma do corpo ser symetrica relativamente a um ponto; se porém o corpo electrizado tiver outra qualquer fórma, se for um elipsoide ou um ovoide



(Fig. 338)

(fig. 338), a espessura da camada electrica não pôde ser uniforme, porque o fluido electrico pela repulsão que exerce sobre si

mesmo se accumula mais n'um ponto que n'outro, adquirindo ahi maior tensão : é assim que a espessura da camada electrica é maior nas partes mais agudas do elipsoide ou do ovoide, como se póde verificar tocando os differentes pontos da sua superficie com um plano de prova e apresentando este em seguida a um pendulo electrico, cujo fio possa mover-se sobre um semi-circulo graduado a fim de se poderem medir os desvios produzidos. Este processo para avaliar as espessuras da electricidade nos differentes pontos do ovoide é muito pouco rigoroso e apenas indica que a carga de electricidade é maior n'uns pontos que n'outros, fundado em que as quantidades de electricidade adquiridas pelo plano de prova são proporcionaes ás espessuras n'aquelles pontos, como adiante veremos.

A fim de comparar as espessuras electricas de differentes corpos ou de differentes pontos do mesmo corpo, Coulomb empregava um processo mais exacto. Applicava um plano de prova tangencialmente aos pontos da superficie ou superficies cujas espessuras electricas pretendia medir, e levantando-o em seguida perpendicularmente áquellas superficies, collocava-o no logar da esphera fixa da sua balança de torsão, cuja esphera movel tinha sido previamente carregada de uma dada quantidade da mesma especie de electricidade. Ora é evidente que as quantidades de electricidade que o plano de prova adquire são proporcionaes ás espessuras nos diversos pontos tocados, visto que o plano de prova se applica exactamente sobre aquelles pontos, e porque em virtude da primeira lei da distribuição da electricidade esta tende então a accumular-se na superficie d'aquelle plano ; resulta, pois, que os angulos de torsão observados nas differentes phases da experiencia são respectivamente proporcionaes ás espessuras electricas nos pontos tocados pelo plano de prova.

Os resultados assim obtidos não são ainda rigorosamente exactos, em rasão da perda de electricidade que se faz pelo ar. Para obviar, porém, tanto quanto possivel a este inconveniente, pode-se, quando se pretende comparar as espessuras electricas em dois pontos quaesquer *A* e *B* por exemplo, fazer tres observações successivas com intervallos iguaes de tempo a saber : uma no ponto *A*, outra no ponto *B*, e a ultima no ponto *A* ; deduzindo depois a media das repulsões observadas no ponto *A*, na primeira e terceira observações obtem-se o mesmo resultado do que se não houvesse perda de electricidade, ou antes do que se observassem ao mesmo tempo os pontos *A* e *B*.

Empregando este processo que acabámos de descrever, Coulomb obteve os seguintes resultados :

1.º N'uma esphera a espessura da camada electrica é a mesma em todos os pontos da sua superficie.

2.º N'uma lamina de aço quadrangular de determinadas dimensões a espessura electrica é sensivelmente constante desde o meio até 28 a 30.^{mm} das extremidades e cresce em seguida até as extremidades onde é proximamente dupla da da parte media. Resultados analogos se observam nas placas circulares e nos cylindros.

3.º N'um elipsoide a espessura da electricidade nas extremidades dos eixos é proporcional ao comprimento d'estes.

4.º N'um cone a espessura electrica augmenta rapidamente da base para o vertice, onde é tão grande que a electricidade vence a resistencia do ar.

5.º Quando duas esferas iguaes, estão em contacto a carga é nulla no ponto de tangencia, insensivel até 20° d'este ponto, muito fraca de 20 a 30°, augmenta rapidamente de 30 a 60°, depois mui lentamente de 60 a 90°, e emfim de 90 a 180° é quasi constante. Se as duas esferas são desiguaes a espessura electrica nos pontos das esferas diametralmente oppostos ao do contacto é maior na esphera mais pequena do que na maior, e separando-as a esphera maior conserva mais electricidade, mas a menor tem em cada ponto uma espessura electrica maior.

567. *Poder das pontas.*— Denomina-se *poder das pontas* a propriedade que estas têm de esgotar o fluido electrico desenvolvido nos corpos a que estão adaptadas. Esta propriedade, descoberta por Franklin e por elle applicada, como veremos mais longe, á construcção dos pára-raios, depende de que a tensão da electricidade crescendo com a sua accumulção, no extremo de uma ponta aguçada deve estar, exactamente como no vertice de um cone, em seu maximo de tensão, e por conseguinte em circumstancias de vencer continuamente a resistencia que o ar lhe oppõe. E com effeito, se se approximar a mão de uma ponta collocada sobre um corpo conductor carregado de electricidade, sente-se como que um sopro brando e ouvem-se alguns pequenos estalidos, e quando o desenvolvimento da electricidade tem logar na obscuridade, nota-se alem d'isso que a ponta se torna luminosa na extremidade. Collocando proximo d'esta um conductor metallico a intensidade da luz augmenta em virtude da influencia que a ponta exerce sobre o conductor (570) e da reacção d'este sobre a ponta, produzindo o augmento da sua carga o do es-

goto da electricidade. A luz é mais brilhante quando a electricidade que se esgota é negativa do que quando é positiva.

Se pelo contrario se aproxima de um conductor electrificado uma ponta em communicação com o solo, o conductor descarrega-se immediatamente, porque o fluido neutro da ponta sendo decomposto pela influencia da electricidade do conductor, o fluido do mesmo nome do do conductor é repellido para o solo e o contrario sendo esgotado pela ponta combina-se com o fluido existente no conductor, que volta assim ao estado natural.

Os phenomenos luminosos que se verificam na extremidade da ponta todas as vezes que por ella se esgota a electricidade são acompanhados de um movimento de ar que parte da ponta e que se chama *vento electrico*, o qual se póde sentir approximando a mão de uma ponta n'estas condições, e que ás vezes é tão notavel que póde desviar a chamma de uma véla e apagal-a mesmo.

Os phenomenos luminosos e o vento electrico que se observam nas pontas explicam-se admittindo que o ar que está em contacto com o vertice da ponta se electrifica em virtude da tensão electrica infinita que ahi ha e que depois, pela repulsão das suas moleculas, estas se movem no sentido da luz.

As arestas e os angulos produzem os effeitos das pontas, e é por esta rasão que se evitam as fórmangulosas nosapparelhos que se pretendem carregar de electricidade.

568. *Perda da electricidade; suas leis.*— Os corpos electrificados, aindaque estejam isolados, perdem a electricidade mais ou menos promptamente, voltando ao estado natural no fim de algum tempo. As causas d'esta perda são: a conductibilidade do ar e a imperfeição dos corpos isoladores que servem para sustentar os corpos electrificados. Vamos estudar successivamente a influencia d'estas causas.

1.º *Perda da electricidade pelo ar.* A perda da electricidade devida ao ar atmospherico resulta principalmente do vapor aquoso que n'elle sempre existe, o qual o torna bom conductor, de modo que os corpos electrificados em presença do ar muito humido perdem a sua electricidade rapidamente;

mas pôde attenuar-se até certo ponto a acção d'esta causa, aquecendo fortemente o ar, porque então o seu estado hygrometico diminue alguma cousa. O ar secco, comtudo, tambem favorece a dispersão da electricidade, talvez porque as suas moleculas em contacto com uma superficie electrizada adquirem alguma electricidade, a qual em consequencia da força repulsiva que lhe é inherente é transportada a distancia.

Para estudar a influencia da conductibilidade do ar atmosferico na dispersão da electricidade é preciso eliminar primeiro a acção da outra causa. É o que Coulomb conseguia empregando como isoladores corpos cuja conductibilidade era igual á do ar secco. Para reconhecer se os corpos isoladores satisfiziam a estas condições, Coulomb empregava o seu apparelho (fig. 334) e fazia duas experiencias: a primeira sustentando a bala fixa por meio de um unico isolador e tendo o cuidado de medir de minuto em minuto a diminuição da força repulsiva, e a segunda servindo-se de dois isoladores perfeitamente iguaes ao primeiro, tomando nota como na experiencia precedente da perda da electricidade. Se n'este ultimo caso a perda de electricidade era maior do que na primeira experiencia era evidente que ella dependia dos corpos isoladores; e se pelo contrario a perda era a mesma, concluia que a perda pelos supportes era igual á que se fazia pelo ar e que por consequencia as condições da dispersão da electricidade eram as mesmas do que se a esphera estivesse mergulhada na atmosphaera do recinto da balança sem auxilio de suporte. Em resultado d'estas experiencias Coulomb reconheceu que os supportes de gomma laca bastante compridos satisfiziam ás condições desejadas.

Posto isto, supponhamos que se pretende medir a perda da electricidade pelo ar atmosferico. Introduz-se na balança a esphera *e'* electrizada e convenientemente isolada, e põe-se em contacto com a esphera *e*. As duas espheras afastam-se em virtude da repulsão. Faz-se em seguida mover o disco até que as duas espheras distem 20° , por exemplo, e supponhamos que a torsão necessaria para conseguir este resultado

é 140°. A força repulsiva diminue pouco a pouco em consequencia da perda da electricidade, e a esphera e tende a approximar-se da esphera e' ; mas mantem-se o desvio de 20° diminuindo a torsão de 10°, por exemplo, no fim de um minuto. A relação, pois, entre a perda da electricidade e a quantidade media da electricidade da esphera e' , no fim d'este tempo é expressa por $\frac{10}{135}$.

Se quizessemos avaliar a perda da electricidade experimentada por qualquer corpo electrizado empregariamos o plano de prova e operariamos de um modo analogo áquelle que acabámos de descrever.

Em virtude das suas experiencias sobre a perda da electricidade pelo ar, Coulomb chegou aos seguintes resultados:

- 1.º *A perda cresce com o grau de humidade do ar;*
- 2.º *Num estado hygrometrico constante a perda é proporcional á tensão.*

Esta ultima lei é analogo á de Newton sob o resfriamento (501).

As experiencias de Coulomb não são muito precisas, e demais este physico não attendeu á influencia de todas as condições que podem fazer variar a perda da electricidade. A differentes experimentadores, e sobretudo a Matteuci, se devem experiencias mais completas sobre o assumpto.

Matteuci, tendo repetido as experiencias de Coulomb com um aparelho mais preciso, e fazendo variar as condições da experiencia, chegou ás seguintes conclusões: no ar e nos gazes seccos a perda de electricidade entre certos limites de tensão é independente da quantidade de electricidade e proporcional ao tempo; sob temperaturas e pressões iguaes a perda é a mesma no ar, no hydrogenio e no ácido carbonico perfeitamente seccos; nos corpos fortemente electrizados a perda é maior para a electricidade negativa do que para a positiva; nos gazes seccos sob uma pressão constante a perda augmenta com a temperatura e é independente da natureza dos corpos electrizados; emfim no ar secco e rarefeito um corpo electrizado perde nos primeiros momentos uma grande

parte da sua electricidade, que se escapa quasi instantaneamente e depois fica com uma carga limite, que se perde tanto mais lentamente quanto mais rarefeito estiver o ar, a ponto de que no vacuo a carga limite será muito fraca e a perda electrica nulla.

2.º *Perda da electricidade pelos supportes.*—Os supportes formados de corpos maus conductores nunca isolam a electricidade completamente; antes são a origem de uma perda mais ou menos consideravel do fluido electrico, principalmente quando os corpos isolados estão muito carregados d'este fluido. Esta perda depende pois da isolação imperfeita operada pelos supportes e n'alguns tambem, como nos de vidro por exemplo, da condensação da humidade á sua superficie.

A perda da electricidade pelos supportes diminue com o decrescimento da tensão da electricidade e torna-se constante para uma tensão mui fraca. Póde mesmo attenuar-se a ponto de se poder considerar nulla dando aos supportes comprimento sufficiente, comprimento que segundo Coulomb *deve crescer proporcionalmente ao quadrado da tensão electrica do corpo que se pretende isolar.*

SECÇÃO 3.ª

Influencia electrica

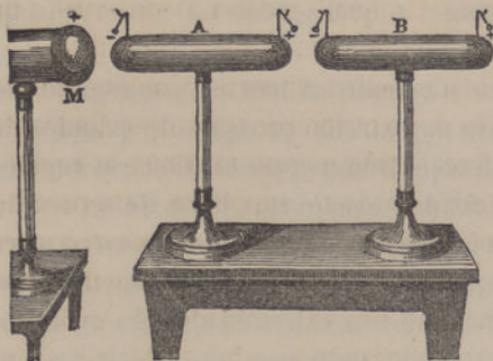
569. *Definições.*—Quando qualquer corpo electrizado se acha em presença d'outros corpos, electrizados ou não, actua sobre elles a distancia decompondo-lhes o seu fluido neutro quando estão no estado natural, ou determinando uma modificação na distribuição da sua electricidade no caso contrario. Esta acção dos corpos electrizados sobre os corpos que os rodeiam denomina-se *influencia* ou *inducção electrica*, e o phenomeno da decomposição do fluido neutro dos corpos no estado natural pela electricidade a distancia recebe o nome de *electrização por influencia* ou *por inducção*. E para distinguir esta inducção da que se verifica com as correntes electricas, a qual mais particularmente tem esta denominação, costuma tambem designar-se pelo nome de *inducção electrostatica*.

Os phenomenos de influencia variam segundo o corpo que

recebe a influencia está ou não electrizado e ainda conforme elle é bom ou mau conductor da electricidade.

570. *Phenomenos de influencia sobre um corpo conductor no estado natural; electrização por influencia.*— Quando se colloca um corpo electrizado em presença de um corpo conductor no estado natural a electricidade d'aquelle decompõe o fluido neutro d'este, attrahindo o fluido electrico contrario e repellindo o fluido do mesmo nome (558). Tal é o principio fundamental da electrização por influencia.

Demonstra-se experimentalmente este principio collocando um cylindro conductor isolado A (fig. 339), em cujas extre-



(Fig. 339)

midades estão suspensos pendulos electricos, na distancia de alguns centimetros da machina electrica em actividade M.¹ De feito n'estas circumstancias a bala de sabugueiro do pendulo proximo da machina dirige-se

para o lado d'esta e a do pendulo mais distante afasta-se em sentido opposto: phenomenos que dependem evidentemente da accumulacão nas extremidades do cylindro A dos fluidos contrarios resultantes da decomposiçãõ do fluido neutro que n'elle existia. Estes resultados podem verificar-se approximando um páu de lacre friccionado com um panno de lã, primeiramente ao pendulo mais proximo da machina, que será repellido pelo lacre, e depois ao pendulo mais distante, o qual será attrahido por esta substancia, em consequencia do primeiro estar carregado de electricidade negativa (—) como o lacre, e do segundo estar electrizado positivamente (+).

Os effeitos que acabámos de estudar têm, porém, sido

¹ A electricidade desenvolvida na machina electrica ordinaria é positiva, como adiante veremos.

interpretados de modo differente. Assim alguns physicos têm objectado á experiencia feita com o conductor horisontal, que o desvio manifestado no pendulo proximo da fonte de electricidade podia depender simplesmente da acção directa d'esta sobre o pendulo e não indicaria portanto que a extremidade do cylindro *A* proxima de *M* estivesse electrificada. Mas fixando os pendulos immediatamente sobre o cylindro, e dispondo o aparelho verticalmente sobre a fonte de electricidade, como o fez mr. Riess, de Berlim, desaparece toda a duvida porque se observa ainda o desvio do pendulo e este effeito não pôde de modo nenhum ser attribuido á attracção exercida sobre elle pela electricidade da fonte, a qual tenderia a conserval-o na posição de equilibrio.

Conclue-se, pois, que o cylindro *A* tem as duas especies de electricidade, a negativa no extremo proximo do cylindro da machina *M* e a positiva no extremo opposto. Entre as regiões occupadas pelos dois fluidos existe uma linha de separação onde a tensão electrica é nulla, denominada *linha neutra*, para cada um dos lados da qual a tensão vae successivamente crescendo até attingir o maximo nas extremidades do cylindro, como se pôde verificar collocando pendulos electricos em toda a extensão de *A*.

O corpo electrificado por influencia *A* obra a seu turno sobre qualquer outro conductor *B*, não electrificado e collocado na proximidade d'elle, decompondo-lhe o seu fluido neutro, do mesmo modo que o faria o cylindro da machina electrica; de igual modo actuaria o cylindro *B* sobre outro conductor, e assim successivamente. E ao mesmo tempo que o conductor *M* da machina actua sobre o cylindro *A* decompondo o fluido neutro em fluido negativo e fluido positivo, cada um d'estes reage sobre a electricidade de *M*; mas em virtude da menor distancia a acção do fluido negativo predomina attra-hindo por consequencia o fluido positivo de *M* para os pontos mais approximados de *A*, e produzindo assim uma modificação na distribuição d'este fluido, como veremos.

Em qualquer corpo electrificado por influencia podem verificar-se experimentalmente os seguintes principios:

1.º *Os dois fluidos contrarios não occupam posições symmetricas.*—Com effeito é evidente que a attracção que mantém o fluido negativo na extremidade do cylindro *A* proxima da machina é maior do que a repulsão que faz accumular na extremidade opposta, e por consequencia a uma maior distancia, o fluido positivo. D'este principio deduzem-se os seguintes corollarios que a experiencia igualmente confirma: (*a*) a linha neutra não occupa a parte media do corpo electrificado, está sempre mais proxima do corpo influenciador e muda de posição segundo a distancia d'este ao corpo que recebe a influencia e segundo a carga de electricidade; (*b*) a espessura da camada de electricidade é maior na região do corpo proxima da fonte electrica do que na outra; (*c*) a perda do fluido que está mais proximo do corpo influenciador é mais rapida do que a d'aquelle que occupa a região opposta, de modo que prolongando a experiencia por algum tempo não existe por fim sobre o corpo senão fluido identico ao da fonte.

2.º *A decomposição da electricidade neutra por influencia não é illimitada.*—Com effeito a força do corpo influenciador sendo constante e a força representada pela attracção reciproca dos dois fluidos oppostos existentes sobre o cylindro *A* (fig. 339) augmentando successivamente á medida que a decomposição se effectua, é claro que chegará um momento em que se estabelecerá o equilibrio entre a força decomponente da fonte electrica e a força que tende a recompôr os dois fluidos separados em *A*; e desde então a decomposição cessa e a influencia attinge o seu limite. Se porém se aproxima ou se afasta mais o cylindro *A* da machina, verifica-se, ou uma nova decomposição de fluido neutro ou uma combinação dos dois fluidos separados. E se o cylindro *A* augmentasse progressivamente de comprimento, a attracção reciproca dos dois fluidos antagonistas existentes na sua superficie diminuiria, e como é esta força que limita a decomposição, accumular-se-ia tanta mais electricidade sobre o cylindro quanto maior fosse o seu comprimento, de modo que quando o conductor se tornasse infinito, a decomposição attingiria o limite extremo e a carga da electricidade chegaria ao maximo.

3.º Quando se põe em comunicação com o solo qualquer ponto do corpo submettido á influencia, ou seja por meio de uma haste ou cadeia metallica, ou seja tocando-o com o dedò, o fluido que se esgota é sempre identico ao da fonte electrica.— Assim fazendo communicar com o solo por qualquer meio a extremidade do cylindro *A* mais afastada da machina e descarregando ou afastando esta depois de fazer cessar a communicação com o solo, observa-se que o cylindro *A* contém sómente electricidade contraria á do corpo inductor, tendo-se por consequencia esgotado o fluido do mesmo nome. Estes phenomenos explicam-se do seguinte modo: quando se põe a extremidade do cylindro *A* em communicação com o solo a influencia de *M* continua a exercer-se como precedentemente, mas com a differença que n'estas circumstancias o corpo conductor é representado pelo cylindro *A*, pela haste de communicação ou o corpo do observador e a terra; a electricidade positiva esgota-se para o solo em virtude da tendencia que tem a dispersar-se e a electricidade negativa é retida sobre o cylindro *A* pela attracção exercida pela electricidade de *M* e augmenta instantaneamente em virtude de uma nova decomposição do fluido neutro; emfim a carga na extremidade proxima da machina torna-se maxima como o deve indicar o pendulo electrico (2.º). De modo que se se cessa a communicação com o solo e se subtrahe o cylindro *A* á acção da electricidade de *M*, o fluido negativo distribue-se livremente sobre a superficie de *A*.

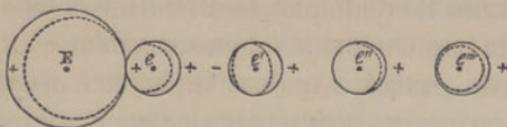
Iguaes resultados se produzem quando se estabelece a communicação com o solo de qualquer outro ponto do conductor *A*, mesmo da extremidade proxima da machina. N'este ultimo caso o conductor torna-se tambem infinito e uma nova decomposição de fluido neutro se opera sobre o cylindro *A*: o fluido positivo resultante d'esta decomposição escapa-se para o solo pelo meio de communicação e o negativo accumula-se na extremidade proxima da machina. O excesso do fluido negativo accumulado n'este ponto distribue-se sobre o cylindro *A* e chegando á extremidade opposta d'este combina-se com o fluido positivo ahi existente, constituindo o fluido neutro. Se portanto depois de interromper a communicação do cy-

lindro *A* com o solo, se subtrahê á acção da machina *M*, encontra-se sobre o cylindro sómente fluido negativo, mas este é em menor quantidade do que na outra experiencia, em rasão de ter sido em parte empregado na neutralisação do fluido positivo.

4.º Quando a influencia cessa os fluidos electricos separados recompõem-se, isto é, o corpo volta ao estado natural.— Assim subtrahindo o cylindro *A* á acção da fonte electrica ou fazendo communicar esta com o solo, observa-se que os pendulos existentes sobre o cylindro voltam immediatamente á posição de equilibrio, o que é indicio de ausencia de electricidade sobre elle.

571. *Phenomenos de influencia sobre um corpo conductor electrizado.*— Estudemos agora a acção reciproca que entre si exercem dois corpos conductores electrizados. Differentes casos se podem apresentar.

1.º Suppunhamos que se electrizam conjuntamente duas esferas conductoras de differentes diametros *E* e *e* (fig. 340)



(Fig. 340)

e que se separam em seguida, e admittamos mais que a electricidade de que estão carregadas é positiva. Durante que as duas esferas estão em relação uma com a outra a electricidade accumula-se nos pontos oppostos ao do contacto (558); desde que se separam, porém, como a esfera maior *E* adquire mais electricidade (566) actua sobre a esfera *e* decompondo o fluido neutro que n'ella existe, repellindo o fluido positivo que se vae addicionar ao que já existia, e attrahindo o fluido negativo para os pontos da esfera em face de *E*, como se observa em *e'*. Mas se se faz augmentar successivamente a distancia entre as duas esferas, a esfera *e* chega a um ponto *e''*, em que não contém senão electricidade positiva, tendo-se verificado a recomposição do fluido negativo e de parte do positivo em rasão do augmento da distancia. E se se afasta

mais a esphera e , observa-se que quando chega a e''' existe em toda a sua superficie electricidade positiva, mas desigualmente distribuida. A influencia augmenta, pois, até e' para diminuir depois indefinidamente.

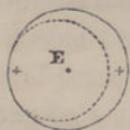
Se as duas espheras forem iguaes, como se carregam de quantidades iguaes de electricidade, os phenomenos que se passam em cada uma d'ellas são identicos.

2.º Se as duas espheras E e e (fig. 341) não foram electrizadas conjuntamente, mas estão carregadas de quantidades quaesquer de fluidos do mesmo nome, positivo por exemplo, predominando o da esphera E , haverá uma posição e em que, em virtude da repulsão dos fluidos, a esphera e conterá sómente fluido positivo accumulado em b , não existindo electricidade alguma em a . Quando porém a distancia diminue a electricidade de E decompõe por influencia o fluido neutro de e , e d'ahi um augmento de fluido positivo em b' e uma accumulacão de fluido negativo em a' , como se vê em e' .



(Fig. 341)

3.º Quando, enfim, nas duas espheras existem electricidades contrarias em quantidade qualquer, isto é, que por exemplo a esphera E está carregada de electricidade positiva e a esphera e de electricidade negativa (fig. 342) verifica-se a attracção dos dois fluidos oppostos e portanto a sua accumulacão em a e na face fronteira da esphera E , não havendo vestigio de electricidade em b . Approximando a esphera e da esphera E até e' por exemplo, produz-se uma nova decomposicão de fluido neutro, e d'ahi a accumulacão da electricidade positiva em b' e da electricidade negativa em a' em quantidade superior á que existia em a .



(Fig. 342)

572. *Phenomenos de influencia sobre os corpos máus conductores.*—Tudo o que fica exposto diz respeito aos corpos bons conductores da electricidade. Os corpos maus conduc-

tores difficilmente se electrizam por influencia; consegue-se, porém, electrizar-os submettendo-os á acção de uma poderosa fonte electrica, mas ainda assim lentamente em consequencia da grande resistencia que oppõem á transmissão da electricidade. Pela mesma razão, quando electrizados, a electricidade persiste n'elles durante muito tempo depois de terem sido subtrahidos á acção do corpo influenciador.

No estudo dos phenomenos de influencia sobre um corpo mau conductor temos a considerar dois casos: 1.º, o corpo influenciador está collocado a distancia do corpo mau conductor; 2.º, está em contacto com elle.

1.º Se se colloca, como fez Matteucci, proximo de um corpo fortemente electrizado algum corpo mau conductor, como, por exemplo, uma pequena agulha de enxofre, de resina, de gomma laca, etc., suspensa por um fio, observa-se que a agulha faz, passado algum tempo, oscillações em torno da sua posição de equilibrio e reconhece-se que no extremo proximo do corpo inductor a electricidade é de nome contrario á d'este e do mesmo nome no extremo opposto. Estes phenomenos são pois analogos aos que manifestam os corpos conductores electrizados por influencia; differem porém em que nos corpos de que nos occupâmos os fluidos positivo e negativo só existem nas extremidades do corpo submettido á influencia, ficando os pontos intermedios no estado natural. Este phenomeno, denominado *polarisação electrica*, explica-se admittindo que a decomposição do fluido neutro se operou successivamente em cada uma das moleculas do corpo a partir das que estavam mais proximas do corpo inductor, e que depois os fluidos de nome contrario que existiam nos topos fronteiros de cada duas moleculas consecutivas destruíram a sua acção neutralisando-se, e d'este modo a influencia electrica exercida sobre o corpo isolador só se traduz pelos phenomenos electricos manifestados nas extremidades oppostas das moleculas terminaes.

2.º Quando um corpo conductor electrizado se põe em communicação com um corpo mau conductor durante algum tempo verificam-se a principio os phenomenos que acabâmos

de descrever; mas depois o modo de distribuição da electricidade altera-se, os fluidos electricos deslocam-se, accumulando-se nos pontos de contacto com o corpo inductor o fluido de nome contrario ao d'elle, e nos pontos mais afastados o fluido do mesmo nome, e esta distribuição persiste depois da separação do corpo inductor.

Deve-se a Matteucci uma experiencia em que este phenomeno se demonstra. Construiu uma pilha de laminas delgadas de mica, sobrepostas e fortemente comprimidas umas contra as outras, e depois de ter collocado em contacto com as faces extremas da pilha dois conductores metallicos, fez communicar um com a machina electrica em actividade e o outro com o solo. Tendo separado no fim de algum tempo as laminas reconheceu que estavam todas carregadas de modo permanente de electricidade negativa na face voltada para a fonte electrica e de electricidade positiva na face opposta. Deve advertir-se que n'esta experiencia e n'outras analogas a manifestação da electricidade n'um corpo mau conductor não é devida á communicação directa de electricidade do conductor, nem vice-versa. Com effeito, electrizando pela fricção um bolo de resina e collocando sobre elle um prato metallico sustentado por um cabo isolador, reconhece-se pela approximação de um corpo electrizado que a face superior do prato está carregada de fluido negativo como o bolo, ao passo que a face em contacto com este está electrizada positivamente.

Se se prolonga todavia por muito tempo o contacto de um corpo electrizado com um corpo isolador, os phenomenos de indução deixam de manifestar-se e dá-se então a transmissão directa da electricidade. Esta transmissão faz-se lentamente e verifica-se em toda a massa do corpo isolador. Assim, electrizando por meio de uma machina electrica um cubo de spermaceti ou de stearina e lavando-o depois em alcool, o que lhe tira toda a electricidade, observa-se que passado algum tempo o corpo manifesta de novo vestigios de electricidade, que sem duvida existia no interior do cubo, d'onde caminhou lentamente para a peripheria.

573. *Combinação das electricidades contrarias a distan-*

cia; fuisca e suas propriedades.— Nas experiencias citadas no n.º 570, as electricidades contrarias accumuladas nas partes fronteiras da machina e do cylindro conductor tendem a combinar-se em virtude da attracção reciproca que anima os dois fluidos, mas a esta força acreesce a tensão de cada um d'elles que, actuando separadamente, tenderia a fazel-os escapar através do ar em sentidos oppostos. Apesar porém d'estas duas influencias obrando no mesmo sentido e que portanto se sommam, a combinação não se produz e as electricidades são mantidas uma em presença da outra pela pressão e má conductibilidade do ar; porém se a distancia diminuir ou a tensão dos fluidos electricos augmentar, estes pela sua reciproca attracção vencem a distancia que os separa e recompõem-se através do ar, produzindo uma *faisca* ou *centelha* acompanhada de um estalido mais ou menos forte. Se a influencia cessa então, o cylindro A conserva sómente o fluido positivo, porque o negativo se combinou com o positivo da machina produzindo o fluido neutro; mas se a influencia continua, nova decomposição de fluido neutro se verifica, e d'ahi a combinação dos dois fluidos oppostos da machina e do cylindro e portanto uma nova *faisca*.

Iguaes phenomenos se verificam quando se apresentam as juntas dos dedos a um corpo fortemente electrizado, porque este, decompondo a electricidade neutra da mão, attrahe o fluido contrario com que se combina, dando origem a uma *faisca*, e repelle para o solo através do corpo o fluido do mesmo nome.

A *faisca electrica* é pois o resultado da combinação dos dois fluidos oppostos operada através do ar.

A intensidade da *faisca* depende da distancia que separa os dois fluidos electricos contrarios, da tensão d'estes fluidos, da fórma dos corpos em que se manifesta, do seu poder conductor e da maior ou menor resistencia do meio ambiente.

Assim, suppostas todas as outras circumstancias iguaes, a *faisca* é tanto mais intensa quanto mais proximos estiverem os dois fluidos e quanto maior for a sua tensão. Quanto mais largas forem as superficies oppostas dos corpos em presença,

tanta mais intensidade terá também a fiação, porque as quantidades de fluidos que se separam por indução augmentam com as dimensões dos corpos. É também evidente que a intensidade da fiação deve variar com a conductibilidade dos corpos; assim a intensidade será tanto maior quanto maior for a conductibilidade do corpo e também conforme este estiver ou não isolado. Assim, se se aproxima de uma fonte electrica um corpo bom conductor isolado, a fiação é distincta mas pequena, se pelo contrario está em comunicação com o solo, a fiação é mais energica e mais extensa em consequencia do fluido accumulado por influencia ser em maior quantidade (§70); no caso de corpos maus conductores a influencia reduz-se a polarisar todas as suas moleculas, como já vimos, havendo ainda na parte visinha da fonte electrica electricidade contraria á d'ella, mas localisada nos differentes elementos do corpo, e portanto, em vez de uma fiação, produzem-se differentes fiações de fraca intensidade. Emfim, como a tensão da electricidade é tanto maior quanto maior é a resistencia opposta pela atmosphaera ambiente, é claro que a intensidade da fiação varia com aquella resistencia.

A fórma da fiação é variavel. Assim quando vence pequenas distancias caminha em linha recta, produzindo um traço luminoso, mas quando se dirige a grandes distancias tem a fórma de uma linha sinuosa e irregular, ás vezes ramificada; e emfim se a descarga é forte, a fiação descreve angulos mais ou menos agudos, formando traços luminosos em zig-zag. Estas duas ultimas fórmas são as que se observam nas descargas das nuvens carregadas de electricidade. A côr varia da purpura ao branco azulado mais ou menos brilhante, e depende da conductibilidade dos corpos entre que se manifesta e da atmosphaera que atravessa; no vacuo a fiação tem uma côr violacea e é pouco intensa e continua.

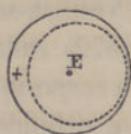
D'estas propriedades e das experiencias que n'ellas se fundam, bem como de outras propriedades que a fiação electrica também possui, taes como propriedades calorificas, mechanicas, chemicas e physiologicas, trataremos mais detidamente adiante.

No estado actual da sciencia não se sabe ainda qual a direcção que segue a faisca electrica, isto é, qual é o ponto d'onde parte e aquelle para onde se dirige, assim como se ignora igualmente qual a causa da luz e do ruído que a acompanha.

§74. *Movimentos electricos.*—Os movimentos que se passam em presença da electricidade, taes como as attracções e as repulsões dos corpos leves, como já vimos, e aquelles que se observam nos pendulos electricos pela approximação de qualquer corpo electrizado, são phenomenos de influencia electrica. Estudal-os-hemos successivamente nos corpos bons conductores e nos maus conductores da electricidade.

A) *Corpos bons conductores.*—Consideremos, por exemplo, um pendulo conductor isolado e submettido á acção de um corpo electrizado. Podemos distinguir tres casos:

1.º Suppunhamos o corpo fixo carregado de qualquer especie de electricidade e o pendulo no estado natural. O fluido neutro do pendulo é decomposto por influencia, o fluido do mesmo nome é repellido e o de nome contrario attrahido pelo do corpo, e como esta attracção predomina sobre a repulsão exercida entre os fluidos do mesmo nome, o pendulo aproxima-se do corpo conductor.

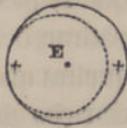


(Fig. 343)

2.º Seja E (fig. 343) um corpo conductor carregado de fluido positivo, por exemplo, e e um pendulo electrico collocado a algu-

ma distancia e carregado de fluido do mesmo nome. Os dois fluidos, depois de accumulados nas superficies mais afastadas dos dois corpos, repellem-se e d'ahi o desvio do pendulo em sentido opposto ao do corpo electrizado. Mas approximando o pendulo e até e' produzir-se-ha uma nova decomposição do fluido neutro n'elle existente, e d'ahi a accumulção em a' do fluido negativo e em b' do fluido positivo. A repulsão do fluido positivo predomina ainda sobre a attracção exercida sobre o fluido negativo, mas em rasão do fluido positivo existir a uma maior distancia do corpo inductor, é claro que haverá uma posição para e , em que a attracção e a repulsão sejam

iguaes, e n'estas circumstancias o pendulo ficará em equilibrio e se a partir d'esta posição a aproximação continua, a attracção predominará sobre a repulsão e o pendulo approximar-se-ha do corpo electrizado.



(Fig. 344)

3.º Consideremos agora o corpo E (fig. 344) electrizado positivamente e o pendulo e carregado de electricidade negativa. Os fluídos

accumular-se-hão sobre as faces fronteiras dos dois corpos em virtude da força que os attrahe, e por consequente o pendulo approximar-se-ha de E ; mas á medida que esta aproximação se effectua, o corpo E decompõe por influencia o fluido neutro de e , e a accumulção do fluido negativo augmenta e portanto tambem a sua força attractiva. A bala e do pendulo é pois attrahida até o contacto, mas logo depois é repellida, como no caso precedente, em consequencia de se ter carregado de fluido positivo.

B) Corpos maus conductores.—Devem distinguir-se dois casos:

1.º Se um pendulo mau conductor e no estado natural é collocado em presença de um corpo electrizado, verifica-se primeiro a decomposição polar, que já estudámos (572), cada molecula adquire o fluido de nome contrario ao do corpo inductor na extremidade mais approximada d'elle e o fluido do mesmo nome na extremidade opposta. Cada uma das moleculas é pois separadamente attrahida pelo corpo inductor e por consequencia o seu conjuncto, isto é, o pendulo, aproxima-se d'aquelle corpo. Mas depois do contacto não ha repulsão immediata, como no caso dos corpos bons conductores, porque a electricidade de que o pendulo está carregado não desaparece rapidamente (573); passado tempo carrega-se por communicação directa da mesma electricidade do corpo inductor e então dá-se a repulsão.

2.º Se o pendulo está electrizado, é repellido ou attrahido pelo corpo electrizado conforme a sua electricidade é do mesmo nome ou de nome contrario á d'este.

575. *Electroscopio de balas de sabugueiro.*—O electroscopio de balas de sabugueiro (fig. 345), fundado na electrificação por influencia, é mais proprio do



(Fig. 345)

que o pendulo electrico para reconhecer se um corpo está electrificado e para conservar por muito tempo a electricidade que se lhe communica. Este apparatus é constituido por uma campanula de vidro assente sobre um prato metallico em communição com o solo e apresentando superiormente uma tubuladura munida de

uma rolha atravessada por uma haste metallica. Esta haste é terminada exteriormente por uma esphera e na parte interna por dois colchetes a que estão fixos dois fios metallicos, cada um dos quaes sustenta uma bala de sabugueiro, *A* e *B*. A parte superior dacampanula, bem como a rolha, está revestida por uma camada de gomma laca, que tem por fim impedir que o vapor aquoso se condense sobre o vidro, e para que o ar se conserve tambem perfeitamente secco no interior da campanula deve existir sobre o prato inferior uma capsula contendo chlorureto de calcio ou cal viva. Para reconhecer por meio d'este electroscopio se um corpo está electrificado, basta approximal-o da esphera exterior do apparatus; se o corpo está effectivamente electrificado, a electricidade decompondo o fluido neutro da esphera e das hastes metallicas attrahe o fluido de nome contrario, repellindo para as balas de sabugueiro o fluido do mesmo nome, e em consequencia d'isto as duas balas divergem; no caso contrario as balas não se movem.

Quando se pretende saber qual a especie de electricidade de que um corpo está carregado, deve primeiro communica-se ao apparatus uma electricidade conhecida, approxinando por exemplo a pequena distancia da esphera um cylindro de vidro electrificado; a electricidade positiva do vidro, decompondo por influencia a electricidade neutra da esphera e haste metallica, attrahe a negativa para a esphera e repelle a positiva para as

balas de sabugueiro, que por conseguinte se afastam. Se se toca então a esphera com um dedo, a electricidade positiva esgota-se para o solo e as balas approximam-se; e retirando o dedo e em seguida o corpo influenciador o electroscopio fica carregado de electricidade negativa e as balas de sabugueiro divergem novamente. Portanto, quando se approximar da esphera ou botão do electroscopio assim preparado um corpo electrizado negativamente, este repellirá a electricidade negativa do electroscopio para as balas de sabugueiro, que por conseguinte augmentarão a sua divergencia, e se o corpo apresentado ao aparelho estiver electrizado positivamente, produzir-se-ha o effeito contrario. O augmento ou diminuição na divergencia das balas de sabugueiro fará pois conhecer a especie de electricidade de que está carregado qualquer corpo que se approxima ao aparelho. Deve comtudo notar-se que um corpo no estado natural pôde produzir, como um corpo electrizado positivamente, a aproximação das balas de sabugueiro. É portanto necessario, quando este effeito se produzir, reconhecer se o corpo está effectivamente electrizado descarregando-o da sua electricidade, se é que a tinha, para o que basta tocar-o com o dedo. Se as balas se afastam, conclue-se que o corpo estava effectivamente electrizado positivamente. Um corpo electrizado positivamente tambem pôde em consequencia de muito approximado da esphera, produzir o contacto das duas balas, e operar em seguida uma nova decomposição de fluido neutro do aparelho e fazer divergir as balas. Como isto pôde induzir em erro, é conveniente fazer sempre duas experiencias, carregando o electroscopio primeiro positiva e depois negativamente.

A fim de evitar os erros que se commetteriam se os conductores moveis e as balas de sabugueiro communicassem a electricidade ao vidro das paredes da campanula, onde a electricidade se conservaria por muito tempo, ha no interior d'esta junto das paredes duas pequenas columnas terminadas por espheras, diametralmente oppostas e assentes sobre o prato inferior do aparelho.

Os dois conductores moveis e as balas de sabugueiro podem

ser substituidos por duas folhas de oiro ou por duas palhas, e o aparelho toma então o nome de electroscopio de folhas de oiro ou de palhas.

SECÇÃO IV

Machinas electricas

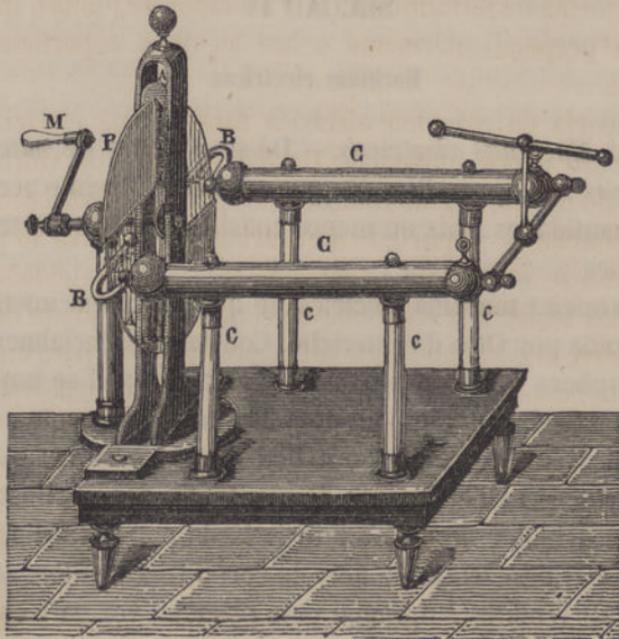
576. *Machinas electricas*.—Dá-se o nome de *machinas electricas* aosapparelhos em que se desenvolvem e accumulam quantidades mais ou menos consideraveis de electricidade statica.

A primeira machina electrica de que ha conhecimento foi construida por Otto de Gueriche. Constava essencialmente de uma esphera de enxofre fixa a um eixo, ao qual se imprimia movimento de rotação com uma das mãos enquanto a outra se applicava sobre o globo: o attricto d'este contra a mão desenvolvia electricidade. O globo de enxofre foi depois substituido por um cylindro de resina e mais tarde por um cylindro de vidro, servindo sempre a mão de corpo friccional, até que em 1740 Winkler empregou pela primeira vez para este fim uma almofada de crina forrada de seda. Depois este apparelho foi-se successivamente aperfeiçãoando, até que Ramsden em 1766 substituiu ao cylindro de vidro um prato circular da mesma substancia que se electrifava pela fricção contra quatro almofadas. Desde então as machinas electricas adquiriram a fórma que hoje mais geralmente se lhes dá nas suas partes essenciaes.

Todas as machinas electricas constam de duas partes essenciaes: um apparelho *gerador* da electricidade e um apparelho *accumulador* ou *reservatorio* do fluido electrico.

577. *Machina electrica ordinaria*.—A machina electrica mais ordinariamente empregada (fig. 346) compõe-se de um disco ou prato circular de vidro *P*, que posto em movimento de rotação por meio de uma manivella *M* em torno de um eixo que atravessa o seu centro, se electrifica pela fricção contra dois pares de almofadas *A, A*, que estão fixos entre dois montantes verticaes solidamente assentes sobre uma mesa de

madeira. As almofadas, formadas por um pedaço de madeira coberto de crina e forrado de couro, são conveniente guarnecidas de folhas metallicas, e estão fortemente applicadas sobre



(Fig. 346)

o prato de vidro por meio de molas, e a fim de augmentar o desenvolvimento da electricidade são polvilhadas com oiro mussivo (bisulfureto de estanho), ou com uma amalgama de estanho, zinco e bismutho¹, depois de untadas ligeiramente com sebo. Adiante do disco de vidro e sobre quatro columnas de vidro *c, c, c, c* estão convenientemente isolados dois cy-

¹ O modo de obrar d'estas substancias como activando o desenvolvimento da electricidade depende talvez de uma acção chimica, como o indica o cheiro sulfuroso que as almofadas exhalam durante o attrito quando se emprega o bisulfureto de estanho. Comtudo mr. Ed. Becquerel, sem negar de um modo absoluto a acção d'esta causa, admite que o estado molecular dos corpos friccionados tem uma grande influencia nos effeitos produzidos, porque verificou pela experiencia que os corpos reduzidos a pó e macios ao tacto, como o oiro mussivo, talco, a plumbagina, a flor de enxofre, etc., desenvolvem muita electricidade pela fricção.

lindros ôcos de latão *C, C*, denominados *conductores*, os quaes communicam entre si por uma haste transversal e terminam do lado do disco por dois ramos de menor diametro recurvados em fôrma de ferradura *B, B*, e armados de pontas, que se dirigem perpendicularmente sobre as duas superficies do disco *P*.

A theoria da machina electrica funda-se na electrisação por fricção e por influencia. De feito o disco de vidro, em virtude do movimento de rotação, electrisa-se pela fricção contra as almofadas adquirindo a electricidade positiva ao passo que estas se electrizam negativamente. A electricidade das almofadas tenderia a combinar-se com a electricidade opposta do vidro, mas á medida que se desenvolve passa para uma régua metallica existente ao longo dos montantes, a qual se põe em communicação com o solo por meio de uma corrente; e a electricidade positiva do vidro actuando sobre os conductores decompõe por influencia o fluido neutro d'estes, attrahindo o fluido negativo, que, esgotando-se pelas pontas (567) se neutralisa com o do disco, e deixa sobre os conductores *C, C* a electricidade positiva. Ora como a electricidade das almofadas *A, A* se esgota e a do disco *P* se neutralisa á medida que se desenvolvem, resulta que os conductores vão-se successivamente carregando de electricidade positiva que n'elles se accumula. A carga da machina não augmenta porém indefinidamente, porque, supposto mesmo que não houvsse perda de electricidade, o limite maximo da carga realisar-se-ia quando a tensão sobre os conductores contrabalançasse a acção por influencia da electricidade do prato. Mas de mais este limite nunca é attingido em consequencia das perdas de electricidade que se produzem: 1.º, pelo ar e pelo vapor de agua que elle contém; 2.º, pelos supportes; 3.º, pela recomposição de uma parte dos fluidos oppostos das almofadas e do vidro.

A fim de attenuar a perda de electricidade pelo ar humido, o qual actua sobre o disco de vidro e sobre os conductores, costuma aquecer-se previamente as differentes partes da machina e revestir cada um dos quadrantes do prato de vidro, mas sem lhe tocar, de um envolucro de tafetá envernizado. E

para diminuir tambem, tanto quanto possivel, a influencia da terceira causa deve a communicação da regua existente ao longo dos montantes com o solo ser perfeitamente estabelecida.

A machina electrica que acabámos de descrever desenvolve ordinariamente electricidade positiva, mas póde tambem fazer-se-lhe adquirir a electricidade negativa, isolando os quatro pés da mesa sobre supports espessos de vidro e estabelecendo a communicação dos conductores *C*, *C* com o solo e pelo contrario fazendo cessar a das almofadas com este. N'estas circumstancias a electricidade positiva dos conductores dirige-se para o solo emquanto que a electricidade negativa das almofadas se espalha nos montantes e na mesa. Approximando então as mãos dos montantes vê-se que se produzem faiscas, indicio da presença da electricidade.

578. *Electrometro de quadrante ou de Henley*.—A tensão da electricidade desenvolvida nas machinas electricas avalia-se por meio do *electrometro de quadrante* ou de *Henley* (fig. 347). Este pequeno aparelho consiste n'um pen-

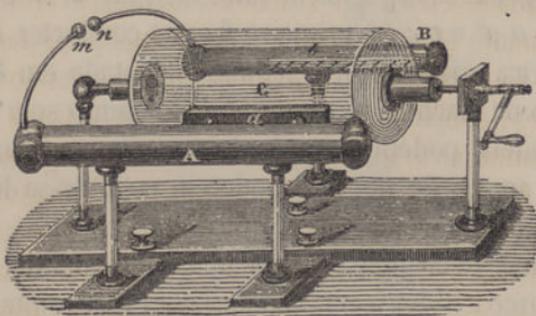


(Fig. 347)

dulo cuja haste de madeira *a*, destinada a fixal-o sobre os conductores da machina, sustenta um semi-circulo graduado de marfim, ao centro do qual está fixa por meio de uma agulha de barba de baleia uma pequena esphera de medulla de sabugueiro *e*. Quando a machina electrica está em actividade o pendulo afasta-se da vertical, formando com esta linha um angulo tanto maior quanto mais forte é a tensão, cessando de divergir quando a machina attinge a tensão maxima. Se se pára então com o movimento de rotação da machina, a agulha cáe rapidamente se o ar estiver humido e lentamente no caso contrario.

579. *Machina electrica de Nairne*.—A machina electrica de Nairne (fig. 348) produz ao mesmo tempo as duas especies de electricidade. É constituida por dois conductores isolados *A* e *B* que não communicam entre si: um sustenta as almofadas *a* e o outro está armado de pontas *b*. Entre os dois conductores está um cylindro grande de vidro *C*, que em con-

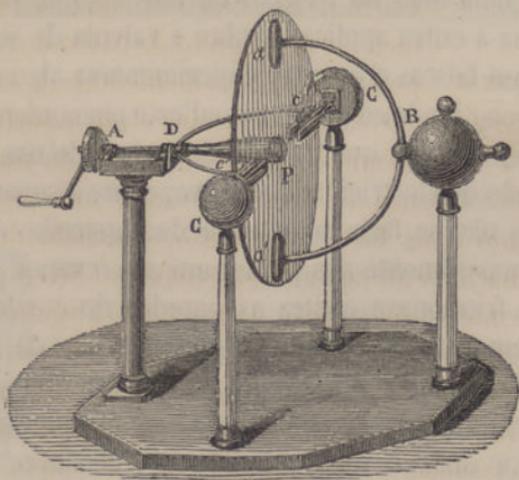
sequencia do movimento de rotação que se lhe imprime por meio de uma manivella, se electriza pela fricção nas almofadas *a*, descarregando-se da electricidade desenvolvida em



(Fig. 348)

presença das pontas *b*. O conductor que sustenta as almofadas electriza-se negativamente e o que está armado de pontas carrega-se de electricidade positiva. Assim, aproximando as esferas *m* e *n* das hastes que partem dos conductores obtém-se uma serie de faiscas provenientes da recomposição dos dois fluidos.

580. *Machina electrica de Van Marum*.—O physico hollandez Van Marum inventou uma machina que pôde dar, se-



(Fig. 349)

gundo se pretender, a electricidade positiva ou negativa. Esta machina (fig. 349) é formada por um disco de vidro *P*, fixo

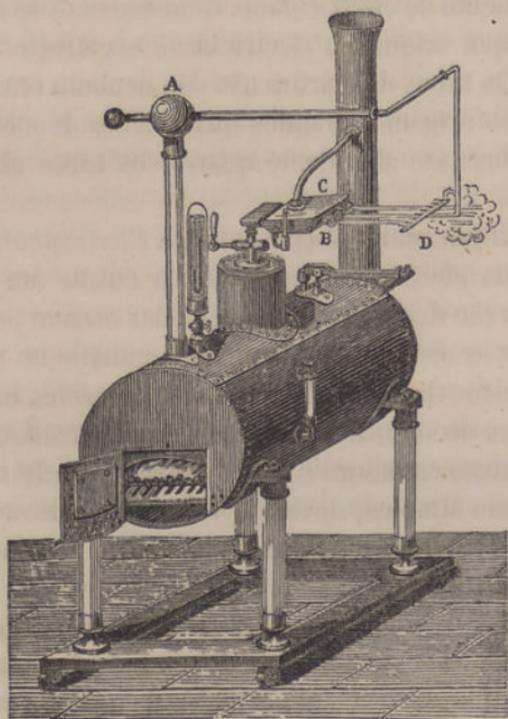
a uma das extremidade de um eixo horisontal $A D P$ sustentado por uma columna de madeira, e equilibrado na extremidade opposta por uma massa A , o qual gira entre quatro almofadas ligadas ás esferas de latão isoladas C, C . Dois arcos metallicos $a a'$ e $c c'$, o primeiro fixo ao conductor B de fórma espherica e isolado, e o segundo adaptado em D ao eixo de rotação da machina e communicando com o solo por meio de uma cadeia, podem mover-se livremente em torno do seu ponto de apoio, de modo a poderem collocar-se horisontal ou verticalmente, conforme se quizer.

A machina pôde pois funcconar de dois modos: 1.º, colloca-se o arco $c c'$ horisontalmente e por consequente fazem-se communicar as almofadas com o solo, e dispõe-se o arco $a a'$ verticalmente; n'este caso o conductor B carrega-se de electricidade positiva como a machina ordinaria; 2.º, dirige-se o arco $a a'$ horisontalmente e colloca-se o arco cc' na posição vertical; a electricidade das almofadas accumula-se sobre o conductor, que fica electrizado negativamente.

581. *Machina hydro-electrica de Armstrong*.— Em 1839 um mechanico inglez, chamado Patterson, encarregado de dirigir uma machina de vapor perto de Newcastle, notou que collocando uma mão no trajecto de um jacto de vapor, emquanto tinha a outra applicada sobre a valvula de segurança, se produziam faiscas e o corpo experimentava alguns abalos. Mr. Armstrong tendo conhecimento d'este phenomeno, reproduziu-o e reconheceu que o vapor desenvolvido nas caldeiras era carregado de electricidade positiva, e que a separação dos dois fluidos não se fazia no interior do aparelho durante a ebullição, mas sómente nos pontos em que o vapor saindo da caldeira se friccionava contra as paredes do conducto. Mr. Faraday demonstrou depois que o vapor não dá origem á electricidade quando está *secco*, emquanto que a produz quando arrasta pequenas gotas de agua, porque aquecendo os tubos por onde o vapor sáe não se reconhece o menor vestigio de electricidade.

Fundado n'estas propriedades do vapor de agua mr. Armstrong fez construir a sua machina hydro-electrica. Esta ma-

china (fig. 350) compõe-se de uma caldeira de vapor de fornalha interior, isolada sobre quatro pés de vidro e munida das suas diferentes peças, a qual se enche de agua distillada.



(Fig. 350)

O vapor sae da caldeira através dos orificios *B*, depois de ter sido resfriado n'uma caixa *C* cheia de agua, que está representada á parte na figura 351, e de ter atravessado uns tu-

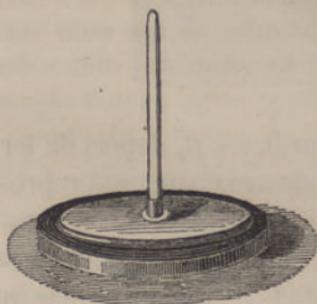


(Fig. 351)

bos ligeiramente conicos de madeira dura e recurvados na extremidade para augmentar o attricto. O vapor, saindo da caldeira com uma força de seis a oito atmospheras e depois de condensado em parte na caixa *C*, carrega-se de electricidade positiva, pelo attricto das pequenas gotas de liquido contra os orificios *B*, adquirindo estes a electricidade negativa. Aquella electricidade é recebida sobre as pontas *D* de um conductor *A* convenientemente isolado. O desenvolvimento da electricidade e a especie de fluido que o jacto de vapor

adquire dependem da natureza dos liquidos contidos na caldeira e da substancia dos tubos de esgoto. Assim a agua ordinaria ou contendo em dissolução alguns saes não produz desenvolvimento de electricidade. Com as essencias e materias gordas o vapor adquire a electricidade negativa e a caldeira a positiva. Os tubos de marfim não dão nenhum resultado, os de metal dão origem a grandes quantidades de electricidade e esta é sobretudo abundante quando os tubos são de madeira.

582. *Multiplicadores electro-staticos. Electrophoro.*— Alem das machinas electricas descriptas, ha outras em que uma pequena porção de electricidade póde dar origem por influencia e inducção electrica a quantidades indefinidas de electricidade e mesmo das duas electricidades oppostas. Estes apparatus podem denominar-se, em geral, *multiplicadores electro-staticos*. O mais commum é o *electrophoro*, machina electrica extremamente simples, devida a Volta e que de ordinario se emprega nos laboratorios chimicos quando se pretende inflamar uma mistura gazosa.



(Fig. 352)

O *electrophoro* (fig. 352) é composto de um bolo de resina contido n'um molde de madeira ou de metal e de um disco conductor delgado munido de um cabo isolador, podendo o disco ser metallico ou de madeira revestido por uma folha de estanho. Para se obter a electricidade com este apparatus, depois de seccar cuidadosamente o bolo

de resina e o disco conductor, electriza-se o primeiro batendo-o fortemente com uma pelle de gato e applica-se-lhe em seguida o disco conductor, o qual assentando sobre o bolo por um pequeno numero de pontos, se póde considerar separado d'este por uma tenue camada de ar, de sorte que a electricidade do bolo de resina obra por influencia sobre o disco. O disco carrega-se pois por influencia, positivamente na base e negativamente na parte superior. No fim de certo

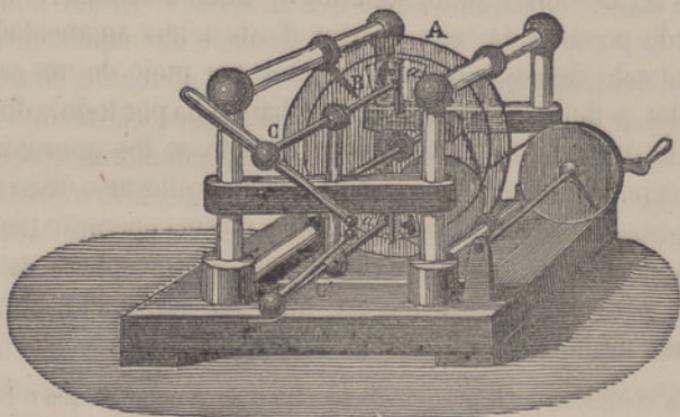
lapso de tempo deve haver entre as duas faces do disco um plano neutro, cujo fluido positivo seja igualmente attrahido pelo negativo da face superior e pela differença entre o negativo do bolo e o positivo da face inferior do disco. D'aqui se conclue que o fluido negativo do bolo de resina está em excesso.

Tocando com a mão a face superior do disco rouba-se-lhe a electricidade negativa, e então as duas electricidades, positiva da base do disco e negativa da face superior do bolo, não tendo acção sobre a parte superior do disco é necessario que o fluido positivo da base inferior d'este tenha augmentado. Levantando depois o disco conductor por meio de um cabo isolador, o fluido positivo livre espalhar-se-ha por todo o disco e pôde dar uma ou mais faiscas, quando se lhe aproxima um corpo conductor. Tornando de novo a collocar o disco sobre o bolo de resina pôde-se repetir a mesma operação tantas vezes quantas se queira, sempre que a atmospherá esteja secca, podendo o electrophoro, uma vez carregado, servir durante muito tempo.

Para completar a theoria do electrophoro deve notar-se que o bolo, em virtude de uma acção molecular particular, se tem electricisado negativamente na parte superior e positivamente na base, o que determina a decomposição do fluido neutro do molde que o contém, o qual fica com a electricidade negativa, se não está isolado, indo para o solo a positiva. Se o aparelho se colloca sobre um suporte isolador, a electricidade do molde que contém a resina deve ser negativa na parte que está em contacto com a resina. Collocando o disco conductor sobre a resina produz-se, em virtude da reacção, uma nova decomposição na resina e portanto no molde, e deve haver fluido positivo na sua base, o que se pôde verificar experimentalmente. Se este fluido se pôde esgotar, o resultado deve ser necessariamente augmentar a decomposição sobre o bolo de resina e portanto sobre o disco conductor. Se depois se toca o disco conductor, o fluido negativo d'este desaparece, e, ficando só o fluido positivo, opera-se uma nova decomposição na resina e no molde que a contém, indo o fluido positivo accumular-se na base do molde, o que se pôde ainda verificar. Finalmente, se depois de ter feito desaparecer o fluido positivo livre do molde, se levanta o disco conductor carregado de electricidade positiva, destroe-se assim a influencia que elle exercia sobre a resina e o molde e torna-se livre o fluido negativo do molde, como se pôde demonstrar.

Se durante esta experiencia, desde que se colloca o disco conductor sobre o bolo de resina, o molde se tivesse conservado isolado, o disco carregar-se-ia medianamente, porque a acção do fluido positivo do molde contrabalançaria em parte a acção do fluido negativo da resina. É por esta rasão que convem ter o molde, que contém a resina, em comunicação com o solo.

583. *Multiplicador de Holtz.*—Holtz, physico allemão, inventou em Berlim, no anno de 1865, uma machina que funciona como um electrophoro continuo. A machina electrica de Holtz (fig. 353) compõe-se de dois discos de vidro pa-



(Fig. 353)

rallelos *A* e *B*, com os centros á mesma altura, os quaes distam entre si tres a quatro millimetros, sendo o maior *A* fixo e sustentado por aneis de madeira a quatro hastes isoladoras de vidro, sustidas por supportes da mesma substancia e o menor *B*, movel em torno de um eixo horisontal, que o atravessa na parte central, por intermedio de um systema de rodas, cordões sem fim e uma manivella. No disco *A* estão praticadas duas grandes fendas *a* e *a'*, nos extremos de um diametro, e n'um dos bordos de cada uma estão collocadas tiras de papel envernizado, talhadas geralmente em ponta dirigida para o meio da abertura. Em frente das tiras de papel e a pequena distancia estão dois pentes metallicos fixos nos extremos de dois conductores metallicos isolados *C* e *C'*, dos quaes os outros extremos podem approximar-se ou afastar-se segundo convem. O disco *B* move-se entre o disco *A* e os pen-

tes metallicos, regulando-se a distancia, que ha entre estes e o disco *A*, de modo que permitta o movimento do disco *B*.

A tira de papel da fenda *a* carrega-se previamente com electricidade positiva ou negativa, tocando-a com o vidro ou resina friccionados. O fluido, que a tira de papel contém, attrahe o contrario sobre o pente que lhe fica fronteiro, repellindo o fluido do mesmo nome para o conductor *C*, que o conserva. E o fluido que se esgota pelo pente é arrastado pelo movimento do disco *B*, e chegando em frente do outro pente, attrahe o fluido de nome contrario a fim de voltar ao estado neutro, ficando o conductor *C'* com electricidade de nome contrario á que contém o conductor *C*. Assim a continuação do movimento produzirá indefinidamente os mesmos resultados, obtendo-se por meio d'esta machina em conductores separados quantidades indefinidas de electricidades positiva e negativa. A outra tira de papel *a'* póde ter sido carregada previamente com electricidade opposta áquella com que se carregou a tira *a*, tornando-se a seu turno origem de novo desenvolvimento de electricidade. As fendas do prato fixo têm por fim impedir que toda a sua superficie se electrise do mesmo modo.

N'esta machina uma pequena quantidade de electricidade fornecida á machina no começo da experiencia multiplica-se extraordinariamente emquanto o movimento do disco *B* continua. Porém depois d'este cessar a machina não póde de novo entrar em actividade sem se electrizar alguma ou ambas as tiras de papel. Alem d'este inconveniente a machina de Holtz resente-se muito da humidade.

Mr. Carré remediou o primeiro d'estes inconvenientes, inventando uma machina que chamou *dielectrica*, a qual é o resultado da combinação da machina electrica ordinaria com a machina de Holtz. Compõe-se a machina de Carré de dois discos ambos moveis por meio de roldanas, cordões sem fim e uma só manivella. Um dos discos é de cautchuc endurecido, friccionado por um par de almofadas, de sorte que se electriza positivamente; o outro disco é de vidro e funciona de multiplicador como o disco movel da machina de Holtz, girando rapidamente em frente de dois pentes que communicam com

dois conductores metallicos. O disco multiplicador cobre uma grande parte do disco gerador. A machina de Carré funciona semelhantemente á de Holtz, resentindo-se menos da humidade. As machinas de Holtz e Carré são consideravelmente mais energicas que as machinas antigas, produzindo entre os dois conductores contrarios faiscas quasi continuas á distancia de 15 a 20 centimetros. Porém a electricidade é produzida á custa do trabalho despendido em fazer girar o disco multiplicador, porque, como demonstrou mr. Cazin, o trabalho necessario para fazer girar o multiplicador de Holtz augmenta consideravelmente quando os conductores estão proximos, de modo que se produzam faiscas. A electricidade é pois, como o calor, o resultado de uma transformação de trabalho.

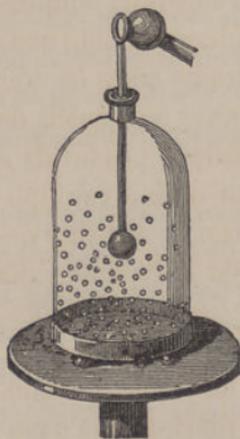
584. *Experiencias diversas que podem fazer-se com a machina electrica.*—Com a machina electrica podem praticar-se diferentes experiencias, cuja explicação se funda nos principios que ficam estabelecidos; taes são a do banho electrico, a da saraiva, a do torniquete, e a do carrilhão electrico.

1.º *Banho electrico.*—Quando um individuo convenientemente isolado sobre um tamborete de pés de vidro se colloca em communicação, por meio de uma das mãos por exemplo, com a machina electrica em actividade, diz-se estar n'um *banho electrico*.

O corpo humano em taes circumstancias produz phenomenos identicos aos que se obtêm com a propria machina, em consequencia da sua conductibilidade. Assim tocando-o na face, nas mãos ou nos vestidos, etc., obtêm-se faiscas, e o individuo experimentarâ contracções subitas e involuntarias; e quando se lhe approxima um conductor terminado em ponta, experimenta a sensação de uma corrente aerea fresca e leves picadas. Emfim, se o individuo que está no banho electrico approximar uma das juntas dos dedos a uma porção de ether sulphurico contido n'uma capsula, a faisca que então salta do corpo inflamma este liquido.

2.º *Saraiva.*—Esta experiencia pratica-se com o apparelho (fig. 354), que é composto de uma campanula de vidro, assente sobre uma base metallica e atravessada na parte supe-

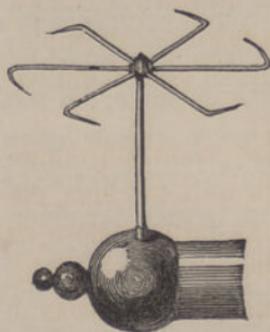
rior por uma haste de latão, que termina internamente por uma esphera da mesma substancia e externamente por um anel.



(Fig. 354)

Sobre o fundo metallico collocam-se algumas balas de sabugueiro e põe-se o apparelho, por meio do anel, em contacto com a machina electrica em actividade. A esphera metallica, electrisada por estar em comunicação com a machina, attrahe, e em seguida repelle as balas de sabugueiro. Estas movem-se pois com grande velocidade do fundo da campanula para a esphera e d'esta para o fundo, ao qual cedem a electricidade recebida da esphera para de novo serem attrahidas e em seguida repellidas, e assim successivamente.

Volta fundava-se n'esta experiencia para explicar a formação e os movimentos de que suppunha animados os grãos de saraiva entre duas nuvens diversamente electrisadas. Esta hypothese não é hoje admittida.



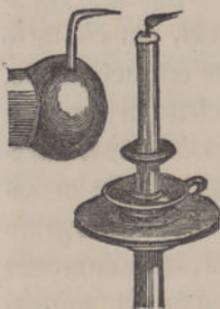
(Fig. 355)

3.º *Torniquete electrico*—*Vento electrico*.— A experiencia conhecida pelo nome de *torniquete electrico* funda-se no esgoto da electricidade pelas pontas. O apparelho empregado para a praticar (fig. 355) é constituido por diversas hastes de cobre terminadas em ponta e fixas pela parte media sobre uma chapa metallica inferiormente excavada, a qual póde girar sobre uma haste vertical

adaptada a um dos conductores da machina electrica. Apenas se põe a machina em actividade, as hastes que terminam em ponta principiam a girar em torno da haste vertical em sentido opposto ao das pontas. Este movimento é devido á repulsão entre a electricidade accumulada nas pontas e a que estas communicam ao ar ambiente.

Depende igualmente do poder das pontas a experiencia do *vento electrico*, de que já fallámos (367) e que consiste em

aproximar de uma ponta, fixa sobre a machina electrica em actividade (fig. 356), uma vèla accesa, cuja chamma se desvia e pôde mesmo apagar-se em consequencia do esgoto da electricidade pela ponta. Esta experiencia pôde variar-se collocando a vèla sobre um dos conductores da machina e approximando-se uma ponta da chamma.



(Fig. 356)

4.º *Carrilhão electrico.* — Este apparelho (fig. 357) consta de tres campainhas iguaes suspensas a uma haste horisontal, da parte media da qual parte um ramo vertical que se põe em communicacão com a machina. A campainha media está suspensa por meio de um fio de seda e em communicacão com o solo por intermedio de uma cadeia metallica, e as duas outras estão fixas á haste horisontal por correntes metallicas.



(Fig. 357)

Emfim entre as campainhas lateraes e a media e á mesma altura que ellas, estão suspensas por fios de seda duas pequenas espheras de cobre. Pondo este apparelho em communicacão com a machina electrica em actividade, as campainhas lateraes electrizam-se positivamente e, em consequencia d'isto, attrahem as espheras de cobre, as quaes em seguida são repellidas depois do contacto e attrahidas então pela campainha media que, em virtude da influencia das duas outras, está carregada de electricidade negativa. Chegando ao contacto, as espheras são tambem repellidas pela campainha media e attrahidas portanto pelas duas outras, e assim successivamente. D'estas attracções e repulsões successivas resulta a producção de differentes sons e d'ahi o nome por que é conhecido este apparelho.

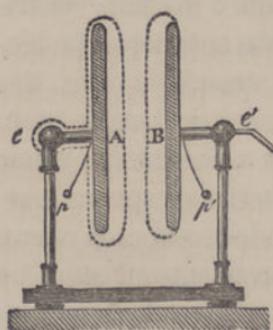
SECÇÃO 5.ª

Condensação da electricidade

585. *Condensador, sua theoria.* — Dá-se o nome de *condensadores* a diversos apparelhos por meio dos quaes se accumu-

lam ou *condensam* quantidades consideraveis de electricidade sobre superficies relativamente pequenas. Antigamente denominava-se *latente* ou *dissimulada* a electricidade assim condensada.

A figura 358 representa o condensador chamado de lamina de ar. Compõe-se de dois discos ou pratos metallicos *A* e *B*,



(Fig. 358.)

isolados e munidos de pendulos *p* e *p'*. Os discos podem approximar-se mais ou menos um do outro, e por isso as hastes isoladoras são moveis ao longo de uma régua, fixando-se nas posições convenientes por meio de parafusos. Em vez de separados por uma lamina de ar podem os dois discos estar separados por uma lamina de vidro, resina ou outra substancia isoladora. No condensador de

Æpinus os discos, separados por uma lamina de vidro, podem mover-se, como no condensador descripto, ao longo de uma régua. Para simplificar a explicação dos phenomenos que se passam no condensador, denominaremos faces anteriores dos discos as que estão voltadas para a lamina isoladora e as outras posteriores.

Pondo o disco *A* em communicação com uma fonte electrica, a machina electrica em actividade por exemplo, e suppondo o disco *B* a sufficiente distancia d'elle para não ser influenciado, póde admittir-se que as duas faces do disco *A* estão igualmente electrizadas, adquirindo o disco uma tensão maxima igual á da machina e divergindo o pendulo *p*. Interrompendo então a communicação da machina com o disco *A*, e approximando d'este o disco *B* manifestam-se os phenomenos da influencia electrica, isto é, decompõe-se o fluido neutro de *B*, accumulando-se o negativo na face anterior e o positivo sobre a outra face e esphera *e'*, elevando-se o pendulo *p'*. Por outra parte a electricidade de *B* reagindo sobre a de *A*, o fluido positivo d'este deixa de estar igualmente distribuido sobre as suas duas faces, accumulando-se principalmente na face anterior e baixando o pendulo *p*. É o que a experiencia confirma.

Fazendo communicar depois a esphera e' com o solo, o fluido positivo escapa-se, verificando-se novas decomposições que dão em resultado a accumulção das electricidades negativa e positiva sobre as faces anteriores de B e A , até que o pendulo p baixa de novo, o que indica que a face posterior de A e a esphera e estão proximamente no estado natural. Fazendo communicar novamente o disco A com a machina electrica, determinam-se decomposições como as anteriores, podendo recommear-se a operação um grande numero de vezes. Mas como de cada vez que a machina cede electricidade ao prato collector A , uma parte sómente vae para a face anterior e uma pequena parte se conserva na face posterior e esphera e , segue-se que esta ultima parte accumulando-se em cada operação, a sua tensão vae crescendo successivamente até attingir a tensão limite igual á que tinha quando o disco A não era influenciado pelo disco B , o que é comprovado pela elevação do pendulo p . É assim que se attinge o limite de carga. Em vez de carregar o apparelho por communicções successivas, na pratica carrega-se estabelecendo a communicção das duas espheras e e e' com a machina e com o solo. Depois de carregado o condensador interrompem-se as communicções.

Denomina-se *força condensante* a relação entre a carga total que o prato collector adquire quando é influenciado pelo outro e a que adquiriria se estivesse só, ou a que n'elle se acha no estado livre.

A quantidade de fluidos que se pódem accumular sobre as faces anteriores dos dois discos, suppondo iguaes todas as outras circumstancias, é proporcional á tensão electrica da origem e á superficie dos dois discos, e augmenta com a diminuição da espessura da lamina isoladora.

586. *Expressão da força condensante.*—Se A e B designam respectivamente as quantidades de electricidade positiva e negativa que os dois discos A e B contêm, será $B = m A$, designando por m uma fracção tanto mais proxima da unidade quanto menor é a distancia entre os discos. Isolando o disco B e tocando o disco A , rouba-se toda a electricidade da face posterior e uma porção da electricidade da face anterior do disco collector. Admitte-se que essa electricidade que assim desaparece corresponde á electricidade que a machina forne-

ce ao prato A quando não é influenciado por B . Designando por a essa quantidade, se m representa ainda a relação das cargas dos dois pratos será: $A - a = mB = m^2 A$, donde se deduz $\frac{A}{a} = \frac{1}{1-m^2}$, relação que exprime a força condensante. O valor de m determina-se pela experiencia por meio do plano de prova e da balança de torsão. A força condensante é tanto maior quanto mais se approxima da unidade a fracção m .

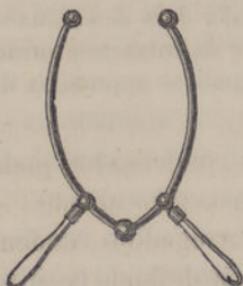
587. *Descarga do condensador.*—O condensador póde descarregar-se de dois modos, lenta ou instantaneamente.

1.º *Descarga lenta.*—Depois de ter carregado o condensador, o disco collector A tem uma certa porção de fluido positivo livre ao passo que o fluido negativo de B está completamente neutralizado; de sorte que tocando com a mão ou qualquer outro conductor o disco A salta uma pequena faísca. A quantidade de fluido positivo condensado n'este torna-se então inferior á do fluido negativo de B e portanto este fica com uma porção de fluido negativo livre. Póde então tirar-se uma segunda faísca do disco B , depois outra de A e assim successiva e indefinidamente até que o apparelho tenha perdido toda a electricidade, o que só se consegue no fim de algumas horas, se o ar está secco. Theoricamente, suppondo o ar perfeitamente secco e fazendo abstracção de qualquer perda de electricidade, seria necessario um numero infinito de contactos para descarregar completamente o condensador.

De feito quando se toca o disco A rouba-se-lhe (586) a carga $a = A(1-m^2)$ e deixa-se-lhe a carga $A - a = m^2 A$. Tocando depois B , este disco perderá $\beta = B(1-m^2) = Am(1-m^2)$, ficando com $B - \beta = m^2 B = m^3 A$. No fim de n contactos as cargas de A e B serão Am^n e Am^{n+1} . As cargas decrescem pois em progressão geometrica, e só podem ser nullas depois de um numero infinito de contactos.

2.º *Descarga instantanea.*—Reunindo pór um arco conductor os dois discos de um condensador, a totalidade dos fluidos precipita-se através do conductor, produzindo o que se chama descarga instantanea. Para se formar o circuito ou estabelecer a communicacção entre os dois discos, emprega-se ordinariamente um apparelho denominado *excitador*. Este diz-se simples quando é formado sómente de dois arcos me-

tallicos terminados por esferas e moveis em torno de uma charneira; e tem o nome de excitador de cabos de vidro (fig. 359) quando cada um dos dois arcos metallicos está ligado a um

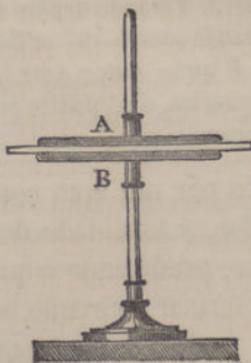


(Fig. 359)

cabo de vidro. Pondo uma das esferas do excitador em contacto com o disco *B* do condensador, e approximando a outra do disco collector *A*, vê-se saltar uma centelha, proveniente da recomposição dos fluidos que estavam separados.

Empregando o excitador simples para fazer a descarga, o operador não experimenta a minima commoção, e isto porque o fluido electrico escolhe, por assim dizer, o melhor conductor para o seu trajecto. Quando porém se toca com a mão um dos discos do condensador e se aproxima a outra do segundo disco, a recomposição dos fluidos faz-se através dos braços e corpo do operador, que experimenta uma commoção tanto mais forte quanto maiores são a superficie do condensador e a carga electrica.

588. *Condensador ordinario de lamina de vidro.* — Para obter fortes cargas com o condensador de lamina de ar, seria necessario approximar muito os dois pratos; mas então as duas electricidades oppostas recombinar-se-hiam através do ar. Não succede o mesmo quando a lamina isoladora é de vidro ou resina. O condensador ordinario é composto por dois discos



(Fig. 360)

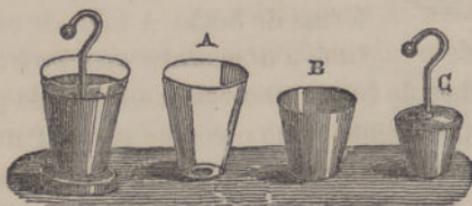
metallicos *A* e *B*, munidos de cabos isoladores e separados por uma lamina de vidro (fig. 360). N'este condensador as duas electricidades positiva e negativa, em vez de jazerem nos dois discos, accumulam-se nas faces da lamina isoladora. Para comprovar isto, depois de carregado o condensador, levanta-se o disco superior pelo cabo de vidro e toca-se com a mão para o restituir ao estado natural; em seguida levanta-se a

lamina de vidro, pegando-lhe pelos bordos e toca-se o disco

inferior com a mão, a fim de o restituir tambem ao estado natural. Collocando agora a lamina isoladora e o disco superior nas suas respectivas posições, e formando o circuito por meio do excitador, vê-se saltar uma faisca tão volumosa como se não se tivesse tocado nos discos, o que prova que os fluidos estavam adherentes ás faces da lamina.

Quando se reúnem por meio do excitador os discos do condensador ordinario, a recomposição não se faz completamente, porque ainda se pôde obter segunda e mesmo terceira e quarta centelhas. Estas descargas, que se denominam *secundarias*, resultam de que uma parte das electricidades oppositas passa lentamente para o interior da lamina e é depois restituida com igual lentidão.

A fim de demonstrar que é effectivamente nas superficies da substancia isoladora que se accumula a electricidade, pôde-se dar ao condensador a fôrma de um vaso (fig. 361). Este condensador compõe-se de um vaso conico de vidro *A*, de uma



(Fig. 361)

armadura exterior de folha de ferro *B* e de uma armadura interior da mesma substancia *C*. Estas peças collocadas umas dentro das outras, como mostra a figura constituem um verdadeiro condensador. Depois de o ter carregado, para o que basta pôr a armadura interior em communicação com uma fonte electrica e a exterior com o solo, tira-se a armadura exterior, depois o vaso de vidro e em seguida a armadura interior. Quando depois de descarregadas as armaduras, se reconstitue de novo o aparelho collocado sobre uma superficie isoladora, e se fazem communicar as armaduras, obtem-se uma faisca quasi tão intensa como a que se obteria antes, senão se tivessem descarregado as armaduras. A faisca produz-

se igualmente quando se fazem communicar as superficies interior e exterior do vaso de vidro, depois de tiradas as armaduras. Franklin deitava no vaso *A* uma certa quantidade de agua que substituia a armadura interior e mergulhava o vaso ainda em agua que representava a armadura exterior. Depois de carregado o aparelho substituia a agua por outra não electrisada e a carga do aparelho era sensivelmente a mesma.

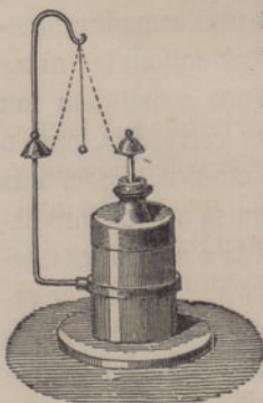
589. *Garrafa de Leyde*.— Este aparelho, inventado por Musschenbroek e Cuneus, na cidade de Leyde em 1746, compõe-se de um frasco de vidro (fig. 362) revestido até uma certa distancia do colo com uma lamina de estanho e d'ahi até a



(Fig. 362)

bôca nu ou coberto com uma camada de lacre, e contendo no seu interior aparas de cobre ou folhas de oiro. Através da rolha de cortiça lacrada, que tapa a bôca do frasco, passa uma haste metallica que communica com as aparas de cobre ou folhas de oiro e termina externamente em fôrma de botão. A folha de estanho constitue a *armadura externa* e as aparas de

cobre ou folhas de oiro a *armadura interna* da garrafa, que funciona exactamente como o condensador. Para carregar a garrafa segura-se com a mão pela armadura externa ou colloca-se sobre um corpo conductor não isolado, e põe-se o botão da haste em contacto com uma fonte electrica. Para a descarregar instantaneamente forma-se o circuito entre as duas armaduras. De ordinario não basta uma primeira descarga para restituir a garrafa ao estado natural. A garrafa de Leyde pôde tambem descarregar-se lentamente por contactos successivos, para o que, depois de collocada sobre um suporte isolador, basta tocar alternada e successivamente com um corpo conductor a armadura interna e depois a externa. Para tornar mais sensivel a descarga lenta em-

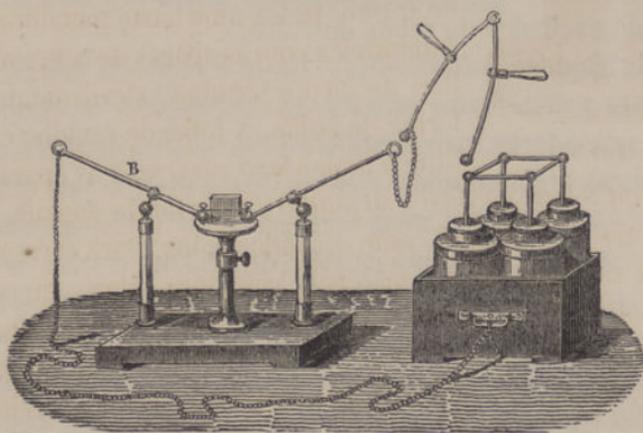


(Fig. 363)

prega-se a garrafa (fig. 363) cuja haste termina superiormente

te por um pequeno timbre. Depois de carregada a garrafa faz-se communicar a armadura exterior com uma outra haste tambem munida de um pequeno timbre, a qual sustentana parte superior um pendulo electrico isolado formado por uma bola de cobre suspensa por um fio de seda. O excesso de electricidade da armadura interior attrahe o pendulo que está a meia distancia entre os dois timbres; depois de repellido pelo timbre da garrafa vae chocar o outro, continuando depois a tocar alternativamente nos dois timbres até a garrafa estar descarregada.

590. *Bateria electrica de garrafas.*— Como a quantidade total da electricidade condensada cresce com a superficie das armaduras, obtêm-se resultados mais intensos com grandes garrafas de bôca larga e guarnecidas externa e internamente por folhas de estanho. O aparelho (fig. 364) constituido por um grupo d'estas garrafas collocadas n'uma caixa de madeira



(Fig. 364)

com as armaduras internas ligadas umas ás outras por hastes metallicas e as armaduras externas tambem communicando entre si por meio de uma lamina de estanho. que forra o interior da caixa, constitue uma *bateria de garrafas*.

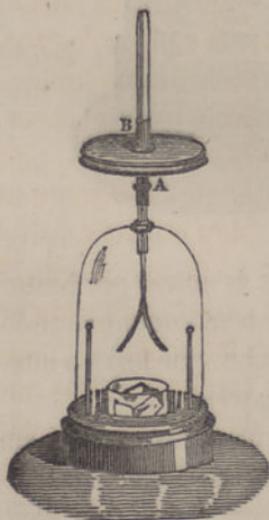
Para carregar a bateria põem-se as armaduras internas em communicação com a machina electrica em actividade, e fazem-se communicar as armaduras externas com o solo, por meio de uma corrente metallica, fixa a uma das argolas da caixa. A bateria considera-se saturada de electricidade no instante em

que um pendulo electrico adaptado sobre um dos conductores da machina deixa de divergir. E para a descarregar, forma-se o circuito entre as duas armaduras, por meio do excitador de cabos de vidro, tendo o cuidado de tocar primeiro a armadura externa. Devem tomar-se todas as precauções tendentes a evitar a commoção, porque uma forte bateria pôde produzir accidentes graves.

Quando se pretende fazer a descarga de uma bateria através de um corpo, emprega-se o *excitador universal* que é composto por duas hastes metallicas *A* e *B*, articuladas com supports isoladores fixos sobre uma base de madeira, que tambem sustenta um pequeno plano, sobre o qual se colloca o corpo que deve ser atravessado pela descarga, entre os extremos das hastes *A* e *B*. Para este fim faz-se communicar a haste *B* com a armadura externa da bateria, por meio de um conductor metallico, e a haste *A* com a armadura interior por meio do excitador de cabos de vidro.

591. *Quadro fulminante*.—Dá-se o nome de *quadro fulminante* a uma fôrma especial do condensador de lamina de vidro, que o torna mais simples e proprio para produzir grandes faiscas e commoções intensas. É constituido por uma lamina rectangular de vidro cercada por

um caixilho de madeira e sobre ás duas faces da qual estão colladas duas laminas de estanho que não chegam ao caixilho. Uma das laminas é completamente isolada e a outra communica com um anel metallico, situado no caixilho, e ao qual se prende uma cadeia metallica que serve para estabelecer o contacto com o solo. O quadro fulminante carrega-se e descarrega-se como o condensador ordinario.



(Fig. 365)

592. *Electrometro condensador de Volta*.—Este aparelho serve para pôr em evidencia os menores vestigios de electricidade. É constituido pelo electroscopio de folhas de ouro

(fig. 365) ao qual está sobreposto um condensador composto por dois discos metallicos *A* e *B*, revestidos nas faces, que estão em contacto, por tenues camadas de verniz, que servem de laminas isoladoras. Para fazer uso d'este instrumento, põe-se o corpo electrizado em contacto com o disco inferior e toca-se com a mão o superior. Depois de carregado o aparelho, o fluido espalhado sobre a face inferior do disco *A* e sobre as laminas de ouro, estando em equilibrio com a fonte electrica, as folhas poderão divergir como se o aparelho não tivesse o disco *B* e funcionasse de electroscope ordinario; porém levantando o disco *B*, a electricidade que se achava condensada na face superior de *A* se espalhará livremente por todo o prato e pelas laminas e a divergencia d'estas augmentará.

SECÇÃO 6.^a

Efeitos da electricidade statica

593. *Efeitos physicos.*— Quando as duas electricidades opostas, desenvolvidas por influencia ou condensadas, se combinam através de corpos que não lhes dão livre passagem, porque são maus conductores, ou porque não têm dimensões sufficientes, podem dar origem a efeitos diversos. Esses efeitos podem ser: physicos, mechanicos, chimicos e physiologicos.

Entre os efeitos physicos da descarga electrica comprehendem-se os efeitos calorificos, os luminosos e os magneticos.

1.^o *Efeitos calorificos.*— Postoque a faisca electrica, pela sua curta duração, não produza a sensação de calor sobre os nossos orgãos e não exerça influencia sobre o mais sensivel thermoscopia, todavia pôde dar origem a efeitos calorificos variados. Assim a faisca produzida pela garrafa de Leyde ou pela machina electrica inflamma os corpos facilmente combustiveis. O alcool e o ether, contidos em vasos metallicos que communicam com a armadura externa da garrafa de Leyde carregada, inflammam-se quando se aproxima da sua superficie livre o botão da garrafa. A experiencia pôde tambem fazer-se, approximando a essa superficie o dedo de um observador electrizado, collocado sobre o tamborete isolador. Por

meio de baterias electricas consegue-se tambem inflamar polvora, isca e panno salpicado de resina ou enxofre. Tem-se applicado a faisca electrica para inflamar a polvora contida nos forninhos das minas; a communicação da armadura interior da bateria electrica faz-se por meio de um fio metallico envolvido em gutta-percha e que penetra n'uma mistura facilmente explosiva mantida no interior da polvora, e a communicação da armadura externa faz-se através do solo. A faisca electrica inflamma os gazes combustiveis. Volta aproveitou esta propriedade para accender o jacto de hydrogenio no fusil d'este gaz.

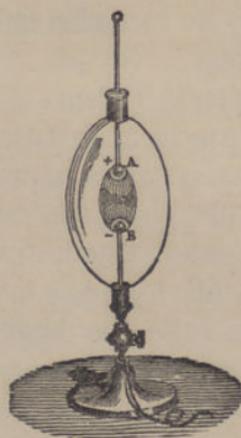
Fazendo passar a descarga de uma bateria através de um fio metallico bastante fino para que o fluido electrico expermente grande resistencia, o fio aquece-se e pôde fundir-se e mesmo volatilizar-se, segundo a força da bateria e a natureza do metal. Franklin chegou por um meio similhante a fundir laminas delgadas de oiro. Os effeitos calorificos que os metaes assim experimentam, em igualdade de comprimento e diametro, não seguem a ordem da faculdade conductora d'esses metaes; o ferro, o estanho e a platina tornam-se rubros, fundem-se e volatilizam-se mais facilmente do que o cobre, o oiro e a prata, apesar d'estes serem melhores conductores do fluido electrico do que aquellas.

Submettendo á descarga de uma bateria electrica um fio ou uma lamina de oiro, apertada entre duas laminas de vidro ou duas fitas, o oiro volatilizando-se depõe-se sobre ellas formando uma camada violacea constituida pelo oiro muito dividido. É assim que se obtêm os retratos electricos quando se tem collado a lamina de oiro sobre um cartão recortado que representa um retrato.

2.º *Effeitos luminosos.*—A intensidade da luz projectada por uma centelha electrica é tanto maior quanto mais consideraveis são as quantidades dos fluidos contrarios que se recompõem. De feito, a centelha proveniente de uma forte bateria é mais intensa do que a de uma garrafa de Leyde e a que esta produz é mais intensa do que a da machina electrica. A centelha quando vence pequenas distancias caminha em linha re-

ta, produzindo um traço luminoso; mas quando se dirige a grandes distancias descreve angulos mais ou menos obtusos, formando um traço luminoso em zig-zag.

O brilho da luz electrica é tanto maior quanto melhores conductores são os corpos entre os quaes ella se produz, e a sua côr varia com a natureza d'esses corpos e com a da atmosphera ambiente. Assim a faisca que se produz entre dois fragmentos de carvão é amarella; entre dois conductores de cobre prateados é verde; e entre duas espheras de madeira ou marfim é carmesim. No ar e no oxygenio, sob a pressão ordinaria, a luz é branca e brilhante; no ar rarefeito é avermelhada e fraca, e no vacuo violacea e ainda mais fraca; no hydrogenio é avermelhada; verde no gaz carbonico; e azul ou vermelha e acompanhada de um ruido particular no azote. Em geral, a centelha tem tanto maior brilho, quanto maior é a tensão electrica e a resistencia que experimenta. Como, segundo os trabalhos de Fusineri, na producção da luz electrica ha sempre transporte de particulas materiaes extremamente tenues, as modificações, que a luz electrica experimenta, podem ser attribuidas ao transporte d'essas particulas. Para verificar a influencia da natureza e



(Fig. 366)

pressão da atmosphera ambiente sobre a luz electrica, póde empregar-se o apparelho (fig. 366) denominado *ovo electrico*, que é constituido por um vaso ellipsoidal de vidro, que tem a construcção propria para se lhe extrahir o ar ou introduzir qualquer gaz, e é munido interiormente de duas virolas metallicas *A, B*, terminadas em botão, sendo uma fixa e a outra podendo mover-se á vontade.

Para multiplicar os effeitos da faisca electrica, ha diversos apparelhos, taes como o tubo, o quadro e a garrafa scintillantes ou magicos. O primeiro é um tubo de vidro (fig. 367), no interior do qual estão collados pequenos losangos de estanho dispostos em helice e separados por pequenos intervallos. O tubo é terminado por virolas metallicas que com-

municam com os losangos extremos. Pondo um dos extremos do tubo em communicação com a machina electrica em actividade e segurando o outro com a mão, as faiscas saltam nas soluções de continuidade, produzindo um traço helicoidal de bom effeito. O quadro e a garrafa scintillantes fundam-se no mesmo principio.

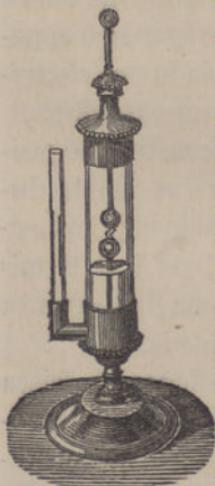


3.º *Effeitos magneticos.*—Franklin conseguiu magnetisar pequenas agulhas por meio da descarga de uma garrafa de Leyde e inverter os polos de uma agulha magnetisada. Os effeitos da electricidade sobre os corpos magnetisados serão estudados, com mais detalhe, no logar conveniente.

594. *Effeitos mechanicos.*—Quando se dirige a descarga através de uma substancia isoladora ou imperfeitamente conductora, esta é furada de lado a lado ou quebrada em pequenos fragmentos, se é solida, ou fortemente agitada, se é liquida ou gazosa. Uma la-

(Fig. 367) mina de vidro ou um pedaço de cartão, collocados entre duas pontas através das quaes se faz passar a descarga electrica são furados, e um pedaço de madeira ou de pedra collocado entre as hastes do excitador universal reduz-se a fragmentos.

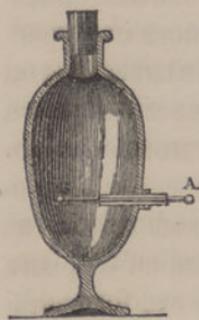
Para demonstrar a agitação violenta e a expansão rapida que a passagem da faisca electrica produz n'uma massa gazosa emprega-se um aparelho (fig. 368) que se denomina *thermometro* de Kinnersley. Este instrumento compõe-se de um tubo fechado e terminado por virolas, que sustentam hastes metallicas terminadas interiormente por espheras, sendo uma das hastes fixa e a outra movel á vontade e terminada tambem exteriormente por uma esphera. Este tubo communica pela parte inferior com outro mais delgado e aberto superiormente. O aparelho contém agua na parte inferior. Fazendo passar a faisca entre as duas espheras interiores, a agua comprimida subitamente pela expansão



(Fig. 368)

do ar que está superiormente, sobe no tubo lateral. Como o nível se não restabelece immediatamente, em virtude do augmento da temperatura do ar agitado, por isso este instrumento tem o nome de *thermometro*.

595. *Effeitos chimicos*.—Os effeitos chimicos da electricidade consistem em combinações e decomposições, determinadas pela passagem da faisca electrica através dos corpos. Quando dois gazes estão misturados, nas relações em que se combinam, basta em geral fazer atravessar a mistura por uma faisca electrica para determinar a combinação. Para se verificar este facto emprega-se a pistola de Volta (fig. 369). Este pequeno apparatus é constituído por um vaso de folha ou la-



(Fig. 369)

tão com uma abertura lateral, a que está adaptada uma haste metallica, isolada das paredes do vaso por um tubo de vidro e terminada por dois botões. Enchendo a pistola com uma mistura gazosa detonante, formada, por exemplo, de dois volumes de hydrogenio e um de oxigenio, tapando a bôca com uma rolha de cortiça e fazendo descarregar a garrafa de Leyde sobre o botão A, a faisca que então salta entre o outro botão e a parede do vaso determina a combinação dos gazes misturados. A combinação sendo acompanhada de um grande desenvolvimento de calor, o vapor de agua resultante adquire tal força expansiva, que faz saltar a rolha do vaso, produzindo uma forte detonação. Quando os gazes misturados não estão em proporções convenientes para se combinarem, é necessario uma serie de fiascas para produzir a combinação. Para estudar a composição dos gazes Volta inventou um apparatus baseado no mesmo principio e que se denomina *eudiometro*.

Uma serie de fiascas electricas successivas pôde decompor muitos corpos compostos. Assim os gazes sulphydrico, chlohydrico e o ammoniaco decompõem-se em seus elementos pela acção da faisca electrica; o gaz carbonico decompõe-se em oxydo de carbonio e oxygenio; e pôde igualmente decompor-se a agua, os acidos, oxydos e saes. Todavia a electricidade

statica está muito longe de produzir effeitos chimicos energicos e variados como a electricidade dynamica.

596. *Effeitos physiologicos.* — Os effeitos physiologicos da electricidade são os que ella produz quando atravessa um ser organizado, principalmente um animal vivo ou morto recentemente. Um individuo que toca com as mãos simultaneamente as armaduras oppostas de um condensador qualquer carregado, recebe uma commoção nos membros atravessados pela electricidade. A commoção é tanto mais violenta quanto maior é a superficie do condensador. Com uma pequena garrafa de Leyde a commoção é pequena e chega aos cotovellos, com uma garrafa de um litro chega ás espaldas e pôde mesmo estender-se até ao peito, produzindo ao mesmo tempo contracções musculares. Não é conveniente levar as experiencias alem d'este limite. Na pratica costuma empregar-se o quadro fulminante ou a garrafa de Leyde para verificar estes resultados, sendo conveniente tocar primeiramente as armaduras externas.

A garrafa de Leyde pôde empregar-se para produzir ao mesmo tempo a commoção electrica em muitos individuos, que para este fim devem dar as mãos uns aos outros, formando uma *cadeia*. Quando a primeira e a ultima pessoas tocam as armaduras, a descarga atravessa a cadeia, e cada um sente commoção; esta é mais fraca no meio, porque uma parte dos fluidos se reune através do solo passando pelos pés das pessoas situadas nos extremos. Se todos estivessem isolados sentiriam iguaes commoções. Segundo Arago ha pessoas que interrompem a comunicação como qualquer corpo isolador, o que pôde talvez provir da espessura e extrema seccura da epiderme das suas mãos.

A descarga de uma bateria ordinaria pôde produzir lesões no organismo do homem, e a de uma bateria de alguns metros de superficie mata-o infallivelmente; as descargas secundarias ainda são perigosas. Com baterias fracas podem matar-se subitamente aves de grande vulto, coelhos e mesmo animaes de maior corpulencia. O exame anatomico d'estes animaes não indica lesões constantes, porém como todos expe-

rimentam commoções, quando os choques são fracos, parece que a electricidade obra especialmente sobre o systema nervoso. Em medicina têm-se empregado em certos casos com vantagem os choques e os banhos electricos, como meio therapeutico.

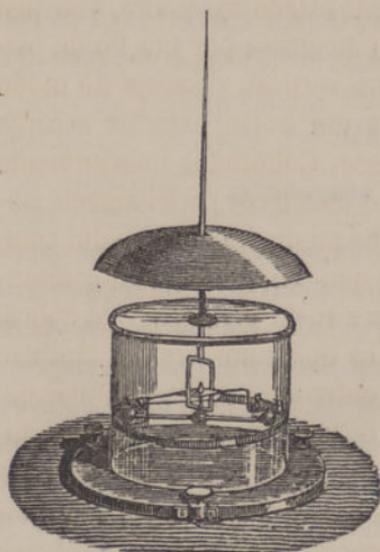
SECÇÃO 7.^a

Electricidade atmospherica

597. *Electricidade habitual da atmosphaera.*—O ar atmospherico, perfeitamente sereno e sem nuvens, está sempre mais ou menos carregado de electricidade. Este facto descoberto por Lemonnier, foi estudado por Saussure, que empregava o electrometro ordinario de folhas de oiro, cuja haste tinha externamente cinco a seis centimetros de altura e terminava em ponta. Elevando-se este apparelho dois ou tres metros acima do solo, as laminas de oiro divergem, o que prova a existencia da electricidade no ar. Para provar a existencia da electricidade nas camadas aereas um pouco mais elevadas, Saussure circumdava a haste do electrometro com um pequeno anel ligado a uma cadeia metallica, no extremo da qual estava uma pequena bala, que projectava no ar. No momento em que a cadeia e a bala deixavam de estar em contacto com o solo, postoque o anel ainda se conservasse ligado á haste, o apparelho carregava-se; depois o anel elevava-se tambem, separando-se do electrometro, mas deixando n'elle a electricidade, que se podia medir.

A fim de obter indicações continuas e medir em cada instante a quantidade de electricidade que a atmosphaera contém, emprega-se ordinariamente o electrometro de Peltier. Este apparelho (fig. 370) compõe-se de uma caixa cylindrica de vidro, cuja tampa superior é atravessada no centro por uma haste metallica, munida de uma especie de chapéu e terminada superiormente em ponta. A haste, em vez de suspender inferiormente as folhas de oiro, sustenta uma agulha magnetica curva *NS*, movel em torno da sua parte media; inferiormente á agulha, a haste termina por um fio metallico *AB*, cujos extremos são esphericos. Collocados o fio *AB* e a agulha

NS na direcção do meridiano magnetico, quando se electriza o aparelho, a agulha afasta-se do fio *AB*, e o desvio, que serve



(Fig. 370)

para avaliar a quantidade de electricidade, mede-se n'um circulo graduado, que a caixa de vidro tem no seu contorno. Por meio de uma tábua, construida com o auxilio de um aparelho identico, póde calcular-se a carga electrica que corresponde a determinado desvio. Por meio d'este aparelho demonstrou-se que ha sempre electricidade na atmosphaera, sendo geralmente *positiva*, e que a quantidade de electricidade varia nas diferentes ho-

ras do dia e nas diversas estações do anno, sendo maior nos logares elevados, e menor nos logares baixos e abrigados, e nulla nas habitações. Reconheceu-se que a electricidade tinha dois maximos proximamente ás 10 horas da manhã e da noite e dois minimos ás 2 horas da tarde e da noite pouco mais ou menos, correspondendo a media ás 11 da manhã. O maximo annual verifica-se no inverno e o minimo no verão, variando tambem com as estações as horas a que se verificam os maximos e minimos diarios. A electricidade atmospherica varia tambem com a latitude.

No observatorio do Infante D. Luiz emprega-se, para observar a electricidade atmospherica e registar photographicamente as suas variações, um aparelho chamado *electrographo*, devido a Thomson (de Glasgow). Este aparelho consta de duas partes, uma das quaes é um grande vaso isolado e cheio de agua, que tem na parte inferior adaptado um tubo metallico horisontal de um metro de comprimento, terminado por um outro de vidro ponteagudo, por onde são constantemente um jacto de agua, que se electriza no ar e transmite a electrici-

dade d'este ao vaso. A outra parte é formada por uma grande caixa cylindrica de vidro analoga á da balança de Coulomb, cujo recinto se mantem em perfeito estado de secura, e no qual existe uma agulha de aluminio suspensa por um fio de platina contido dentro de um tubo vertical, disposta de modo que recebe por intermedio de um botão exterior a carga que um electrophoro lhe fornece. Collocados inferiormente á agulha estão dois semi-circulos metallicos perfeitamente isolados e separados por uma linha media, dos quaes um communica com a terra, emquanto que o outro está em communição com o vaso collector por meio de um fio de cobre. A agulha é assim electrificada e os dois semi-circulos tambem o são, um pela acção da terra e outro em sentido contrario pela da atmosphaera; haverá pois de um lado attracção e do outro repulsão, e desvio maior ou menor da agulha para a direita ou para a esquerda da linha media, e pela observação d'estes desvios da agulha póde reconhecer-se se a electricidade atmospherica é positiva ou negativa e o valor das suas variações. E enfim por uma outra disposição annexa ao aparelho obtem-se o registo photographico d'estas variações. Este aparelho está collocado na casa dos magnetographos do observatorio, de que adiante se fará menção.

A electricidade habitual da atmosphaera parece provir principalmente, segundo as experiencias de Pouillet, Matteucci e Becquerel, da evaporação da agua que continuamente se verifica á superficie terrestre. Pouillet, fazendo ferver agua n'um vaso de platina, ao rubro, collocado sobre o prato collector do electrometro condensador, achou que o vapor se carrega de electricidade positiva e que o vaso se carrega de electricidade negativa, quando a agua tem em dissolução um acido ou um sal; verificando-se o contrario se a dissolução é alcalina e não se manifestando resultado se a agua é pura. E Becquerel demonstrou que o ar se póde carregar positiva ou negativamente.

Os resultados obtidos com o electrometro de Peltier explicam-se rasoavelmente, notando-se que as partes elevadas da atmosphaera, estando carregadas de electricidade positiva, obram por influencia sobre o aparelho, que a seu turno se

carrega tambem de electricidade do mesmo nome. No inverno as camadas medias da atmosphaera estando humidas carregam-se tambem de electricidade positiva, e augmentando a influencia, os desvios de agulha são maiores. No verão verifica-se o effeito contrario. Quando nasce o sol, o vapor aquoso eleva-se do solo, tornando o ar melhor conductor e d'ahi provém o primeiro maximo: depois o ar secca até ás 2 horas, o que determina o primeiro minimo. Depois quando o ar esfria e os vapores se condensam obtem-se de novo um maximo, e finalmente a acção electrica diminue successivamente durante a noite até ao segundo minimo. A explicação de Pouillet está porém longe de satisfazer cabalmente.

598. *Electricidade das nuvens.*—Os primeiros physicos que observaram a faisca electrica comparavam-a ao relampago e o ruido que ella produz ao trovão. Foi porém Franklin, que, por meio de fortes baterias electricas, demonstrou a analogia entre o raio e a centelha electrica e que indicou o emprego das pontas metallicas para descarregar o fluido das nuvens.

Para demonstrar que as nuvens na occasião das tempestades estão carregadas de electricidade, e que esta é identica á que se produz nos apparatus que se empregam para a desenvolver, pôde repetir-se a experiencia do *papagaio electrico*, executada pela primeira vez, em 1752, por Franklin, em Philadelphia. Emprega-se um papagaio de papel, terminado por uma ponta metallica, tendo a corda que se emprega para o sustentar um fio conductor enrolado. Fixa-se ao solo o extremo inferior da corda, tendo o cuidado de o isolar, e lança-se o papagaio ao ar, de modo que subindo se dirija á nuvem tempestuosa. A parte inferior da corda funciona então como um corpo electrizado sobre os corpos vizinhos, o que mostra que o papagaio se electrizou sob a influencia da nuvem, e que portanto esta se acha electrizada. Esta experiencia, quando o fio conductor é metallico, é bastante perigosa, porque as centelhas produzidas, tendo algumas vezes muitos centimetros de largura e dois e tres metros de comprimento, indubitavelmente fulminariam o observador que se achasse a pequena

distancia. Na primitiva experiencia de Franklin não havia o fio conductor e o resultado precedente apenas se observou quando a corda, tendo-se molhado com a chuva, se tornou boa conductora.

D'Alibart, seguindo as idéas theoricas de Franklin, conseguiu, antes da experiencia precedente, n'outra experiencia memoravel feita em Marly, proximo de Paris, por meio de uma haste metallica de grande comprimento e collocada verticalmente, obter grandes faiscas, quando a haste se achava sob a influencia de uma nuvem carregada de electricidade. Esta experiencia, perigosa como a de Franklin, foi a causa da morte de Richmann, em S. Petersburgo.

Quando uma nuvem se forma, o ar cede a sua electricidade aos globos condensados que a constituem, de sorte que a nuvem contém a quantidade de electricidade correspondente ao volume de ar que occupa, accumulada sobre a sua superficie. A carga electrica da nuvem deve pois ser positiva. A origem das nuvens carregadas de electricidade negativa pôde explicar-se pela acção das camadas superiores da atmosphera, que são mais positivas que as nuvens formadas nas regiões medias, e que obrando por influencia sobre estas attrahem para a parte superior a electricidade negativa repellindo a positiva para a parte inferior. Esta electricidade pôde perder-se, restando apenas a electricidade negativa na parte superior, e podendo depois disseminar-se por toda a nuvem se a influencia diminue. As nuvens negativas podem tambem ser originadas pelos nevoeiros que se formam junto ao solo, os quaes se carregam da electricidade negativa que este possui e se elevam depois na atmosphera conservando a mesma electricidade. As experiencias de Becquerel, demonstrando tambem que o ar pôde apresentar os dois estados electricos, explicam igualmente a formação das nuvens com electricidades positiva e negativa.

É geralmente no verão, quando a electricidade se accumula nas altas regiões da atmosphera, que se formam as trovoadas.

599. *Relampago*.—O clarão deslumbrante projectado pela centelha electrica que se produz entre duas nuvens carre-

gadas de electricidades contrarias ou entre uma nuvem e o solo, denomina-se *relampago*. O clarão dos relampagos, branco nas baixas regiões da atmosphera, é ligeiramente violaceo nas camadas superiores em que o ar está mais rarefeito (593, 2.º). A passagem da centelha no ar desenha ordinariamente zig-zags mais ou menos pronunciados, o que se explica pela resistencia que o ar offerece á passagem de uma forte descarga, e por isso a centelha se desvia da linha recta, tomando a direcção em que encontra menor resistencia. A linha sinuosa que a centelha affecta póde ás vezes ter muitos kilometros de extensão o que se póde attribuir á rarefacção do ar que medeia entre as nuvens, á humidade d'esse ar que o torna bom conductor e á presença de pequenas nuvens entre as duas que deram origem á centelha. Duas nuvens podem produzir mais que uma centelha, porque em virtude da sua imperfeita conductibilidade apenas se descarregam parcialmente em cada centelha, e porque as nuvens se podem renovar continuamente. Segundo as observações de Wheatstone a duração do relampago não excede um millionesimo do segundo. O clarão do relampago abraça ás vezes uma vasta porção do horisonte, podendo estender-se até 30 kilometros, o que póde resultar da producção de uma serie de faiscas, como nos tubos scintillantes, porque a massa das nuvens é descontinua e a electricidade póde-se achar distribuida n'ellas mui desigualmente. Arago denominou relampagos de segunda classe os clarões instantaneos que illuminam as nuvens ou sobre toda a superficie ou só nos contornos, não sendo acompanhados de ruido perceptivel; estes relampagos, ou resultam de centelhas produzidas nas altas regiões atmosphericas, separadas do observador por diversas camadas de nuvens, ou são descargas electricas produzidas no seio de uma nuvem e que produzem clarões analogos aos que se obtêm quando se pretende descarregar a machina electrica com um vidro humido. Quanto aos relampagos que brilham algumas vezes no estio, debaixo de um céu puro, e aos quaes se dá o nome de relampagos de calor, é provavel serem devidos a uma tempestade distante, que projecta a luz para as

camadas superiores da atmosphaera, as quaes nol-a enviam pela reflexão.

600. *Trovão*.—Á detonação produzida por uma centelha electrica cujo clarão constitue o relampago, dá-se o nome de trovão. O relampago e o trovão são simultaneos, comtudo nota-se uma differença de tempo entre o instante em que vemos o primeiro e aquelle em que ouvimos o segundo; e isto porque a luz vae de um a outro ponto sobre a terra instantaneamente, ao passo que o som caminha 340 metros, termo medio, por segundo. Assim é facil o determinar approximadamente a distancia a que nos achâmos de uma trovoadá, contando os segundos que medeiam entre o apparecimento do relampago e o ruido do trovão. Ouvido a pequena distancia, o ruido do trovão é mui intenso, secco e de curta duração; ouvido ao longe é menos intenso, mas mais prolongado. É o resultado da agitação subita das camadas de ar no momento em que estas são atravessadas pela centelha electrica. Em geral o ribombar do trovão compõe-se de reforçamentos e enfraquecimentos successivos, seguidos de um ruido prolongado e surdo proveniente dos echos das montanhas e das nuvens. As differenças de intensidade que se notam no ribombar do trovão parecem resultar; ou de que nas grandes sinuosidades da centelha, cada parte rectilinea envia um som segundo, a sua direcção e cuja intensidade varia com a densidade da camada que atravessa, produzindo os enfraquecimentos e reforçamentos successivos; ou de que a centelha é constituida por uma serie de faiscas successivas que, partindo de pontos diversamente afastados e atravessando camadas de ar de densidades differentes, chegam ao nosso ouvido successivamente. Quanto aos ruidos seccos e estridentes, comparados por Lucrecio⁽¹⁾ com o ruido do pergaminho que se rasga, provém de detonações proximas e violentas, separadas por certos intervallos ou de descargas successivas produzidas entre diversas nuvens, analogamente ao que se observa no tubo scintillante.

(1) Et fragiles sonitus chartarum commeditatur. *De natura rerum*, lib. 6.º

601. *Theoria e effeitos do raio.* — Dá-se o nome de raio á centelha electrica que se produz entre uma nuvem electrificada e o solo. A nuvem obrando por influencia sobre o solo, decompõe o fluido neutro d'este na parte que está sob a sua esphera de actividade, repelle para a parte inferior a electricidade do mesmo nome que a sua e attrahe para a superficie e principalmente para os pontos mais elevados d'ella a electricidade de nome contrario. Ao mesmo tempo a electricidade da nuvem accumula-se na sua parte inferior e tende a fazel-a descer, ao passo que as gotas de chuva facilitam a descarga. Se a tensão das electricidades oppostas, da nuvem e do solo, não é sufficiente para vencer a resistencia do ar e se a nuvem se afasta, os corpos terrestres voltam pouco a pouco ao seu estado natural. Se porém as tensões electricas da nuvem e do solo, que está sob a sua influencia, se tornam superiores á resistencia do ar, a centelha ou o *raio* salta e o solo é então *fulminado* directamente. De ordinario são os corpos bons conductores e os que se acham, por sua elevação, mais proximos da nuvem electrificada, como os edificios, os campanarios, os montes e rochedôs, os mastros e as arvores, que os raios fulminam de preferencia. Os logares abrigados, os terrenos seccos e os corpos isolados da electricidade só raras vezes são fulminados. O trovão é geralmente simples, porque a centelha cáe verticalmente sobre o corpo que fulmina; ás vezes, porém, a centelha divide-se na proximidade do solo, analogamente ao que succede com a faisca da machina electrica, sendo então estridente e multiplo o trovão.

Os effeitos do raio são identicos aos que se produzem com as descargas de uma bateria electrica, differindo apenas em serem consideravelmente mais intensos. Citam-se exemplos curiosos dos effeitos physicos e mechanicos devidos ao raio e que vem mencionados em memorias especiaes.

Os corpos conductores experimentam de preferencia a acção do raio, porque se accumula sobre as suas superficies fluido contrario ao da nuvem electrificada. O raio inflamma os corpos combustiveis manifestando-se ás vezes a combustão em diversos pontos simultaneamente. Os corpos metallicos,

sob a influencia do raio, se a sua secção é pequena, fundem-se e podem mesmo volatilizar-se; quando a massa é consideravel e estão em communicação com o solo, o raio segue-os sem causar estragos sensiveis. Ás vezes o raio que penetra no interior de um muro muda rapidamente de direcção para seguir de preferencia alguma massa metallica. Os corpos isoladores são, em geral, quebrados em fragmentos, reduzidos a pó ou transportados violentamente a distancia. É principalmente quando o raio, depois de seguir os corpos conductores, encontra resistencia, que se manifestam estes effeitos com maior energia. O raio póde ainda dar origem a perfurações mais ou menos consideraveis nos corpos maus conductores e fundil-os mesmo nos pontos que toca. É por isso que se attribue ao raio a formação de tubos vitrificados, denominados *fulgurites*, que se encontram enterrados verticalmente no solo em quasi todas as localidades em que este é humido e coberto por uma camada de areia. O raio, atravessando a areia, produz uma escavação, aquecendo tão fortemente as suas paredes a ponto de as vitrificar. Explica-se tambem analogamente a existencia de fragmentos vitrificados contendo globulos fundidos, observados por Saussure nos rochedos elevados dos Alpes, por Ramond nos Pyreneos e por Humboldt nos montes do Mexico.

A acção do raio determina quasi sempre effeitos notaveis sobre os corpos magnetizados ou susceptiveis de se magnetisarem. Umaz vezes inverte os polos da agulha magnetica; outras faz com que o seu eixo magnetico faça um angulo, com a direcção primitiva ou com a direcção do eixo de figura da agulha; outras emfim desmagnetisa completamente a agulha. Por outro lado o ferro e o aço podem ser magnetizados quando o raio cæe sobre objectos proximos.

O raio determina tambem decomposições e combinações chimicas entre as diversas substancias que atravessa. Em geral transporta os elementos que separou e vae depôl-os sobre os corpos que depois atravessa. Determina a combinação de uma parte do azote e oxygenio da atmosphaera, dando origem ao acido azotico o qual em seguida, se combina com as

bases, como por exemplo com o ammoniaco, ou a potassa. Geralmente a combustão das materias organicas atravessadas pelo raio têm um cheiro particular que sem rasão se tem comparado com o cheiro do enxofre.

Os effeitos mais desastrosos do raio são os que se verificam nos seres animados. O raio produz geralmente a morte do homem e dos diversos animaes que fulmina, e encontram-se nos cadaveres chagas mais ou menos profundas e derramamentos de sangue internamente. Outras vezes a acção do raio produz apenas uma syncope e citam-se mesmo casos em que alguns paralyticos se têm curado sob a influencia do raio.

602. *Choque indirecto ou reflexo.*—Os homens e os differentes animaes podem experimentar uma commoção violenta e muitas vezes mortal, sem serem directamente fulminados pelo raio. Esta commoção, denominada *choque indirecto* ou *reflexo*, explica-se facilmente. Quando um individuo está sob a influencia de uma nuvem electrizada, o seu corpo bem como o solo acham-se carregados de electricidade contraria á da nuvem. Se n'este momento salta o raio entre a nuvem considerada e um corpo distante, cessa a influencia a que o individuo estava submettido e os dois fluidos contrarios, recompondo-se através dos seus orgãos, produzem um abalo, que póde ser assás forte para lhe causar a morte. Tem-se visto succumbirem pela acção do choque indirecto rebanhos inteiros de animaes e numerosos grupos de pessoas, sem que se tenha observado alguma ferida nos corpos fulminados; ás vezes porém têm-se encontrado feridas as plantas dos pés dos individuos assim fulminados e tem-se tambem notado que os pregos do calçado se encontram arrancados e fundidos.

603. *Outros phenomenos devidos á influencia electrica das nuvens sobre a terra.*—Alem dos effeitos mencionados, as nuvens electrizadas podem ainda, obrando por influencia sobre os corpos terrestres, dar origem a diversos phenomenos bastante curiosos, referidos por auctores antigos e modernos. O mais conhecido é o apparecimento de luzes mais ou menos brilhantes, que os maritimos denominam *corpo santo* ou *san-*

telmo, e que scintillam nos extremos dos mastros dos navios e, em geral, nas partes salientes dos corpos terrestres, especialmente as metallicas, sob a influencia de uma nuvem electrizada.

Às vezes succede que o raio apresenta a fórma de um globo de fogo, que caminha lentamente e que, de ordinario, rebenta produzindo os estragos do raio propriamente dito. Este phenomeno curiosissimo, conhecido pelos nomes de *raio globular* e *globo fulminante*, foi referido pelos antigos e posto em duvida modernamente, até que Arago o descreveu. Não tem tido até hoje explicação.

604. *Guarda-raio; condições a que deve satisfazer.*— O *guarda-raio*, ou *pára-raio*, inventado por Franklin tem por objecto preservar os edificios dos effeitos do raio. É constituido por uma haste de ferro de base quadrangular de seis a dez metros de altura e terminada em ponta. Esta haste collocada verticalmente na parte mais elevada do edificio ou na parte que o pára-raio é destinado a proteger, faz-se communicar com o solo por uma corda de fio de ferro ou de cobre, que desce ao longo das paredes do edificio, ás quaes está fixa de distancia em distancia por escapulas de ferro; esta corda metallica tem o nome de *conductor*. O conductor ramifica-se na extremidade, a fim de facilitar a diffusão do fluido electrico. As ramificações terminam n'um poço contendo agua ou n'uma escavação de quatro a seis metros de profundidade cheia de carvão calcinado que é bom conductor da electricidade e perserva o conductor da oxydção.

A theoria do guarda-raio baseia-se na electrização por influencia e no poder das pontas. Uma nuvem electrizada passando por cima do guarda-raio, decompõe por influencia o fluido neutro da haste e do conductor, attrahe a electricidade de nome contrario e repelle para o solo a do mesmo nome. A electricidade contraria da nuvem, esgotando-se de um modo continuo pela ponta da haste, atravessa a camada do ar que a separa da nuvem, restituindo esta ao estado natural sem que se ouça a menor detonação. O guarda-raio previne pois a explosão do raio por dois motivos: 1.º, porque se oppõe á accu-

mulação de electricidade sobre o edificio que protege; 2.º, porque restitue de continuo ao estado natural as nuvens na occasião das tempestades. Entretanto, se a tensão electrica da nuvem for consideravel, poderá succeder que o guarda-raio seja insufficiente para impedir a explosão; mas n'este caso ainda protegerá o edificio, porque sendo o guarda-raio o melhor conductor, a descarga será feita por elle de preferencia.

Um guarda-raio, para ser efficaz, deve satisfazer ás seguintes condições geraes: 1.ª O conductor deve ser continuo desde a haste até o solo, porque, se apresentar a menor solução de continuidade, a electricidade repellida pela nuvem não poderá esgotar-se livremente para o solo; fulminará por consequente os corpos vizinhos e poderá ser origem de graves accidentes. 2.ª Pela mesma razão o conductor deve communicar com o solo o mais perfeitamente possivel. 3.ª A haste e o conductor devem ter diametros sufficientes para não serem fundidos se o raio porventura saltar entre a nuvem e a haste. 4.ª A haste deve terminar em ponta, a fim de se prestar a que a electricidade se esgote livremente, devendo alem d'isso a ponta ser de platina ou de cobre doirado para impedir que a oxydção a deteriore. 5.ª Se o edificio sobre o qual está collocado o guarda-raio contiver grandes massas metallicas, estas devem ser postas em communicação com o conductor.

Os detalhes technicos para a construcção e collocação dos guardas raios são indicados em instrucções especiaes, redigidas pelas auctoridades competentes em harmonia com as prescripções da theoria e os resultados praticos. A experiencia tem mostrado que um guarda-raio protege efficazmente os corpos que o circumdam n'um espaço circular, cujo raio é igual ao dobro da altura da haste.

Nos paiões que servem para depositos de polvora, a fim de evitar os inconvenientes que podem resultar de não serem satisfeitas as primeiras condições enunciadas, são os guardas raios collocados sobre mastros cravados verticalmente no solo, a pequena distancia do paiol.



INDICE

DAS MATERIAS CONTIDAS NO TOMO II

LIVRO IV

Calor

	Pag.
PRELIMINARES	367
Capitulo I —Thermometria.....	369
Capitulo II —Dilatação.....	391
Secção 1. ^a —Dilatação dos solidos	391
Secção 2. ^a —Dilatação dos liquidos.....	401
Secção 3. ^a —Dilatação dos gazes	416
Secção 4. ^a —Densidades dos gazes e correções das densidades dos solidos e liquidos	430
Capitulo III —Mudanças de estado	444
Secção 1. ^a —Tensão e solidificação	444
Secção 2. ^a —Vaporação, formação, propriedades dos vapores, densidade dos vapores.....	453
Secção 3. ^a —Evaporação.....	477
Secção 4. ^a —Ebullicão.....	484
Secção 5. ^a —Liquificação dos vapores, distillação.....	495
Secção 6. ^a —Hygrometria.....	502
Capitulo IV —Calorimetria	512
Secção 1. ^a —Determinação dos calores especificos	512
Secção 2. ^a —Determinação dos calores latentes	526
Capitulo V —Propagação do calor.....	533
Secção 1. ^a —Irradiação	533
Secção 2. ^a —Conductibilidade.....	562
Capitulo VI —Origens do calor e theoria mechanica do calor.....	571
Secção 1. ^a —Calor produzido pelas acções mechanicas... ..	571
Secção 2. ^a —Theoria mechanica do calor.....	576
Secção 3. ^a —Calor solar e terrestre e devido ás acções moleculares	857
Secção 4. ^a —Calor devido ás acções chemicas.....	591
Capitulo VII —Noções sobre as machinas de vapor ...	596

LIVRO V

Electricidade

	Pag.
Capítulo I —Electricidade statica.....	628
Secção 1. ^a —Principios fundamentaes de electricidade...	628
Secção 2. ^a —Medida das forças electricas — Distribuição e perda da electricidade.....	637
Secção 3. ^a —Influencia electrica	650
Secção 4. ^a —Machinas electricas	665
Secção 5. ^a —Condensação da electricidade	678
Secção 6. ^a —Effeitos da electricidade statica	687
Secção 7. ^a —Electricidade atmospherica.....	693



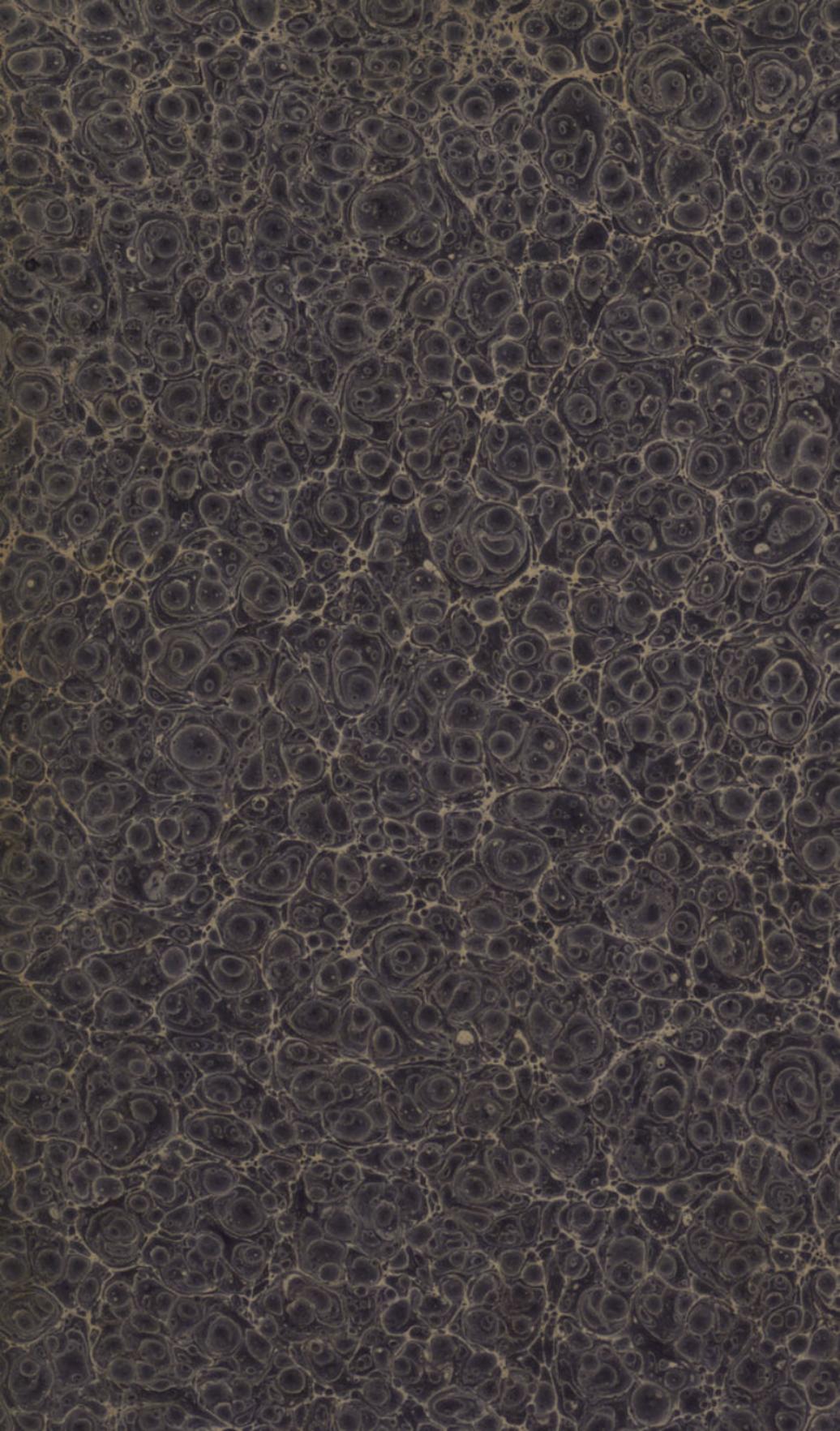
ERRATAS MAIS IMPORTANTES

TOMO I

Pag.	Lin.	Erros	Correcções
200	3	mais	menos
203	{ 3 4 }	que se repellem mutuamente	{ dotadas de perfeita mobilidade

TOMO II

Pag.	Lin.	CAPITULO III	CAPITULO II
402	3	$\frac{V_0}{Vt} = \frac{At}{A_0}$	$\frac{Vt}{V_0} = \frac{At}{A_0}$
407	24	zero	t^0
408	{ 23 26 27 }	v	v_0
		$v(1 + d_i)$	$v_0(1 + d_i)$
		$v(1 + k_i)$	$v_0(1 + k_i)$
409	24	zero dado	será dada
411	18	$d_i = at + b t' + ct'$	$d_i = at + bt^2 + ct^3$
426	40	$(v \pm \pi r^2 a) 760 \overline{\mp} x = V 760$	$(v \pm \pi r^2 a) (760 \overline{\mp} x) = V 760$
480	7	calor recebido é	calor recebido pelo liquido é
503	26	$p = \frac{(1^{or}, 293) (0, 622) f}{(1 + at) 760}$	$p = \frac{1^{or}, 293 V \times 0, 622 f}{(1 + at) 760}$
512	{ 12 15 }	o^0 e t^0	0^0 a t^0
		{ em numeros 1, 2, 3... Assim sim enquanto	{ aos numeros 1, 2, 3... Assim comquanto
517	{ 1 15 }	p	P
		p'	p
522	39	maior	menor.
528	31	t	T
533		CAPITULO IV	CAPITULO V
537	{ 8 24 }	do lado	de um lado
		coberta	coberto
559	10	0^0	90^0
571		CAPITULO V	CAPITULO VI
596		CAPITULO VI	CAPITULO VII





RÓ
MU
LO



CENTRO CIÊNCIA VIVA
UNIVERSIDADE COIMBRA

1329658600

