

Coleção de Física



Fonte:
Catálogo do Museu de Física do ISEL – Da Physica à Engenharia

Introdução

A coleção oitocentista de instrumentos científicos de física do Instituto Superior de Engenharia de Lisboa (ISEL) teve como principal proveniência o Museu Industrial – depois Museu Tecnológico – do Instituto Industrial de Lisboa, fundado por decreto régio de 1852, de que o ISEL é sucessor.

Distingue-se pelo seu interesse histórico-científico, raridade e beleza e também como testemunho do ensino das ciências em Portugal.

Na sequência de um protocolo assinado em 2008, parte da coleção encontra-se no Museu Nacional de História Natural e da Ciência (MUHNAC).

Fonte:

[Catálogo do Museu de Física do ISEL – Da Physica à Engenharia.](#)

Contatos:

Núcleo de Gestão do Acervo Museológico

Serviço de Documentação e Publicações

Tel.: (+351) 218 317 000

E-mail: sdocpub@isel.pt

Amperímetro

Fabricante: S. Grauer et Cie – Paris

50x100x135 mm // metal e vidro

O ***amperímetro*** é um aparelho destinado a medir a intensidade da corrente elétrica. O valor da intensidade da corrente é medido diretamente numa escala graduada em ampere, que é a unidade do Sistema Internacional de Unidades. O seu princípio de funcionamento é semelhante ao do ***galvanómetro***.



Anel de's Gravesande

Fabricante: Les Fils d'Émile Deyrolle, Paris, nº 4343 do respetivo catálogo

292x93x160 mm // cobre, latão, madeira e metal

Denomina-se **anel de's Gravesande**, fig.538, um anel pequeno, metálico m , pelo qual passa livremente, à temperatura ambiente, uma esfera pequena de cobre a, que tem o mesmo diâmetro.

Quando se aquece apenas a esfera, por intermédio da chama duma lamparina de álcool, esta deixa de passar através do anel que permaneceu frio, o que prova o aumento do seu volume.



Anel de's Gravesande (Cont.)

Mas se se aquece ao mesmo tempo, e igualmente, a esfera e o anel, a passagem da esfera através do anel volta a fazer-se livremente: isto prova que um sólido de forma esférica e um anel de igual diâmetro da mesma substância sofrem a mesma variação de diâmetro quando submetidos à mesma variação de temperatura.

(baseado em A. Ganot, G. Maneuvrier, *Traité Élémentaire de Physique*, 21^{ère} édiiton, Librairie Hachette et Cie., Paris, 1894).



Aparelho de's Gravesande

Fabricante: Les Fils d'Émile Deyrolle, Paris, nº 3512 do respectivo catálogo

760x645x195 mm // madeira, metal, fio

O aparelho de's Gravesande, fig.40, serve para observar as condições de equilíbrio de forças paralelas atuando num sistema rígido. É constituído por uma barra graduada a cujas extremidades **A** e **B** se prendem dois fios que, depois de passarem pelas golas de roldanas fixas, suportam dois pesos iguais que equilibram o peso da barra.



Aparelho de's Gravesande (Cont.)

Se, em seguida, às extremidades **A** e **B** da barra se aplicarem os pesos de intensidades **P** e **P'**, para restabelecer o equilíbrio é preciso suspender um peso de intensidade **R = P + P'** num ponto **C** da barra de tal modo que as intensidades dos pesos **P** e **P'** sejam inversamente proporcionais às distâncias **AC** e **CB** das respectivas extremidades ao ponto da barra onde se suspende **R**:

$$\frac{P}{P'} = \frac{CB}{AC}$$

(baseado em F. J. Gomes, A. R. Machado, *Elementos de Física Descritiva*, 6ª edição, Editora Livraria Cruz, Braga 1918).



Aparelho para demonstração dos efeitos da força centrífuga

Fabricante: Les Fils d'Émile Deyrolle, Paris.

170x790x295 mm // Madeira e metal

O ***aparelho para demonstração dos efeitos da força centrífuga***, fig.1, serve para observar os efeitos do movimento de rotação em vários corpos e é constituído por uma base retangular de madeira onde se insere uma roda dentada munida de uma manivela. Uma corrente de transmissão liga a referida roda dentada a outra mais pequena. No eixo desta última podem aplicar-se vários acessórios, que a seguir se descrevem, e que são guardados numa outra placa de madeira.



Aparelho para demonstração dos efeitos da força centrífuga (Cont.)

Os efeitos observados nos sistemas em rotação explicam-se recorrendo a forças de inércia que, neste caso, são *forças centrífugas*. Num referencial animado de movimento de rotação com a velocidade angular ω , os corpos de massas m e à distância r do eixo de rotação estão sujeitos a uma força centrífuga de intensidade $F = m \omega^2 r$



Aparelho para demonstração dos efeitos da força centrífuga (Cont.)

Os vários acessórios existentes são os seguintes:

1- Regulador de Watt – constituído por duas esferas metálicas ligadas a dois braços articulados, que estão fixos superiormente, fig.2. A meio de cada um destes braços articula-se uma haste que termina numa corrediça que se pode deslocar ao longo do eixo vertical. Quando o sistema roda em torno do eixo EE' , a corrediça sobe ao longo do eixo elevando as esferas até à posição em que a intensidade da força centrífuga iguala a componente horizontal das forças de ligação, e a componente vertical das referidas forças equilibra o peso das esferas.

Este dispositivo permitia regular automaticamente a abertura de válvulas e assim controlar o fluxo de vapor em função da velocidade de rotação da máquina.



Aparelho para demonstração dos efeitos da força centrífuga (Cont.)

2 – Dispositivo constituído por dois cilindros de latão ligados entre si por um fio inextensível, que passa por duas roldanas, de tal madeira que um pode deslizar ao longo de um varão vertical e outro ao longo de um varão horizontal, fig.3. Na ausência de rotação um dos cilindros (o que se pode deslocar segundo a vertical) repousa sobre a base. Quando o conjunto é sujeito a uma rotação em torno do eixo vertical, os dois cilindros movem-se até nova posição de equilíbrio, que se atinge quando forem iguais o peso do cilindro que se move na vertical e a intensidade da força centrífuga a que está sujeito o outro cilindro.



Aparelho para demonstração dos efeitos da força centrífuga (Cont.)

3 – Acessório composto por duas esferas de massas diferentes, ligadas entre si por uma corrente, que podem mover-se livremente ao longo de uma haste metálica horizontal, fig.4. Escolhendo adequadamente a posição inicial, é possível encontrar uma posição de equilíbrio (em que cada uma das esferas se posiciona de cada um dos lados do eixo de rotação) que é independente da velocidade de rotação. Nestas condições, a corrente fica esticada e são iguais as intensidades das forças centrífugas que atuam em cada uma das esferas. A razão entre as distâncias de cada uma das esferas ao eixo de rotação é, nessa altura, igual ao inverso do quociente entre as massas respetivas.



Aparelho para demonstração dos efeitos da força centrífuga (Cont.)

4 – Dispositivo constituído por dois tubos oblíquos iguais, em que pode ser introduzido líquido e uma esfera que se ajusta ao tubo e que se pode mover ao longo do mesmo, fig.5. Uma destas esferas é de madeira enquanto a outra é de metal. Quando o sistema entrar em rotação, o líquido nos dois tubos e a esfera de metal sobem até ao topo. Todavia, por ser menos densa do que o líquido, a esfera de madeira passará a ocupar uma posição inferior, por baixo do líquido, ao contrário do que se observa quando o sistema está em repouso. O fenómeno observado é o fundamento das máquinas centrífugas.



Aparelho para demonstração dos efeitos da força centrífuga (Cont.)

5 – *Meridianos elásticos* – são constituídos por duas lâminas curvas de aço, muito flexíveis, assumindo a forma esférica, fig.6. São atravessadas, segundo o diâmetro comum, por uma haste metálica, ficando livres superiormente e fixas inferiormente. Imprimindo um movimento de rotação rápida à haste as lâminas deformam-se e observa-se o achatamento da forma esférica anterior. A explicação para o efeito observado baseia-se na força centrífuga, que obriga cada ponto do aro a afastar-se do centro de curvatura, provocando a sua deformação elástica.



Aparelho para demonstração dos efeitos da força centrífuga (Cont.)

6 – Acessório constituído por um anel que está fixo ao eixo de rotação do qual pende outro anel de menor diâmetro, pendurado num arame sobre a linha do eixo vertical, fig.7. Quando o sistema é posto a rodar com determinada velocidade angular, o anel roda também com a mesma velocidade angular. Quando esta velocidade for relativamente elevada, verificar-se-á que o anel menor se começa a inclinar até assumir uma posição horizontal.



Aparelho para demonstração dos efeitos da força centrífuga (Cont.)

7 – *Disco de Newton* – Este aparelho permite fazer a síntese da luz branca, provando que a sensação do branco é devida à sobreposição das sensações luminosas causadas por outras cores. É constituído por um disco circular dividido em 28 sectores agrupados sete a sete. Em cada grupo os sectores são pintados sucessivamente com as cores vermelho, alaranjado, amarelo, verde, azul, anil e violeta, e cada um tem extensão proporcional à que a respetiva cor tem no espectro solar. Imprimindo ao disco um movimento de rotação rápida, temos durante o movimento a ilusão de o disco ser branco acinzentado, em virtude da persistência das impressões na retina.



Aparelho para demonstração dos efeitos da força centrífuga (Cont.)

8 – *Tubo de Tyndall* – Um tubo que contém éter é fechado por uma rolha de cortiça e apertado entre duas placas de madeira articuladas em pinça, fig.8. Se imprimirmos ao tubo um movimento de rotação rápido o éter entra em ebulição e a rolha salta. Esta experiência prova que a fricção entre o tubo e a pinça de madeira desenvolve calor, e que foi possível converter energia mecânica noutra forma de energia: energia calorífica ou térmica.



Aparelho para demonstração dos efeitos da força centrífuga (Cont.)

9 – *Pêndulo de Foucault* – Dispositivo constituído por um quadro retangular com um pêndulo suspenso, fig.9. O ponto de suspensão do pêndulo coincide com o eixo de rotação do quadro. Pondo o pêndulo a oscilar e dando um movimento de rotação lento ao quadro observa-se que o plano de oscilação do pêndulo não se altera.



Aparelho para demonstração dos efeitos da força centrífuga (Cont.)

10 – Acessório constituído por um vaso de vidro que possui uma haste metálica permitindo a sua inserção no aparelho de rotação, fig.10. Serve para observar o efeito da força centrífuga sobre a superfície livre da água no vaso, quando se lhe imprime um movimento de rotação.

(Os textos apresentados basearam-se em *O Engenho e a Arte – Colecção de Instrumentos do Real Gabinete de Física*, Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa 1997 e em F. J. Sousa Gomes, A. R. Machado, *Elementos de Física Descritiva*, 6ª edição, Editora Livraria Cruz, Braga 1918).



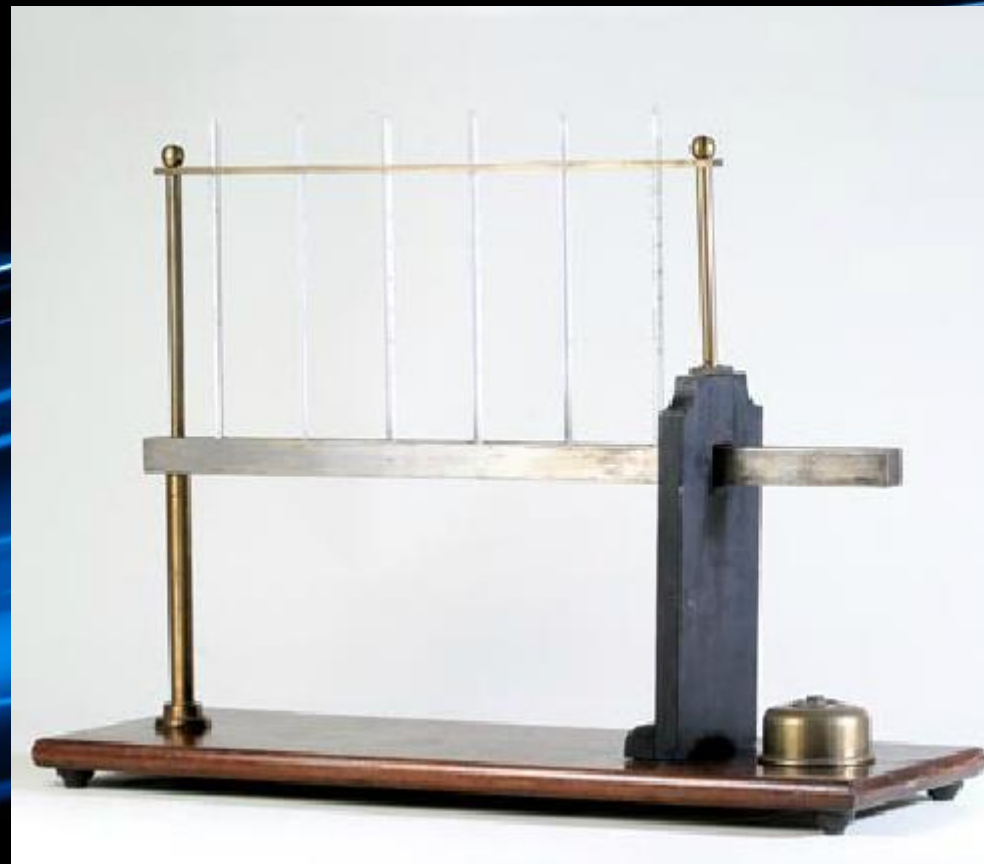
Aparelho de Despretz

Fabricante: Les Fils d'Émile Deyrolle, Paris, nº 44690 do respetivo catálogo

390x548x198 mm // madeira, metal, vidro e mercúrio

O ***aparelho de Despretz*** serve para estudar a condutibilidade térmica do material de que é constituído uma barra.

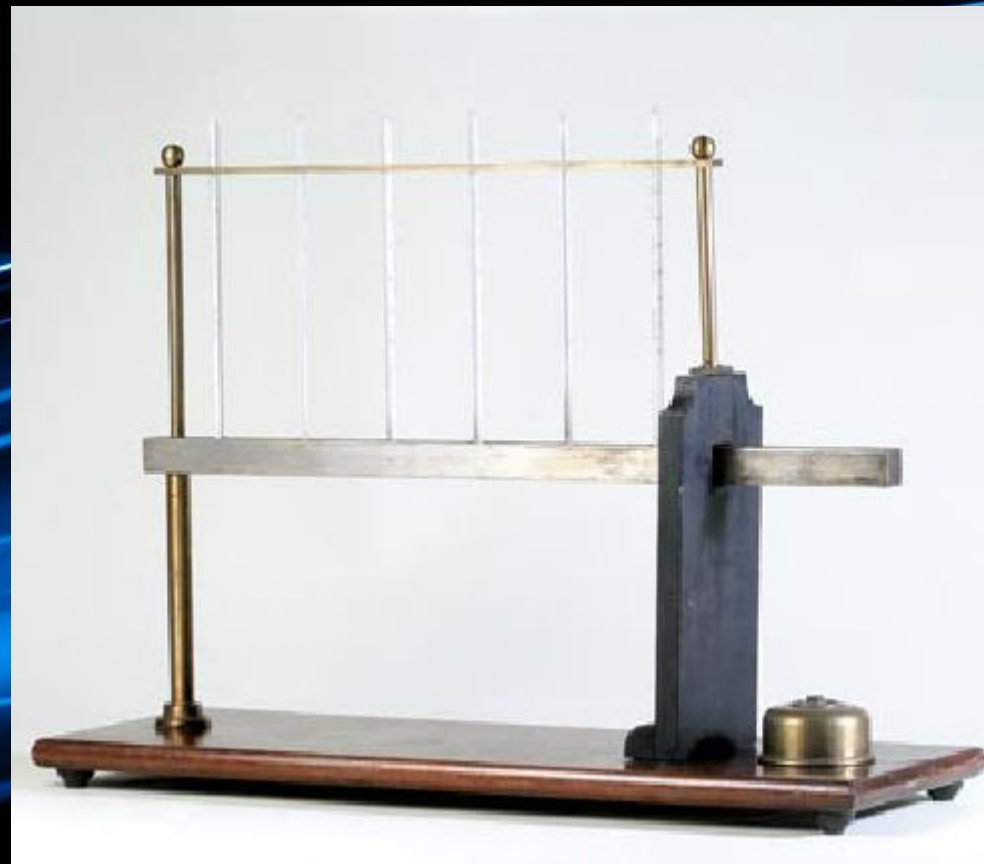
Consideremos, por exemplo, uma barra de metal aquecida apenas numa das suas extremidades; é evidente que a temperatura não será nunca uniforme ao longo de todo o comprimento da barra porque a radiação emitida pela superfície da barra enfraquece o fluxo de calor que se propaga de um troço da barra ao seguinte e acabará mesmo por torna-lo impercetível se a barra for suficientemente comprida.



Aparelho de Despretz (Cont.)

Se forem mantidas constantes, tanto a temperatura do ar exterior como a da extremidade aquecida, acabar-se-á por se estabelecer um regime permanente no qual cada troço da barra conservará indefinidamente a mesma temperatura, tanto mais baixa, aliás, quanto mais afastado da fonte de calor.

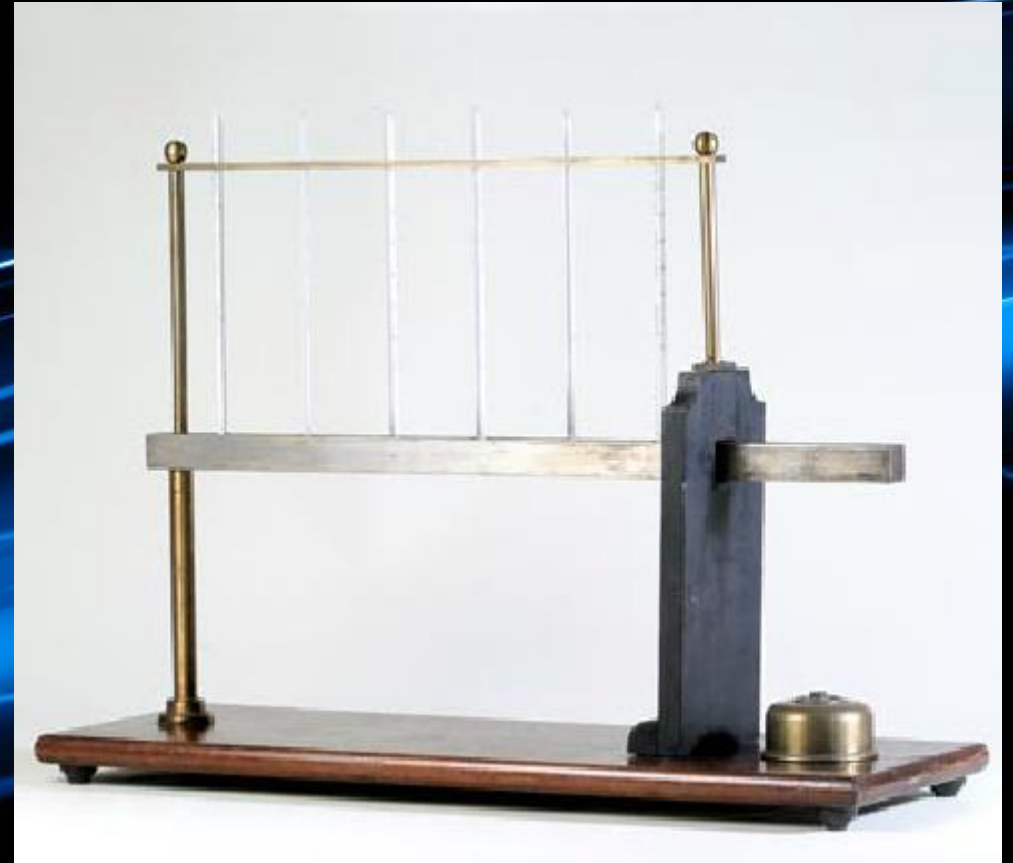
Se a barra for comprida, homogênea e cilíndrica, e se a sua superfície tiver sempre o mesmo poder emissivo, o cálculo permite estabelecer que, em regime permanente, os excessos das temperaturas da barra relativamente à temperatura ambiente decrescem em progressão geométrica quando as distâncias dos troços à extremidade aquecida crescem em progressão aritmética.



Aparelho de Despretz (Cont.)

A figura 276 representa o dispositivo que ajudou Despretz a verificar esta lei. Uma fonte de calor aquece uma das extremidades de uma barra prismática cuja temperatura é, assim, mantida constante. Observam-se as temperaturas das diversas regiões da barra utilizando termômetros cujos bolbos mergulham em pequenas cavidades escavadas a distâncias regulares e cheias de mercúrio.

(traduzido de M. Chassagny, *Cours Élémentaire de Physique*, Librairie Hachette et Cie., 6^{ème} édition, Paris, 1912)



Aparelho de Haldat

Fabricante: Les Fils d'Émile Deyrolle, Paris, nº 3833 do respectivo catálogo

650x550x220 mm // madeira, metal e vidro

O **aparelho de Haldat**, fig.96, serve para estudar as forças de pressão exercidas pelos líquidos sobre os fundos planos e horizontais dos recipientes onde estão contidos.

“Pressão sobre o fundo dos vasos. – A pressão que um líquido exerce sobre o fundo de um vaso é independente da sua forma: é igual ao peso de uma columna líquida de base igual à do fundo. É esta propriedade uma consequencia do principio de igualdade de pressão.



Aparelho de Haldat (Cont.)

*Appareilho de Haldat. – Serve este aparelho, fig.96, para mostrar esta propriedade. Consta de um tubo de vidro recurvado, contendo mercúrio nos dois ramos: A um d'eles **A** podem adaptar-se successivamente vasos de diferentes fórmulas, mas cujo fundo, que é ôco, é o mesmo para todos; ao outro ramo **B** adapta-se um tubo estreito **t**.*

*Deitando água em vasos de bocca larga **M**, ou de bocca estreita **N**, ou rectos **O**, sempre à mesma altura **ab**, vê-se o mercúrio subir no tubo **t** sempre à mesma altura; o que prova que a pressão exercida pela água sobre o mercúrio que fórmula o fundo dos vasos é a mesma, qualquer que seja a fórmula dos vasos, uma vez que tenham a mesma base e que o nível do líquido seja o mesmo.*



Aparelho de Haldat (Cont.)

Vê-se pois que nos vasos de bocca larga, a pressão sobre o fundo é menor do que o peso do líquido n'elles contido; nos vasos de bocca estreita a pressão é maior do que o peso do líquido que eles conteem; nos vasos rectos a pressão é igual ao peso de todo o líquido.

É a curiosa particularidade dos vasos de bocca estreita soffrerem maior pressão no fundo do que o peso do líquido que elles conteem, que se denomina paradoxo hidrostático''.

(transcrito de F. Fonseca Benevides, *Noções de Physica Moderna*, 3ª edição, Tipographia da Academia Real das Sciencias, Lisboa 1880).



Aparelho de Haldat (Cont.)

NOTA: Nesta descrição Fonseca Benevides não distingue entre pressão (força exercida sobre a unidade de área do fundo do vaso) e força de pressão (força exercida sobre toda a superfície do fundo).

Assim, utiliza neste texto, indevidamente, o termo pressão onde deveria ter usado a expressão força de pressão.



Aparelho de Hope

Fabricante: Les Fils d'Émile Deyrolle, Paris, nº 4358 do respetivo catálogo

288x135x135 mm // latão e vidro

O *aparelho de Hope* é utilizado para observar o comportamento anómalo da água com respeito à sua dilatação. Com efeito, quando baixa a sua temperatura, o volume de uma dada massa de água diminui até à temperatura de 4°C; abaixo dos 4°C o volume aumenta à medida que desce a temperatura até ao ponto de congelação, 0 °C. Por isso a água tem a sua densidade máxima à temperatura de 4°C.

É constituído por uma proveta que apresenta dois orifícios laterais, um na parte superior e outro na parte inferior, onde se introduzem dois termómetros (fig.565). Uma manga cheia de gelo, ou de uma mistura frigorífica, envolve a parte média da proveta.



Aparelho de Hope (Cont.)

Se a proveta tiver sido previamente cheia de água à temperatura ambiente (entre 10°C e 12°C), observa-se que o termómetro superior permanece quase estacionário enquanto que o termómetro inferior baixa rapidamente até 4°C. Depois, observa-se que se mantém estacionário o termómetro inferior enquanto que o superior baixa, não apenas até 4°C, mas até 0°C. Conclui-se assim que à medida que a água arrefece até aos 4°C vai aumentando a sua densidade e desce para a parte inferior da proveta, mas se arrefecer ainda mais dilata-se e sobe agora para a parte superior da mesma proveta. Por conseguinte, à temperatura de 4°C a água atinge a sua densidade máxima.

(baseado em A. Ganot, G. Maneuvrier, *Traité Élémentaire de Physique*, 21^{ère} édition, Librairie Hachette et Cie., Paris, 1894).



Aparelho de Ingenhousz

Fabricante: Les Fils d'Émile Deyrolle, Paris, nº 4689 do respetivo catálogo

88x210x330 mm // prata, cobre, latão, ferro, zinco, madeira e vidro

O **aparelho de Ingenhousz** serve para comparar a condutibilidade térmica de diferentes substâncias na fase sólida. A condutibilidade térmica de corpos sólidos é variável com o tipo de material de que são formados e pode ser comparada muito facilmente com o auxílio do aparelho utilizado por Ingenhousz, que é constituído por uma pequena caixa retangular de latão (fig.274), onde são inseridas numa das suas paredes varetas de diversas substâncias: prata, cobre, latão, ferro, zinco, madeira e vidro.



Aparelho de Ingenhousz (Cont.)

Estas varetas, que têm o mesmo comprimento e o mesmo diâmetro, penetram alguns milímetros no interior da caixa e recobrem-se previamente com uma camada de cera amarela, mergulhando-as alguns instantes num banho de cera fundida e deixando-as de seguida arrefecer depois de retiradas.

Enchendo a caixa de água a ferver, vê-se a cera fundir-se sobre as varetas até uma distância maior ou menos conforme maior ou menos condutibilidade da substância.

Observa-se que a prata é o melhor condutor, seguindo-se o sobre, o latão, o zinco, o ferro, o vidro e a madeira, sendo a condutibilidade térmica destas duas últimas substâncias incomparavelmente menor que a dos metais.



Aparelho de Ingenhousz (Cont.)

(baseado em M. Chassagny, *Cours Élémentaire de Physique*, Librairie Hachette et Cie., 6^{ème} édition, Paris, 1912).

NOTA: Neste aparelho já não existe a vareta de madeira e a de vidro está danificada.



Aparelho de Pascal

Fabricante: Desconhecido

400x260x172 mm // madeira, metal e vidro

O ***aparelho de Pascal*** destina-se a verificar que a força exercida por um líquido em repouso sobre a superfície horizontal do fundo do vaso que o contém é independente da forma do vaso e, para uma dada área do fundo, depende apenas da altura a que se encontra a superfície livre do líquido (consequência do princípio fundamental da hidrostática). Neste aparelho podem enroscar-se vasos de formas diferentes numa mesma peça fixa de latão (fig.100). O fundo horizontal destes vasos, de área constante, é constituído por um obturador que se mantém aplicado ao bordo inferior da rosca prendendo-a ao prato de uma balança, que se equilibra com tara no outro prato.



Aparelho de Pascal (Cont.)

A seguir deita-se água no recipiente até o obturador de desprender. Verifica-se, com a ajuda de um indicador, que a altura da água necessária para o obturador se desprender é independente da forma do vaso, isto é, qualquer que seja a forma do vaso enroscado o obturador desprende-se desde que a água atinja nele um determinado nível, sempre o mesmo, qualquer que seja a forma do vaso.

(baseado em M. Chassagny, *Cours Élémentaire de Physique*, Librairie Hachette et Cie., 6^{ème} édition, Paris, 1912).



Aparelho de Pascal – Prensa hidráulica

Fabricante: Les Fils d'Émile Deyrolle, Paris, nº 3824 do respetivo catálogo

284x402x200 mm // madeira e metal

O ***aparelho de Pascal***, fig.111, em que se baseia o funcionamento da prensas hidráulicas, é uma aplicação do princípio de Pascal. Foi imaginado por Pascal, mas não foi construído senão em 1796 pelo engenheiro Inglês Bramah.

Princípio – Imaginemos um líquido, contido num vaso formado por dois corpos de bomba **C**, **C'** (fig.124) de seções diferentes, **S**, **S'**, fechados por êmbolos **P**, **P'** e unidos por um tubo **AB**. Se se exercer uma força **F** sobre **P**, carregando-o, por exemplo, com um peso, o êmbolo **P'** tende a elevar-se, e para o manter em equilíbrio, é preciso aplicar-lhe uma força **F'** que está para **F** assim como **S'** está para **S**:



Aparelho de Pascal – Prensa hidráulica (Cont.)

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

Então, se S' for 10, 100, 1000, vezes superior a S , F' será 10, 100, 1000 maior que F .

(traduzido de A. Ganot, G. Maneuvrier, *Traité Élémentaire de Physique*, 26^{ème} édition, Librairie Hachette et Cie, Paris 1918).



Aparelho de Silbermann

Fabricante: Les Fils d'Émile Deyrolle, Paris, nº 5122 do respetivo catálogo

435x440x240 mm // espelhos, vidro, metal

O ***aparelho de Silbermann*** é constituído por um círculo graduado em latão, disposto verticalmente sobre um tripé com parafusos niveladores e munido de duas alidades **MF** e **OK**, igualmente em latão. Estas podem mover-se sobre a face posterior do círculo, rodando à volta de um eixo central e podem percorrer livremente toda a graduação que está traçada de um lado e doutro do ponto I que vai de 0° a 90° ; estas alidades possuem dois tubos semelhantes ao tubo c, cujos eixos, dirigidos rigorosamente para o centro, servem de percurso aos raios luminosos, incidentes e refratados.



Aparelho de Silbermann (Cont.)

Sobre uma das alidades, um espelho **M**, que se pode inclinar à vontade, permite enviar o raio incidente na direção pretendida, e sobre a outra alidade um pequeno écran de vidro não polido e permite receber o raio refratado. Para verificar as leis da refração, começa-se por fixar no pé do aparelho uma régua graduada horizontal **AB**, que se pode baixar ou levantar à vontade e que dá comprimentos proporcionais aos senos dos ângulos de incidência e de refração. Depois coloca-se no centro do círculo um vaso de vidro hemecilíndrico **R**, que se enche de água (ou de outro líquido qualquer) até que a sua superfície livre coincida com o plano horizontal que contém o centro do círculo. Faz-se então incidir um raio luminoso **SMO** justamente no centro do círculo graduado.



Aparelho de Silbermann (Cont.)

Aí o raio refrata-se ao entrar na água; depois sai sem se desviar novamente, perpendicularmente à parede cilíndrica do vaso. Segue-se o percurso deste raio rodando a alidade **K** até que apareça uma imagem luminosa no centro do écran **e**. O ângulo **KOE**, que faz a alidade **K** com a normal **IE** no ponto de incidência, é o ângulo de refração: o ângulo de incidência é o ângulo **MOI**, igual a **FOE**, verticalmente oposto.

A primeira lei da refração (o raio incidente, a normal no ponto de incidência e o raio refratado estão no mesmo plano) é verificada pela própria disposição do aparelho. Com efeito, o plano do limbo que contém os dois raios luminosos é perpendicular à superfície refringente.



Aparelho de Silbermann (Cont.)

Entretanto, se se imaginar que, tendo o ponto **O** como centro, se descreve o arco de círculo **CD** com o raio **OK**, o seno do ângulo de incidência é proporcional ao segmento de reta **FH**, tirada perpendicularmente ao prolongamento de **IE**, e o seno do ângulo de refração proporcional ao segmento da perpendicular baixada da mesma reta **IE**.

Determinam-se estas duas grandezas sucessivamente com a ajuda da régua **AB**. A sua razão é igual à razão

$$\frac{\text{sen } i}{\text{sen } r}$$

Entretanto, se se imaginar que, tendo o ponto **O** como centro, se descreve o arco de círculo **CD** com o raio **OK**, o seno do ângulo de incidência é proporcional ao segmento de reta **FH**, tirada perpendicularmente ao prolongamento de **IE**, e o seno do ângulo de refração proporcional ao segmento da perpendicular baixada da mesma reta **IE**.

Determinam-se estas duas grandezas sucessivamente com a ajuda da régua **AB**. A sua razão é igual à razão

$$\frac{\text{sen } i}{\text{sen } r}$$

Aparelho de Silbermann (Cont.)

Deslocando a alidade **M** faz-se variar o ângulo de incidência, e constata-se que a razão dos senos correspondentes permanece constante.

O mesmo aparelho pode servir para verificar diretamente as leis da reflexão. Basta substituir o reservatório de água por um espelho plano, cuja superfície se dispõe horizontalmente, no plano horizontal do centro. Suprime-se então a régua graduada **AB**, que se torna inútil.

(traduzido de A. Ganot, G. Maneuvrier, *Traité Élémentaire de Physique*, 21^{ère} édition, Librairie Hachette et Cie, Paris, 1894).



Aparelho de Sire

Fabricante: Les Fils d'Émile Deyrolle, Paris, nº 3835 do respectivo catálogo

760x305x240 mm // metal e vidro

O ***aparelho de Sire*** serve para demonstrar que a pressão exercida por um líquido em equilíbrio é a mesma em todos os pontos dum mesmo plano horizontal. Também se observa que um líquido em repouso, contido em vasos de formas diferentes comunicando entre si, sobe ao mesmo nível em todos os vasos – Princípio dos vasos comunicantes.

Enchendo de água até à mesma altura **h**, os três vasos **A**, **B** e **C** de formas diferentes (fig.100) observa-se que a pressão é uniforme em todos os pontos do plano horizontal **mn**, pois o mercúrio, que preenche os fundos destes vasos e que são todos iguais, sobe até ao mesmo nível nos três.



Aparelho de Sire (Cont.)

Conclui-se assim, que a pressão exercida pelos líquidos sobre o fundo dos vasos que os contém depende apenas da altura do líquido e não da forma do vaso.

Se se estabelecer a comunicação entre os três vasos, abrindo as torneiras dos tubos que os ligam, que se encontram nos anéis metálicos onde enroscam os vasos, igualmente se observa que o líquido sobe nos três vasos **A**, **B** e **C** até à mesma altura, verificando-se o princípio dos vasos comunicantes.

(baseado em *Cours de Physique*, 1^{ère}, 2^{ème} et 3^{ème} Années, par Une Réunion de Professeurs, Librairie Générale, Paris).



Aparelho para dança de bolas de sabugueiro

Fabricante: Max Kohl A. G., *Appareils de Physique*, nº 100, Tome III, Chemnitz, Allemagne, nº 92524 do respetivo catálogo

185x107x107 mm // metal, vidro, madeira

O ***aparelho para dança de bolas de sabugueiro*** destina-se a demonstrar fenómenos de atracção e repulsão electroestática.



Aparelhos para determinação dos pontos fixos da escala Celsius

Fabricante: Les Fils d'Émile Deyrolle, Paris, nº 4365 e nº 4366 do respetivo catálogo

222x107x107 mm, 425x155x155 mm // latão

Os *aparelhos para determinação dos pontos fixos da escala Celsius* são utilizados para calibrar um termómetro de mercúrio, o que se consegue marcando sobre a sua haste dois pontos fixos correspondentes a duas temperaturas fáceis de reproduzir e sempre as mesmas.

No caso da escala Celsius estes pontos fixos são a temperatura do gelo fundente e a temperatura da água pura em ebulição sob pressão normal, a que se atribuem, respetivamente, os valores 0º e 100º desta escala.



Aparelhos para determinação dos pontos fixos da escala Celsius (Cont.)

Determinação do ponto 0 – Basta mergulhar o reservatório do termómetro em gelo moído, num vaso cujo fundo tem um buraco para deixar escorrer a água proveniente da fusão do gelo (figura 512). O aparelho que existe para este fim é em latão e análogo ao representado na figura. Serve igualmente para aferir a localização do zero nas escalas destes termómetros.

Determinação do ponto 100 – O segundo ponto fixo determina-se com o aparelho de Regnault, representado na figura 514. Este aparelho é em latão e constituído por um tubo central **A**, aberto nas duas extremidades, que está solidário com um vaso cilíndrico **M** que contém água; uma espécie de manga **B**, concêntrica com o tubo **A** e envolvendo-o completamente, está presa ao mesmo vaso **M**.



Aparelhos para determinação dos pontos fixos da escala Celsius (Cont.)

Este segundo vaso envolvente, fechado nas duas extremidades, está munido com três tubuladuras **a**, **E** e **D**: em **a** passa, através duma rolha, a haste **t** do termómetro para o qual se pretende determinar o ponto 100; em **E** adapta-se um manómetro de ar livre, destinado a comparar a pressão exterior com a pressão interior do vapor; por fim a terceira tubuladura **D** permite a saída do vapor para a atmosfera depois de ter circulado à volta do termómetro. O segundo vaso envolvente impede o arrefecimento do tubo central, evitando o contato com o ar. Marca-se no ponto **a** da haste **t**, onde o nível do mercúrio estaciona, um traço que é o ponto 100 procurado.



(baseado em A. Ganot, G. Maneuvrier, *Traité Élémentaire de Physique*, 21^{ère} édition, Librairie Hachette et Cie., Paris, 1894).

Aparelhos para estudo das vibrações acústicas

Fabricante: Les Fils d'Émile Deyrolle, Paris, nº 4757 do respetivo catálogo

410x400x200 mm // madeira, metal e vidro

O ***aparelho para estudo das vibrações acústicas*** é constituído por dois tubos de vidro, curvos nas extremidades inferiores, que se unem através de um tubo de borracha. Este tubo podia ser percutido por intermédio duma peça metálica munida de um manípulo. Os tubos de vidro são suportados por duas hastes metálicas verticais fixas a uma plataforma de madeira onde também repousa o tubo de borracha que estabelece a ligação entre os tubos de vidro e se articula a uma peça que serve para percutir o tubo de borracha.



Aparelhos para estudo das vibrações acústicas (Cont.)

O catálogo Deyrolle, onde vem mencionado o aparelho, informa que servia para compreender as vibrações acústicas comparando-as às oscilações hidrostáticas. Presume-se que funcionaria enchendo-se os tubos de vidro com água e observando as vibrações longitudinais produzidas nas duas colunas de água quando se percutia o tubo de borracha, que são análogas às vibrações longitudinais do ar quando nele se propaga uma onda sonora.



Aparelho para estudo dos choques elásticos

Fabricante: Desconhecido

440x340x270 mm // marfim, madeira, metal, fio

O ***aparelho para estudo dos choques elásticos*** é constituído por sete esferas de marfim suspensas, por intermédio de fios do mesmo comprimento, de duas das faces laterais de uma peça retangular de madeira. Esta peça de madeira está fixa à parte superior de uma coluna de metal que termina num tripé.



Aparelho para estudo dos choques elásticos (Cont.)

*“Transmissão do choque através dos corpos elásticos. – Quando se transmite um choque através de uma serie de corpos elásticos em contacto, a reacção dos corpos intermédios em sentido opposto faz voltar os que se acham em contacto à fôrma e posição primitivas; assim, tendo uma série de bolas de marfim enfiadas e suspensas, estando todas na mesma direcção, desviando a bola *a*, fig. 92, que se acha em uma extremidade e deixando-a cair, o seu choque transmite-se através de todas e só faz desviar a última *b*”.*

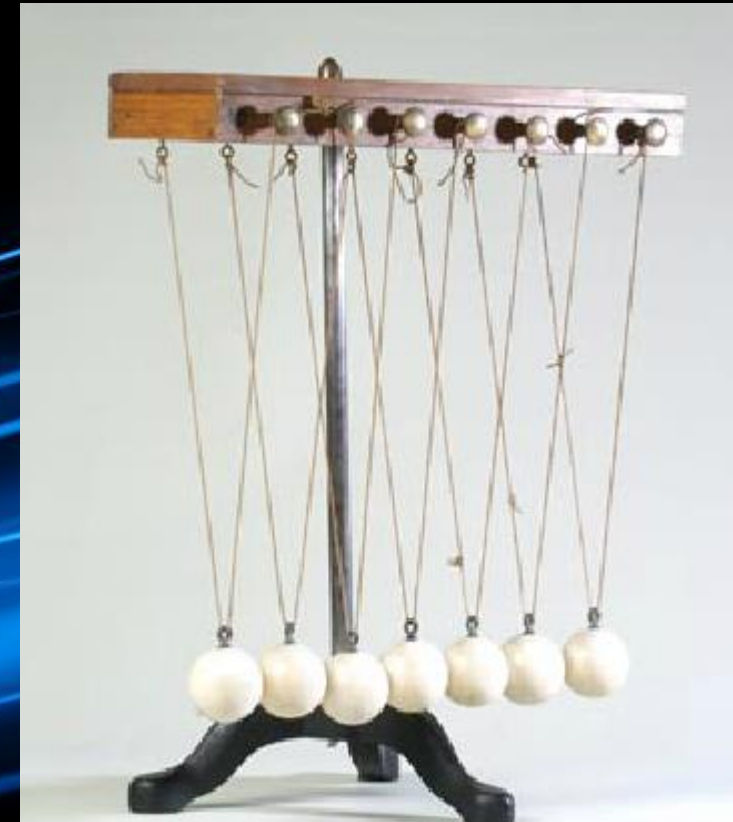
(Transcrito de F. Fonseca Benevides, *Noções de Physica Moderna*, 3ª edição, Tipographia da Academia Real das Sciencias, Lisboa 1880)



Aparelho para estudo dos choques elásticos (Cont.)

NOTA: Fonseca Benevides explicava o que se observa pelo “Princípio da igualdade de ação e reação”: Cada esfera intermédia ao chocar com a que se lhe segue exerce sobre esta uma força (ação) e recebe da parte desta uma reação igual e oposta que, por sua vez, vai anular o efeito da força que a esfera que a antecedia tinha exercido sobre ela ao chocar, permanecendo, por isso, em repouso. Constata-se, pois, que as únicas esferas que se movem são a primeira **a** e a última **b** e que, também, a velocidade com que a esfera **a** atinge a segunda esfera é igual à velocidade com que parte a última esfera **b** – conservação do momento linear durante os choques.

É de referir, ainda, que o mesmo autor utiliza os termos *corpos elásticos* com um significado diferente do atual, para designar corpos que sofrem choques elásticos.



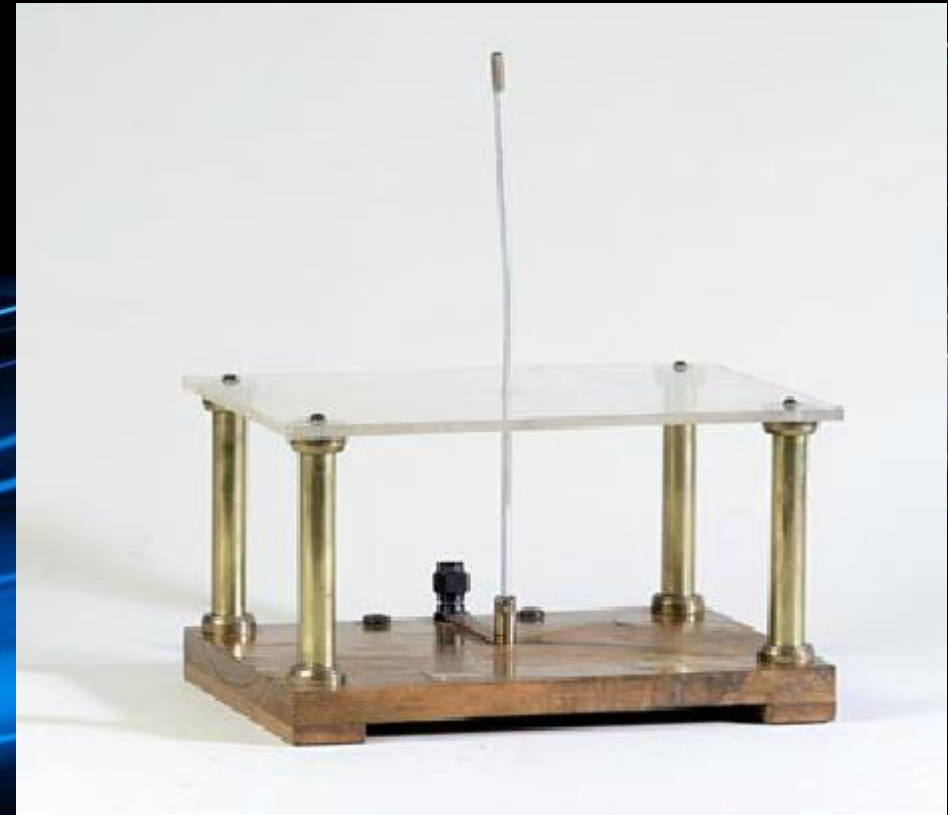
Aparelhos para visualização das linhas de força do campo magnético

Fabricante: Laboratório de Física do ILL

250x250x175 mm // metal, acrílico e madeira

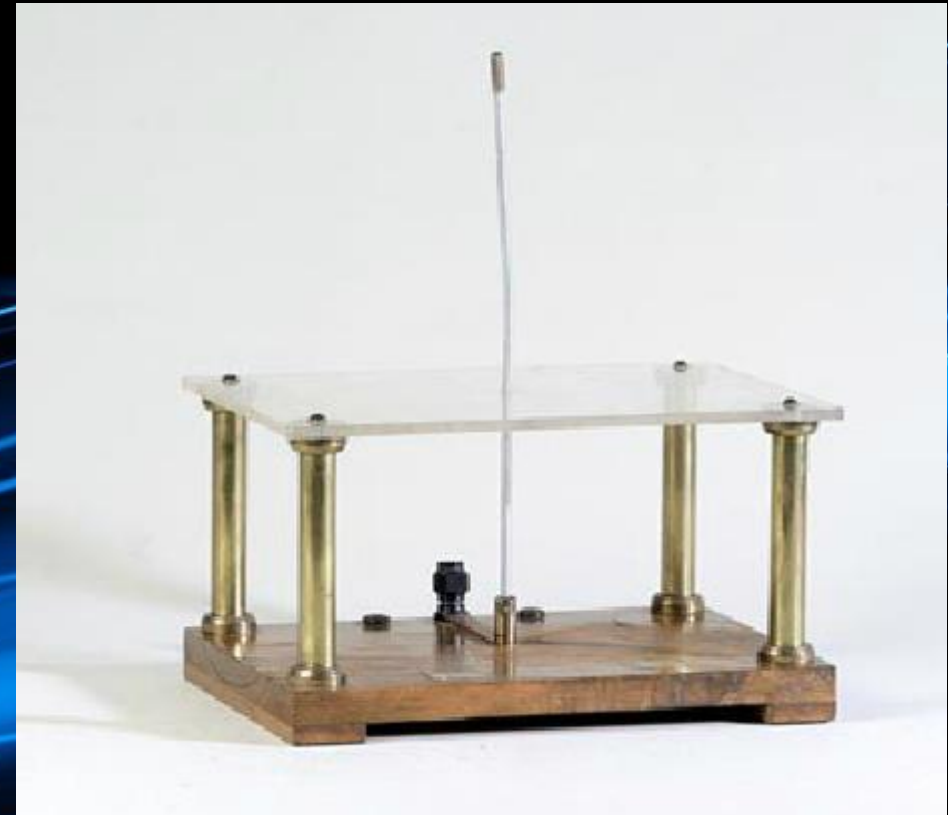
Aparelhos que permitem visualizar as linhas de força do campo magnético criado por correntes de diferentes geometrias.

Os três aparelhos existentes no Museu da Física, construídos no Laboratório de Física do Instituto Industrial de Lisboa, são constituídos por uma placa acrílica transparente, sustentada por quatro suportes cilíndricos metálicos, montados sobre uma base de madeira. As placas são atravessadas, respetivamente, pelas espiras de um solenoide de eixo horizontal, por uma espira circular de eixo horizontal e por um condutor retilíneo vertical.



Aparelhos para visualização das linhas de força do campo magnético (Cont.)

Quando estes condutores são percorridos por corrente elétrica, o campo magnético gerado pode ser visualizado polvilhando-se a placa acrílica com limalha de ferro, que se irá dispor segundo as linhas de força do campo magnético.



Balança comum - de braços iguais

Fabricante: Balanças e Moinhos – A. C. Marques
– Lisboa

437x460x127 mm // latão e metal

A parte fundamental da **balança comum** é um travessão de braços iguais em peso e em comprimento, móvel em volta dum eixo horizontal chamado fulcro, constituído pela aresta dum prisma (cutelo C), que se apoia em E (fig.99) sobre um plano horizontal suportado pela coluna do aparelho. O travessão tem nas suas extremidades dois cutelos invertidos, nos quais se suspendem os pratos, em latão, também iguais em peso.



Balança comum - de braços iguais (Cont.)

Um destes pratos suporta a massa que se quer avaliar; no outro vão-se colocando sucessivamente massas aferidas até que o travessão volte à horizontalidade, posição de equilíbrio, que se realiza quando a extremidade do fiel está coincidente com a duma peça trabalhada que termina em ponta. A coluna que suporta o travessão termina numa base circular com um parafuso nivelador.

(baseado em F. J. Gomes, A. R. Machado, *Elementos de Física Descritiva*, 6ª edição, Editora Livraria Cruz, Braga 1918)



Balança de cereais

Fabricante: Desconhecido

436x461x155 mm // latão

A **balança de cereais** é um aparelho, em latão, constituído por uma alavanca interfixa de braços desiguais, numa extremidade da qual se suspende um recipiente onde se coloca o corpo a pesar, terminando a extremidade oposta numa massa que equilibra a balança quando descarregada. Solidário com esta alavanca existe um outro ramo, que se posiciona verticalmente quando a balança está descarregada e em equilíbrio. Este ramo, que se move em frente duma escala circular, termina numa massa e apresenta junto da sua extremidade uma janela, contendo um indicador.



Balança de cereais (Cont.)

Quando se carrega a balança, para que seja nulo o momento resultante de todas as forças aplicadas em relação ao eixo de rotação, condição de equilíbrio, vão variar as posições da alavanca e do ramo com ela solidário. A posição do indicador sobre a escala circular, quando se restabelece o equilíbrio, permite determinar o peso desconhecido.

Na coluna suporte da alavanca pode girar um outro dispositivo, em forma de cone truncado, com o fundo móvel. Presume-se que serviria para introduzir a quantidade de cereal que se tinha pesado no local onde ficaria guardado.



Balança de Mohr - Westphal

Fabricante: Desconhecido, análogo ao nº 1660 do catálogo Dr. Stöhrer u. Sohn

Physikalische und Chemische Lehrmittel, Ausgabe IX, Leipzig

92x242x178 mm // madeira e metal

A **balança de Mohr – Westphal** serve para determinar densidades de substâncias líquidas. O emprego desta balança fundamenta-se no princípio de Arquimedes.

Nesta balança não há pratos, e o travessão tem braços desiguais (figura 24). O braço maior A, está dividido em dez partes iguais, a partir do fulcro, e tem na extremidade um gancho que corresponde à divisão 10; este gancho destina-se a suspender um imersor de vidro que está munido de um termómetro.



Balança de Mohr – Westphal (Cont.)

O braço menor **B**, tem uma massa de metal **M**, cujo peso equilibra, no ar, o peso do imersor. Este braço termina por uma ponta, **a**, que oscila em frente de uma outra ponta fixa, **a'**.

Nesta balança as massas marcadas estão substituídas por cavaleiros. A balança possui um sistema de quatro cavaleiros diferentes, **C1**, **C2**, **C3** e **C4**, de pesos decrescentes, sendo o peso de cada um dez vezes menos do que o imediatamente superior. Por construção, o cavaleiro maior **C1**, tem um peso tal que, colocado na divisão 10, equilibra a impulsão exercida pela água destilada a 4°C, sobre o imersor. Se se considerar esta impulsão igual à unidade, pode-se atribuir o valor 1 ao cavaleiro **C1** quando colocado naquela posição. A este mesmo cavaleiro quando colocado nas outras divisões, correspondem décimas de unidades, isto é, por exemplo, **C1** colocado na divisão 9 representa 0,9.



Balança de Mohr – Westphal (Cont.)

Quando se mergulha o imersor no líquido cuja densidade se quer determinar, procura-se equilibrar a impulsão exercida pelo líquido com cavaleiros, convenientemente colocados nas divisões marcadas.

Os pesos dos outros cavaleiros **C2**, **C3** e **C4**, são, respetivamente, $1/10$, $1/100$ e $1/1000$ do peso do cavaleiro **C1**. Por isso, os seus valores, quando colocados nas divisões 9,8 ..., serão, respetivamente, $1/10$, $1/100$ e $1/1000$ dos valores atribuídos ao cavaleiro **C1** nas mesmas divisões.



Balança de Mohr – Westphal (Cont.)

Conseguido o equilíbrio, a simples leitura dos valores e das posições ocupadas pelos cavaleiros, dá um valor aproximado da densidade do líquido em relação à água, que precisa de ser corrigido tendo em consideração a variação da densidade dos líquidos com a temperatura.

(baseado em A. Guerreiro e R. Seixas, *Trabalhos Práticos de Física*, Porto Editora).



Balança de Precisão

Fabricante: Desconhecido

484x10x260 mm // madeira, metal e vidro

*“A **balança de precisão** conta essencialmente de um travessão, que pode oscilar em torno de um cutelo horizontal (cutelo de oscilação), e que tem em cada extremidade um cutelo destinado à suspensão de cada um dos pratos (cutelo de suspensão).*

O cutelo de oscilação descansa numa almofada fixa à coluna. A balança assenta sobre uma base de mármore ou vidro, com parafusos de nivelamento. Uma caixa com portas de vidro protege a balança (figura anexa). Na face anterior ou numa das faces laterais da caixa da balança há uma alavanca ou botão cuja manobra permite libertar e imobilizar o travessão.



Balança de Precisão (Cont.)

As oscilações do travessão são observadas por meio de um fiel. Nos modelos mais simples a ponta do fiel desloca-se sobre uma escala fixa à coluna. Outras vezes, o próprio fiel sustenta uma escala cuja leitura se faz por meio de um visor fixo à face anterior da caixa.

As caixas dos pesos de precisão têm todas uma pinça para segurar os pesos, e um ou mais cavaleiros, de peso conhecido, cujo emprego dispensa o dos pesos muito pequenos (miligramas ou fracções)''.

(transcrito de A. Ferreira, *Trabalhos Práticos de Física*, Livraria Sá da Costa, Lisboa 1936)



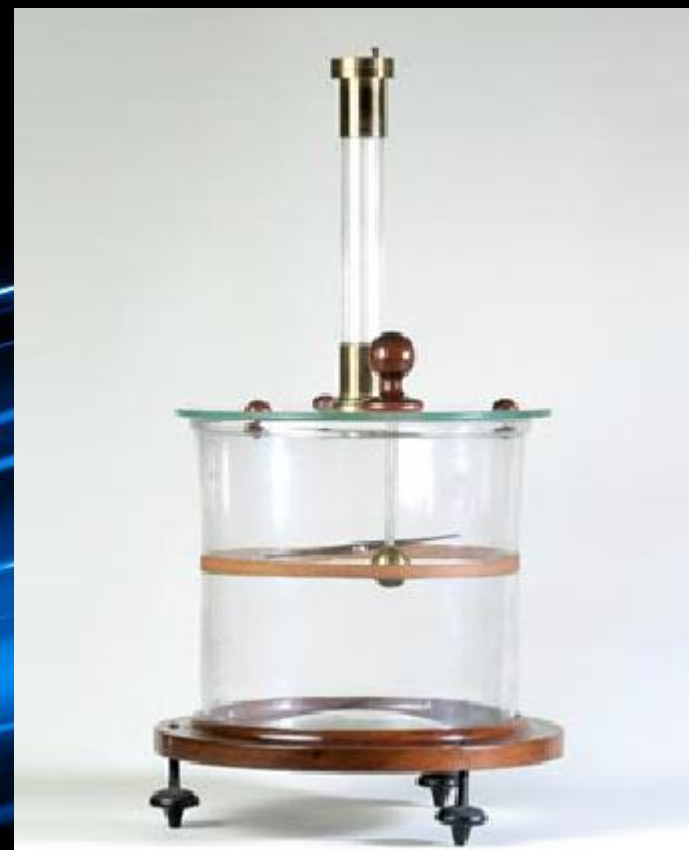
Balança de torção de Coulomb

Fabricante: *Les Fils d'Émile Deyrolle*, Paris, nº 5860 do respetivo catálogo

620x325x325 mm // metal, vidro e madeira

A **balança de torção de Coulomb** é um aparelho concebido pelo físico francês Charles Coulomb (1736-1806), para medir pequenas cargas elétricas e estimar as forças eletrostáticas atrativas ou repulsivas que se estabelecem entre corpos carregados. As experiências levadas a cabo por Coulomb culminariam na enunciação da conhecida lei com o seu nome.

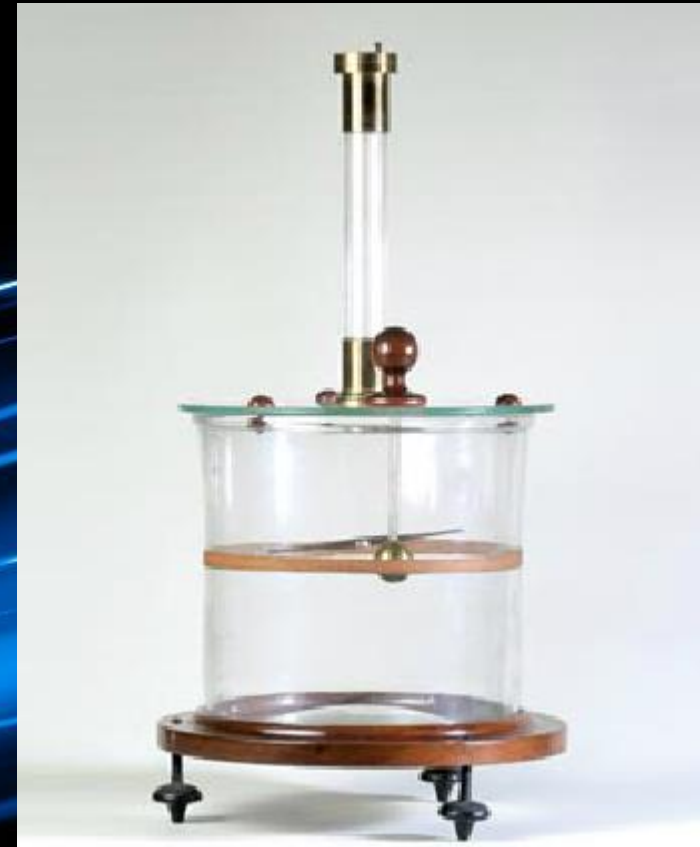
O exemplar existente no Museu de Física é constituído por uma caixa cilíndrica de vidro montada sobre uma base de madeira e assente em três pés ajustáveis em altura.



Balança de torção de Coulomb (Cont.)

A meia altura desta caixa existe uma escala graduada, que abrange todo o seu perímetro. A caixa está coberta por uma tampa de vidro, do centro da qual sobe um tubo cilíndrico de vidro, tendo no topo uma cabeça metálica rotatória. Desta cabeça está suspensa, por meio de um fio fino, uma agulha de material isolante, mantida na posição horizontal a meia altura da caixa. Esta agulha devia ter uma pequena esfera condutora (de medula de sabugueiro) numa das extremidades e um disco metálico vertical (de latão) na outra, ambos em falta neste exemplar.

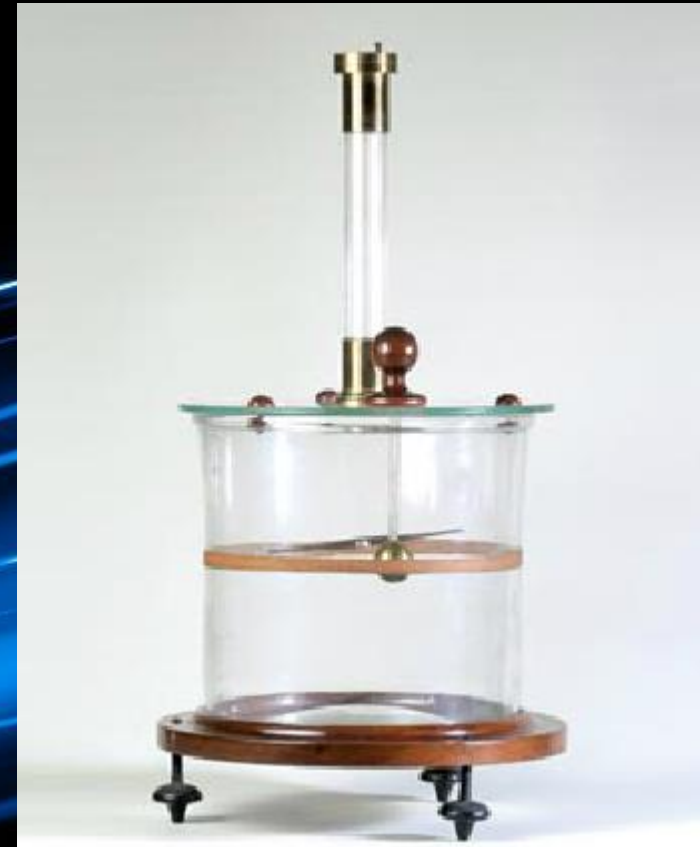
Uma esfera metálica, na extremidade de uma vareta de vidro, pode ser introduzida no interior da balança, ficando suspensa da tampa na vizinhança da agulha isolante.



Balança de torção de Coulomb (Cont.)

Uma descrição pormenorizada do funcionamento da **balança de torção de Coulomb**, pode ser encontrada no catálogo do Real Gabinete de Física da Universidade de Coimbra:

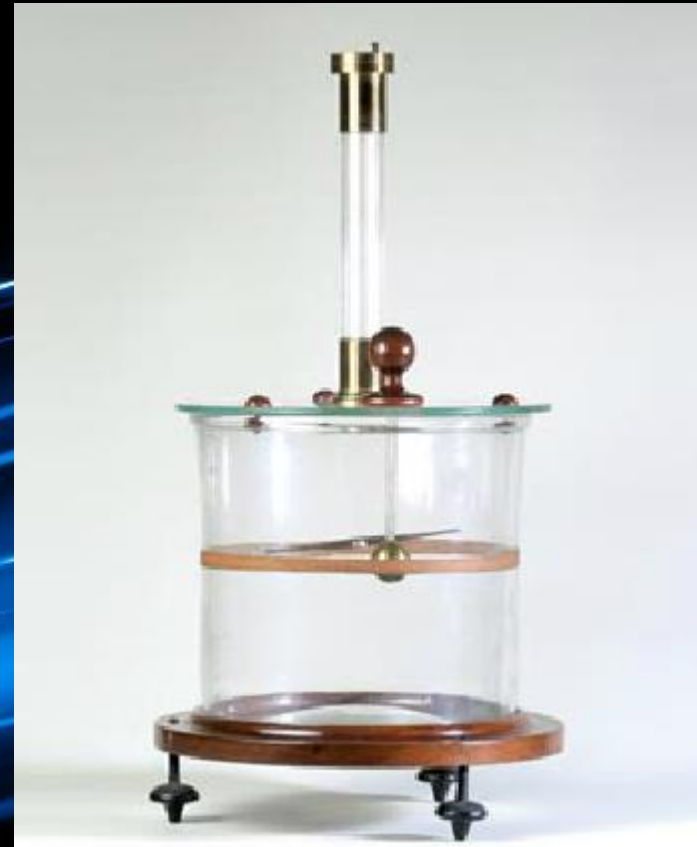
“Começa-se por fazer com que o disco de latão toque numa esfera metálica que se encontra na extremidade de uma vareta de vidro suspensa do tampo da balança. Nestas condições, tanto o disco como a esfera devem estar descarregados e o fio de suspensão da agulha não deve estar sob torção. A finalidade desta operação é definir uma posição de referência. Seguidamente, retira-se a esfera da tampa da balança, e electriza-se. A esfera, ao ser recolocada no interior da balança, electriza o disco de latão com carga do mesmo sinal, observando-se uma repulsão entre ambos.



Balança de torção de Coulomb (Cont.)

Nestas condições, a agulha começa a descrever um movimento oscilatório amortecido, até que pára. O conjunto permanece então estático numa posição correspondente ao equilíbrio entre o momento da força de repulsão e o da força de torção do fio. O ângulo de torção do fio pode ser medido através de uma escala dividida em graus, marcada sobre a parede da caixa de vidro, à altura do plano horizontal da agulha suspensa.

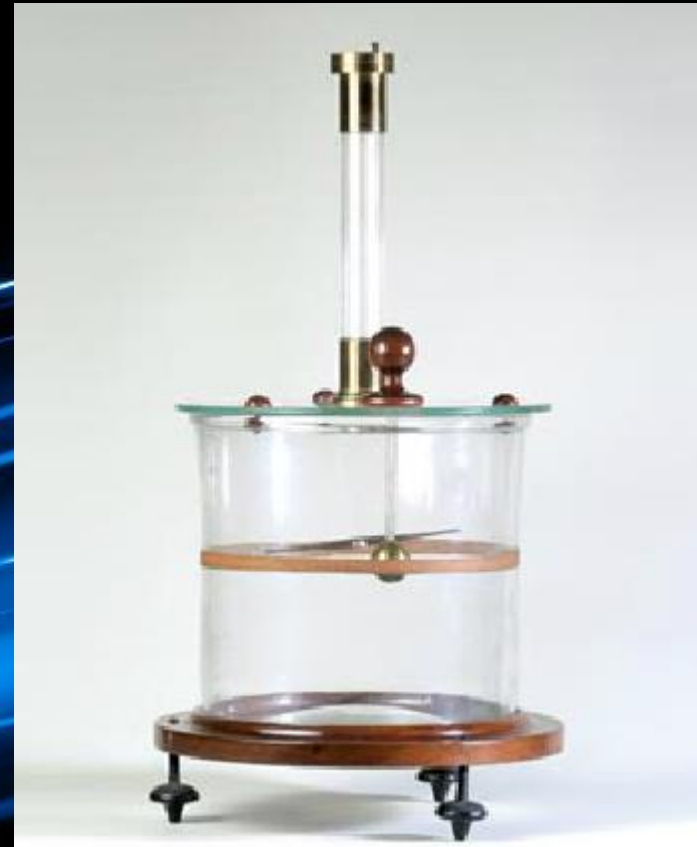
Ao rodar o disco de onde se suspende a agulha, por forma a fazer aproximar o disco da esfera, verifica-se que o ângulo de torção aumenta, já que ambos estão eletrizados com carga do mesmo sinal. A nova distância entre os corpos eletrizados pode ser obtida através da escala existente na parte superior da caixa da balança.



Balança de torção de Coulomb (Cont.)

O registo de sucessivos ângulos de torção do fio, e das correspondentes distâncias entre a esfera e o disco, permite a verificação da relação entre a intensidade da força de repulsão e o quadrado da distância entre os corpos electrizados.

A fim de verificar a relação entre a força de interacção e a carga eléctrica dos corpos, Coulomb utilizava uma bola de medula de sabugueiro suspensa da agulha. Após registar o ângulo de torção do fio de suspensão, tal como no caso anterior, retirava a esfera da vareta de vidro, colocando-a em contacto com outra de iguais dimensões. Desta operação, resultava uma diminuição do valor da sua carga para metade.

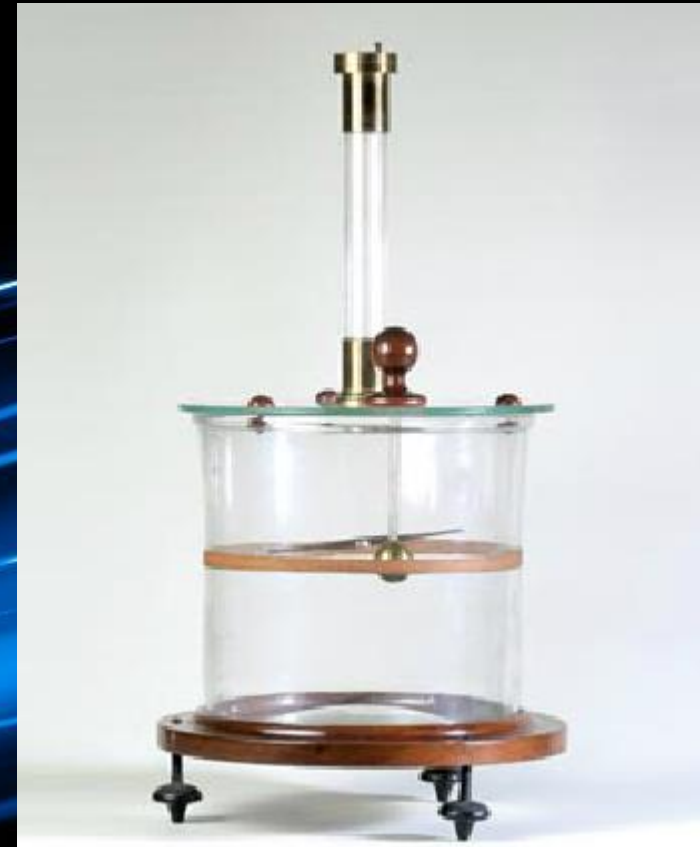


Balança de torção de Coulomb (Cont.)

Ao ser recolocada na balança, observava-se que a repulsão eléctrica entre a esfera metálica e a bola de medula de sabugueiro era menos intensa.

O novo ângulo de torção do fio, correspondente à nova posição de equilíbrio, era menor do que no caso anterior. Repetindo este procedimento algumas vezes, obtinha-se uma relação experimental válida”.

(Transcrito de O Engenho e a Arte – Colecção de Instrumentos do Real Gabinete de Física, Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, 1997)



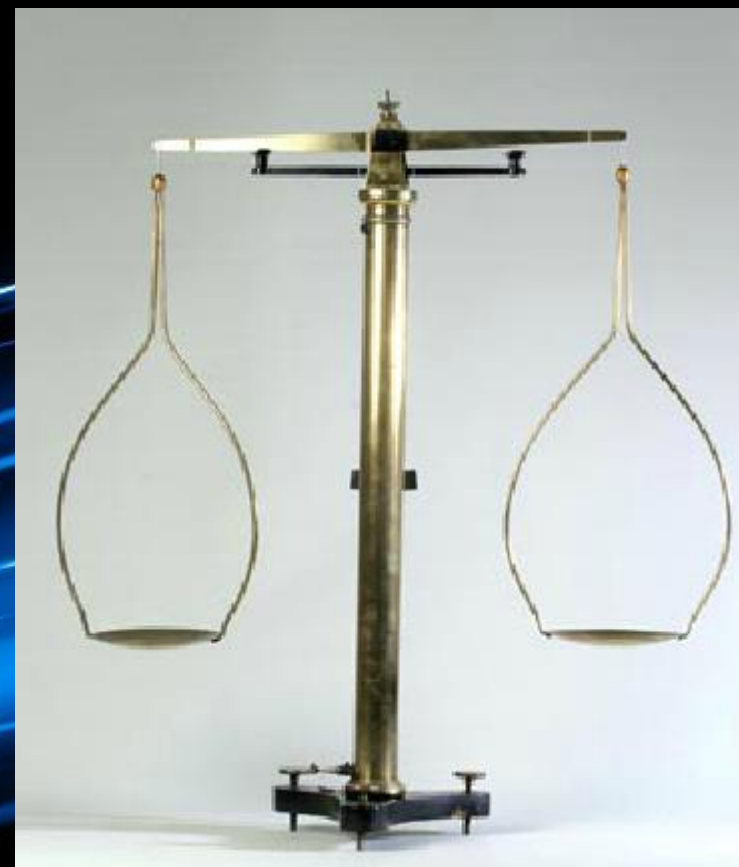
Balança hidrostática

Fabricante: Les Fils d'Émile Deyrolle, Paris, nº 3874 do respectivo catálogo

640x570x170 mm // latão

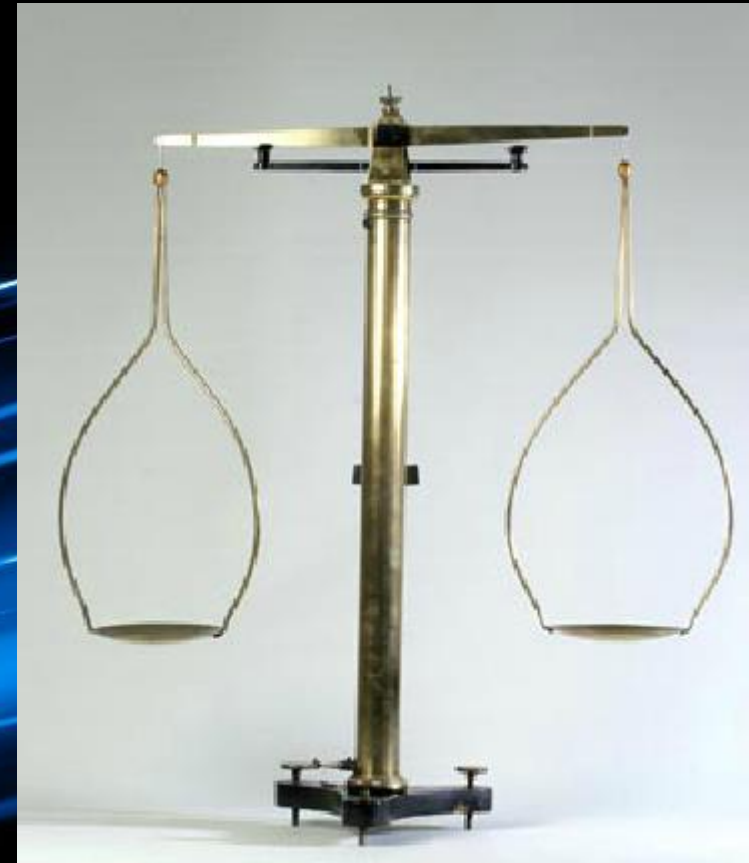
A **balança hidrostática**, fig. 127, é utilizada para verificação experimental do Princípio de Arquimedes. Esta balança tem dois jogos de pratos: um com suspensões curtas e outro com suspensões longas que permitem transformá-la numa balança normal. Os pratos com suspensão curta possuem ganchos na parte inferior. A balança possui ainda os seguintes acessórios:

- Dois suportes com cremalheira que permitem subir ou descer os vasos usados nas experiências;
- Cilindro duplo de Arquimedes, um oco e outro maciço de volume exatamente igual à capacidade do primeiro, que permite verificar o Princípio de Arquimedes.



Balança hidrostática (Cont.)

Para verificação do Princípio de Arquimedes procede-se do seguinte modo. Suspende-se do gancho de um dos pratos da balança um cilindro oco e a este um cilindro maciço de volume exatamente igual à capacidade do primeiro; equilibra-se o sistema colocando tara no outro prato da balança e mergulha-se completamente o cilindro maciço em água contida num vaso. A balança desequilibra-se mas restabelece-se novamente o equilíbrio quando se enche o cilindro oco com água que ocupa precisamente o volume de líquido deslocado. Portanto, a diminuição aparente do peso do cilindro imerso, ou seja a impulsão que este sofre, é igual ao peso de um volume de líquido igual ao seu.



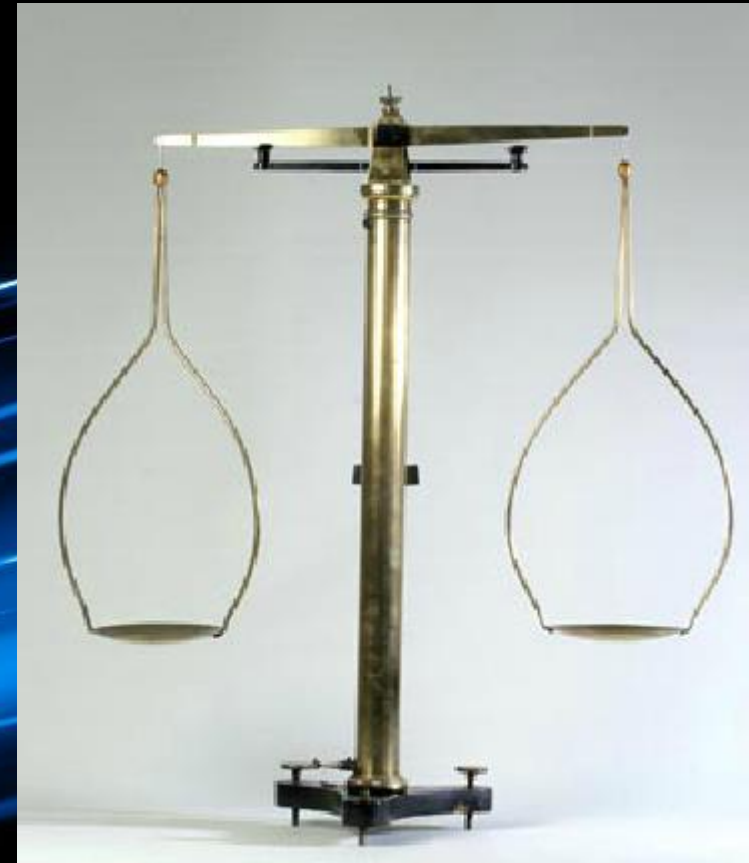
Balança hidrostática (Cont.)

Verifica-se assim o Princípio de Arquimedes:

“Todo o corpo mergulhado num líquido recebe deste uma impulsão vertical, de baixo para cima, igual ao peso do volume de líquido deslocado”.

(baseado em F. Fonseca Benevides, *Noções de Physica Moderna*, 3ª edição, Tipographia da Academia Real das Sciencias, Lisboa 1880)

Num dos suportes com cremalheira é visível a seguinte inscrição: “Deyrolle, Paris”.



Balança romana

Fabricante: Desconhecido

980x120x55 mm // aço e metal

A **balança romana**, fig. 3, é uma alavanca interfixa **AB** de braços desiguais. O fulcro **C** desta alavanca, coincide com o ponto onde se insere um gancho, por intermédio do qual se suspende a balança, num ponto fixo **D**. No braço menor da alavanca existe outro gancho, aplicado em **E**, onde se suspende o corpo a pesar e um cursor que pode deslizar ao longo deste braço, onde está gravada uma escala em hectogramas. A balança descarregada fica em equilíbrio quando um peso **P**, que na figura está suspenso em **F**, é colocado em **G**, zero da escala em quilogramas, e o cursor no zero da escala em hectogramas.



Balança romana (Cont.)

Nestas condições é nulo o momento resultante do peso da balança e do peso P , em relação a C . Suspendendo o corpo a pesar no gancho E , para restabelecer o equilíbrio, deslocam-se o peso P e o curso ao longo dos braços onde estão inseridos, de forma a anular, novamente, o momento resultante relativamente a C . A massa do corpo é dada por leitura direta nas escalas referidas, com rigor até ao hectograma. Esta balança permite determinar massas até aos 101 kg.

A **balança romana** teve origem cerca de 200 A.C. na Campânia, ou na Magna Grécia.



Balança romana (Cont.)

Aparentemente era desconhecida de Aristóteles, que na sua “Mecânica” descreveu uma outra balança chamada Dinamarquesa, que atualmente se pensa ser anterior a este tipo de balança na antiguidade clássica, assim como através da maior parte da Europa e da Ásia Ocidental.

(baseado em *Encyclopaedia Britannica*, Vol. 23, edição 1952)



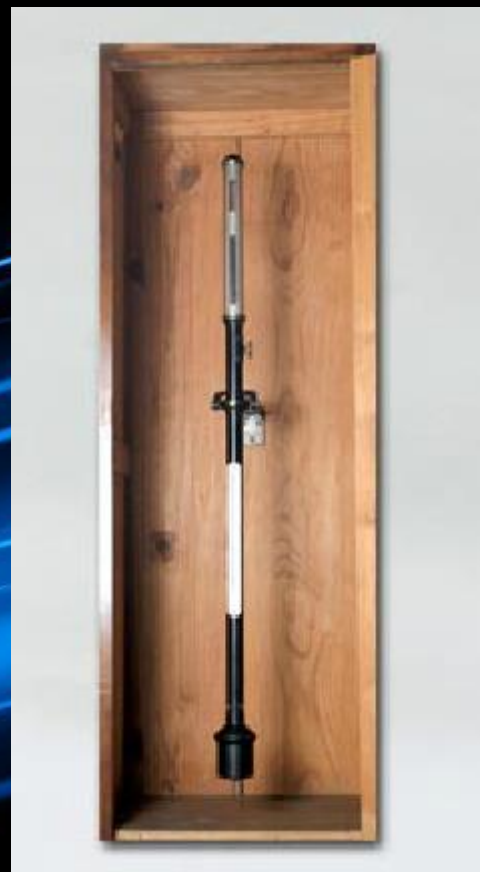
Barómetro de Adie

Fabricante: Central Scientific CO (CENCO),
Chicago

930x80x350 mm // metal, mercúrio e vidro

O ***barómetro de Adie***, fig. 4, que era adotado (à data de 1936) nos postos meteorológicos portugueses, é um barómetro de mercúrio, de tina. Por ser de escala compensada dispensa o ajustamento prévio do nível de mercúrio na tina do barómetro.

(baseado em Amorim Ferreira, *Trabalhos Práticos de Física*, Livraria Sá da Costa, Lisboa 1936)



Barômetro grande

Fabricante: Les Fils d'Émile Deyrolle, Paris, nº 4070 do respetivo catálogo

560x560x90 mm // madeira, metal e vidro

Este **barômetro grande**, fig. 176, citando os seus construtores, era destinado a edifícios públicos, o que justifica as suas grandes dimensões, a sua moldura trabalhada e pintada de dourado e o formato do seu ponteiro.

Como se trata de um barômetro aneroide o princípio do seu funcionamento é o mesmo do outro barômetro metálico (ou aneroide) aqui também descrito.

(baseado no catálogo *Les Fils d'Émile Deyrolle*, Paris)



Barômetro metálico aneróide

Fabricante: Desconhecido

44x162x157 mm // metal e vidro

O **barômetro metálico** ou **aneroide** é um barômetro de Vidi cujo funcionamento se explica a seguir.

*...”Os barômetros metálicos denunciam as variações da pressão atmosférica pela deformação maior ou menor que uma caixa (fig. 202) – **barômetro de Vidi** – de paredes flexíveis e previamente vazia de ar, sofre em virtude da variação da pressão atmosférica. As caixas vazias seriam achatadas pela pressão do ar se a elasticidade das paredes não equilibrasse o esforço exterior; percebe-se, portanto, que a cada valor de pressão do ar corresponda uma certa reação elástica das paredes e que, variando a primeira, variará também a segunda, mudando levemente a forma da caixa.*



Barômetro metálico aneroide (Cont.)

Essas pequenas mudanças, ampliadas por um mecanismo apropriado, são transmitidas a um ponteiro P , móvel sobre um quadrante, de sorte que a aumentos sucessos da pressão correspondem movimentos do ponteiro sempre num sentido e a decrementos da pressão correspondem movimentos em sentido contrário.

A cada valor determinado da pressão corresponde uma posição determinada do ponteiro; nada mais fácil, portanto, do que, comparando com um barômetro padrão, escrever no quadrante o valor da pressão atmosférica correspondente a cada posição do ponteiro”...

(Transcrito de F. J. Sousa Gomes, Álvaro R. Machado, *Elementos de Física Descritiva*, 6ª Edição, Livraria Cruz – Editora, Braga 1918)



Baroscópio

Fabricante: Les Fils d'Émile Deyrolle, Paris

130x92x155 mm // cobre, latão e metal

O **baroscópio** serve para provar a existência da impulsão nos gases e verificar que o princípio de Arquimedes também se lhes aplica. É constituído por uma espécie de pequena balança cujo travessão possuiu, no lugar dos pratos, de um lado uma pequena massa **b**, e do outro lado uma esfera oca, de cobre, **a**. Pode-se regular a posição da massa **b** de modo a equilibrar os dois corpos.

Começa-se por equilibrar a balança no ar; depois coloca-se o aparelho debaixo duma campânula onde se faz o vácuo. Observa-se que o travessão se inclina para o lado da esfera maior (fig. 167).



Baroscópio (Cont.)

Vê-se, assim, que o peso real da esfera **a** é superior ao da pequena massa **b**, pois, nesta altura, nem uma nem outra sofrem qualquer impulsão significativa e estão, apenas, submetidas aos seus pesos. Equilibravam-se no ar porque o excesso de peso da esfera **a** era compensado pela impulsão maior que recebia da parte do gás, o que prova a existência desta impulsão. Poderia fazer-se a experiência inversa desta, isto é, equilibrar primeiro os dois corpos no vácuo e depois deixar entrar ar na campânula. Ver-se-ia o travessão inclinar-se, desta vez, para o lado da massa **b**.

(baseado em A. Ganot, G. Maneuvrier, *Traité Élémentaire de Physique*, 21^{ère} édition, Librairie Hachette et Cie., Paris, 1894)



Bobina dupla de Faraday

Fabricante: Desconhecido

160x125x160 mm // madeira, metal e fio condutor

A **bobina dupla de Faraday** é um dispositivo utilizado para demonstrar o fenômeno da indução eletromagnética. Este fenômeno foi descoberto pelo físico e químico Inglês Michael Faraday (1791-1867) e consiste no aparecimento de uma força eletromotriz induzida num condutor que se encontra submetido a uma variação do fluxo da indução magnética que o atravessa; quando, por exemplo, um condutor for percorrido por uma corrente elétrica variável no tempo, essa variação pode induzir o aparecimento de uma corrente elétrica num outro condutor, fechado, que esteja na vizinhança do primeiro.



Bobina dupla de Faraday (Cont.)

O aparelho existente no Museu de Física é constituído por duas bobinas ou solenoides: a primeira, de maior diâmetro, montada sobre uma base de madeira e a segunda, de menor diâmetro, de modo a poder ser introduzida no interior da primeira. Ligando uma das bobinas a uma bateria e a outra a um galvanómetro, este aparelho permitirá detetar a existência de uma corrente elétrica induzida na segunda bobina, sempre que na primeira se estabelecer ou cortar o contato com a bateria, pois tal provocará uma variação instantânea no fluxo da indução magnética.



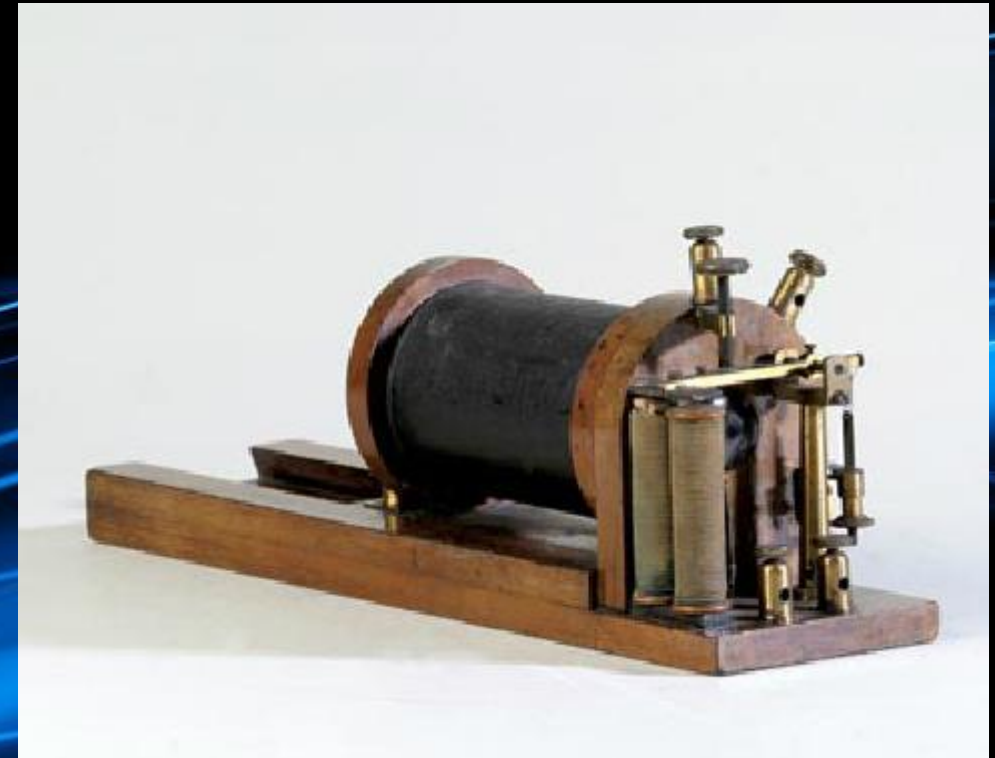
Bobinas de Ruhmkorff

Fabricante: Desconhecido

140x320x80 mm // madeira, metal e fio condutor isolado

A **bobina de Ruhmkorff** é um dispositivo que permite a obtenção de uma tensão alternada elevada, a partir de uma baixa tensão contínua, sendo um antecessor dos atuais transformadores. A sua invenção deve-se ao físico alemão Heinrich Ruhmkorff (1803-1877).

É constituído por dois enrolamentos cilíndricos coaxiais: o primário, com um pequeno número de espiras e o secundário, com um número de espiras elevado.

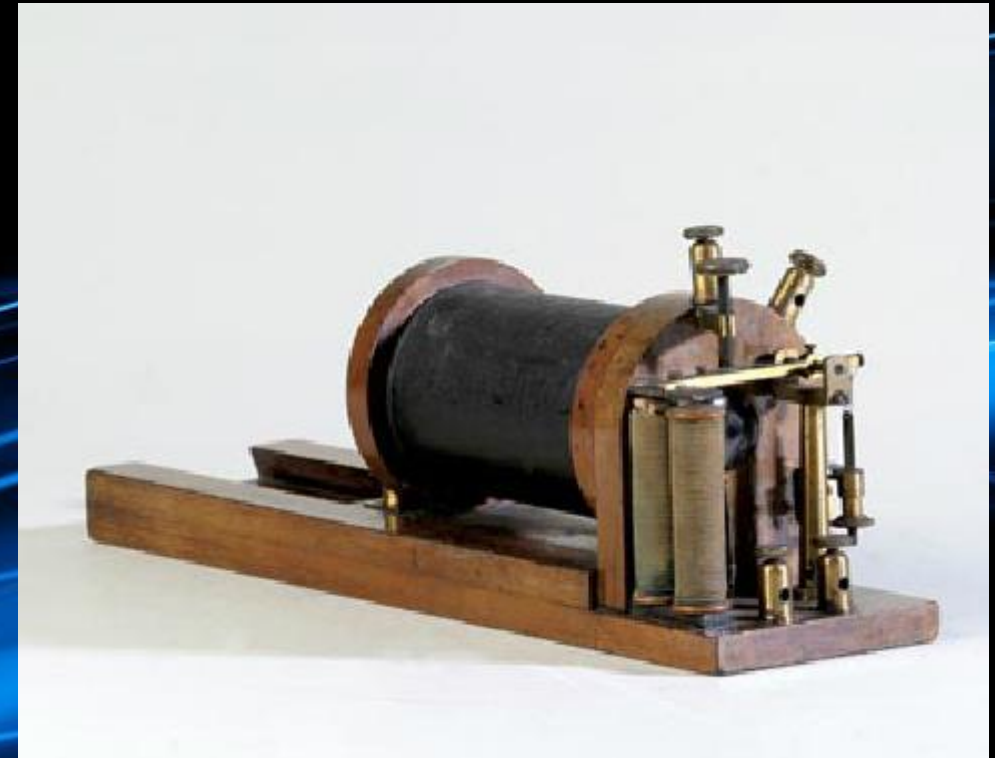


Bobinas de Ruhmkorff (Cont.)

Quando a tensão de alimentação contínua no primário (fornecida por uma pilha) é interrompida por meio de um interruptor, a variação do fluxo da indução magnética através do secundário induz neste, momentaneamente, uma tensão elevada (proporcional ao número de espiras), de acordo com a lei de indução de Faraday.

Explica F. F. Benevides:

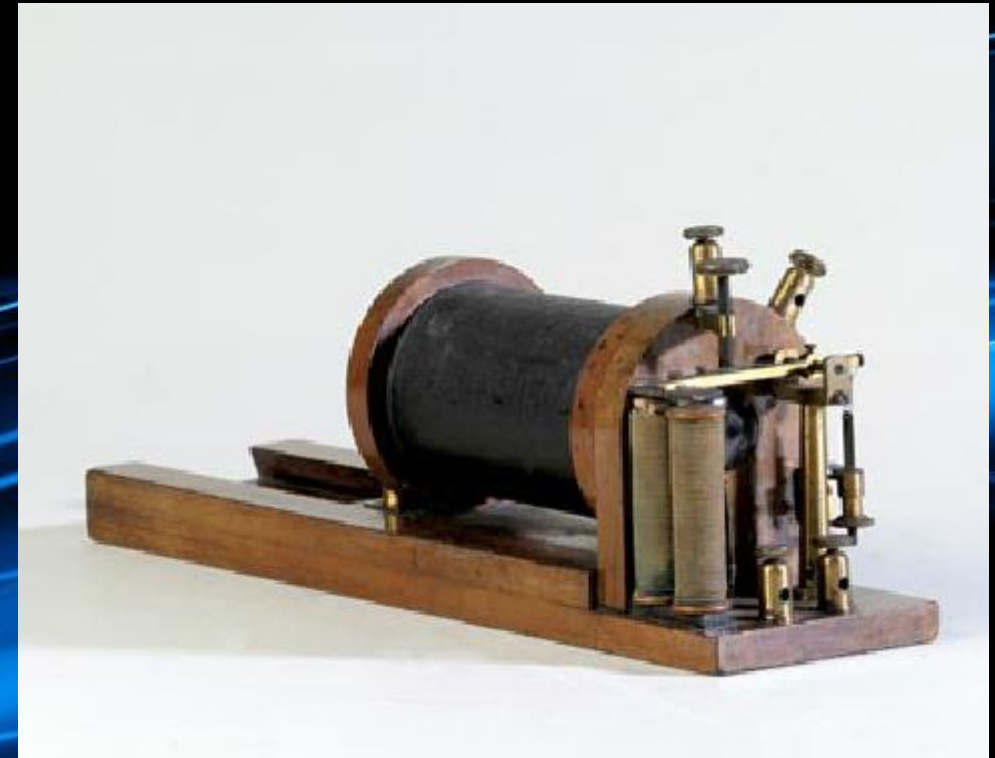
“Como as correntes de indução só se desenvolvem quando começa ou cessa a corrente indutora, e duram um instante, para obter um contínuo desenvolvimento de electricidade de indução é preciso estar continuamente a estabelecer e interromper a corrente da pilha; consegue-se isto por meio do tremedor de Ruhmkorff ou rheotomo...”



Bobinas de Ruhmkorff (Cont.)

(Transcrito de F. Fonseca Benevides, *Noções de Physica Moderna*, 3ª edição, Typographia da Academia Real das Sciencias, Lisboa, 1880)

No Museu de Física existem três exemplares deste dispositivo: dois com os dois enrolamentos fixos e um terceiro exemplar com um enrolamento secundário amovível, que pode deslizar sobre uma calha de madeira, o que permite modificar o coeficiente de indução mútua entre os dois enrolamentos e, desta forma, o valor da tensão induzida no secundário.



Bomba aspirante

Fabricante: Les Fils d'Émile Deyrolle, Paris, nº 4272
do respetivo catálogo

600x420x300 mm // madeira, metal e vidro

*“Na **bomba aspirante** (fig. 221) o corpo de bomba **C** está situado a uma certa altura acima do nível **NN'** do líquido a elevar, no ponto em que esse líquido deve ser lançado. Na parte superior tem um tubo lateral **D** para descarga do líquido e prolonga-se inferiormente por um canal de aspiração **A**, que mergulha na água ou líquido, que a bomba deve elevar. A comunicação entre o canal de aspiração e o corpo de bomba é interceptada para uma válvula **V**, que abre de baixo para cima.*



Bomba aspirante (Cont.)

*No corpo da bomba sobe e desce um êmbolo **E**, accionado por um alavanca interfixa **M** (ou às vezes por um motor) e perfurado por um canal, que permite a passagem da água ou do ar da parte inferior para a parte superior do corpo de bomba, forçando outra válvula **V**, que abre também de baixo para cima.*

*A bomba funciona do seguinte modo: - Enquanto não está escorvada, ao subir o êmbolo, a pressão exterior fecha a válvula do êmbolo **V'** e ao mesmo rarefaz-se o ar no corpo de bomba; o ar contido no tubo de aspiração expande-se e ergue a válvula **V**, passando em parte para o corpo de bomba; entretanto, visto que a tensão do ar no canal de aspiração diminui por esse motivo, a pressão atmosférica obriga a subir um pouco o líquido do reservatório nesse canal.*



Bomba aspirante (Cont.)

Quando o êmbolo desce, comprime o ar que lhe fica debaixo, fecha a válvula V, impedindo-o de voltar para o canal de aspiração, e força-o a abrir a válvula V' e a passar para a parte superior do corpo de bomba, em livre comunicação com a atmosfera. A cada manobra do êmbolo repetem-se estes fenómenos e de cada vez sobe um pouco o líquido no canal de aspiração, até que vem penetrar no próprio corpo de bomba. Nessa altura, estando escorvada a bomba, o descenso do êmbolo comprime a água, fecha a válvula V, impede o líquido de voltar para o canal de aspiração e força-o a passar da parte inferior para a parte superior do corpo de bomba, erguendo a válvula V'. Depois, quando o êmbolo sobe, levanta até ao tubo de descarga essa porção de água, enquanto a pressão atmosférica obriga a entrar para o corpo de bomba nova quantidade de líquido.



Bomba aspirante (Cont.)

Visto que a água sobre no canal de aspiração e penetra no corpo de bomba, obrigada pela pressão atmosférica, é preciso que a altura do canal de aspiração, somada com a do corpo de bomba, não exceda 10,33 m. Êste limite teórico não pode ser atingido na prática por causa das imperfeições inevitáveis dêstes aparelhos, não se devendo contar com elevar a água a mais de 8m''.

(transcrito de F. J. Sousa Gomes, A. R. Machado, *Elementos de Física Descritiva*, 6ª edição, Editora Livraria Cruz, Braga 1918)



Bomba aspirante (Cont.)

No modelo de *bomba aspirante* existente, semelhante ao anteriormente descrito, o corpo de bomba é constituído por um cilindro, com a superfície lateral de vidro, que assenta numa plataforma horizontal, de madeira, fixa a uma placa vertical, igualmente em madeira. Na base inferior do cilindro é visível a válvula que permite a ligação deste a um tubo (canal de aspiração) que mergulha numa tina quadrada situada debaixo da plataforma. O tubo por onde se faz a descarga do líquido, em vez de estar colocado na parte lateral do cilindro, como no modelo anteriormente descrito, situa-se na base superior do cilindro, encurvando-se junto da sua extremidade superior e abrindo-se sobre um funil de vidro.



Bomba aspirante (Cont.)

Este funil está ligado ao topo de um novo tubo vertical, que atravessa a plataforma horizontal, devolvendo à tina a água que, de lá, a bomba aspira. O veio do êmbolo é acionado por uma alavanca interfixa cujo fulcro se situa sobre um eixo horizontal, inserido na placa vertical. Todo este conjunto está situado sobre uma base retangular de madeira.



Bombas de incêndios

Fabricante: Les Fils d'Émile Deyrolle, Paris

430x470x300 mm // latão, madeira, metal e vidro

A bomba de incendios é uma bomba aspirante-premente dupla. O modelo existente é constituído por dois cilindros e um grande reservatório central, situados sobre uma base de madeira que se apoia numa tina retangular onde se deita água. As duas hastes dos êmbolos dos cilindros movem-se com movimento alternado, à custa de uma grande alavanca. Com o movimento ascendente do êmbolo abre-se a válvula de comunicação do cilindro com o reservatório inferior e mantém-se fechada a que comunica com o reservatório central permitindo assim que o respetivo cilindro se encha de água.



Bombas de incêndios (Cont.)

Quando o movimento do êmbolo é descendente as válvulas atuam em sentido contrário, e a água contida no cilindro é lançada no reservatório central, comprimindo o ar aí existente, e fazendo sair pela parte superior deste um jato de água (que seria expelido pela mangueira no caso de uma bomba de incêndios real). Como os êmbolos dos dois cilindros se movem simultaneamente, mas em sentidos inversos, quando uma das bombas aspira a água, a outra fá-la entrar no reservatório central, obtendo-se, por este processo, um jato contínuo de água saindo deste reservatório, o que não aconteceria se houvesse um único cilindro.



Bombas de incêndios (Cont.)

Quando o movimento do êmbolo é descendente as válvulas atuam em sentido contrário, e a água contida no cilindro é lançada no reservatório central, comprimindo o ar aí existente, e fazendo sair pela parte superior deste um jato de água (que seria expelido pela mangueira no caso de uma bomba de incêndios real). Como os êmbolos dos dois cilindros se movem simultaneamente, mas em sentidos inversos, quando uma das bombas aspira a água, a outra fá-la entrar no reservatório central, obtendo-se, por este processo, um jato contínuo de água saindo deste reservatório, o que não aconteceria se houvesse um único cilindro.



Bombas de incêndios (Cont.)

(baseado em P. Métral, Précis de Physique, 2^{ème} édition, Masson et Cie. Éditeurs, Paris 1930)

A fig. 151 representa um modelo de uma bomba semelhante à existente e com o mesmo princípio de funcionamento.



Bússola de inclinação e declinação ou inclinómetro magnético

Fabricante: Dr. Stöhrer u. Sohn, Physikalische und Chemische Lehrmittel, Ausgabe IX

270x180x130 mm // metal

A **bússola de inclinação**, fig. 4358, é um aparelho que mede a inclinação magnética, ou seja, o ângulo entre a direção do campo magnético terrestre e a horizontal no lugar. É constituído por uma escala anelar em metal, com quatro quadrantes graduados em 0° a 90° , correspondendo à menor divisão da escala 1° .

Uma agulha magnética de forma romboédrica está montada sobre um eixo colocado no centro da escala anelar, que é suportado por duas hastes de latão que atravessam a escala anelar ao longo de um diâmetro horizontal. A agulha é livre de rodar em torno do eixo, perpendicular ao plano da escala anelar.



Bússola de inclinação e declinação ou inclinómetro magnético (Cont.)

O conjunto formado pela escala anelar, barras de suporte do eixo e agulha magnética, está apoiado numa estrutura semi circular, o que lhe permite um movimento de rotação segundo um eixo horizontal. Este conjunto pode rodar em torno de um eixo vertical, pois a estrutura semi circular é solidária com a plataforma do instrumento através de uma coluna metálica que se apoia sobre um disco horizontal, círculo azimutal, podendo girar segundo o eixo vertical. O disco horizontal está dividido em quadro quadrantes graduados de 0° a 90° , sendo a menor divisão da escala 1° .



Bússola de inclinação e declinação ou inclinómetro magnético (Cont.)

A leitura do ângulo de inclinação magnética é feita na escala anelar, em qualquer um dos quadrantes, inferior ou superior. O aparelho tem de ser nivelado e a escala anelar é colocada na posição vertical. Esta escala é então rodada cuidadosamente em torno do eixo vertical, até se observar a máxima inclinação da agulha. Regista-se o ângulo que a agulha magnética faz com a horizontal (lido na escala anelar). Roda-se a escala anelar em torno do eixo horizontal de 180° e novamente se regista o ângulo correspondente à máxima inclinação da agulha.

O valor médio das duas medidas indica a inclinação magnética.

A declinação magnética do lugar, no instante considerado é lida diretamente na escala do círculo azimutal.



Bússola de inclinação e declinação ou inclinómetro magnético (Cont.)

Pormenor histórico: O procedimento de leitura para a determinação do valor da inclinação magnética num Observatório era tradicionalmente feito com base no seguinte procedimento:

“ para anullar ou neutralizar quaesquer causas de erro provenientes ou da situação do eixo magnético...ou de não estar exactamente na vertical o diâmetro do círculo que passa pela divisão dos 90° , ou de não estar o centro de gravidade da agulha exactamente no seu eixo de movimento, no qual caso a inclinação seria maior se esse ponto caísse do lado do pólo, que mergulha, e menor no caso contrário; procede-se do seguinte modo, no qual se fazem dezesseis leituras, cuja media se toma por a inclinação procurada.



Bússola de inclinação e declinação ou inclinómetro magnético (Cont.)

Lêem-se sempre os dois ângulos verticalmente opostos, o superior e o inferior; e suponhamos que a face graduada do círculo estava voltada para E quando se fizeram as duas primeiras leituras: voltemos essa face para O andando com o círculo 180°. N'esta posição far-se-hão duas novas leituras semelhantes às que se fizeram na primeira posição. Voltando agora a agulha, de modo que a face, que ella tinha para o lado de E na segunda leitura, fique para O, façam-se outras duas leituras: completar-se-hão seis. Girando com o circulo outra vez para E e fazendo-se duas novas leituras, teremos oito.



Bússola de inclinação e declinação ou inclinómetro magnético (Cont.)

Desmagnetizando a agulha e invertendo os pólos, teremos dezesseis leituras fazendo com a agulha n'este estado os mesmos quatro pares de leituras, que se tinham feito antes da inversão. Praticando absolutamente o mesmo processo com uma segunda agulha, teremos trinta e duas leituras, de que tomaremos e media por inclinação procurada”.

(transcrito de Relatório de Serviço do Observatório do Indante D. Luiz no ano meteorológico de 1870-1871, Imprensa Naconal, Lisboa 1872)



Bússola de inclinação e declinação ou inclinómetro magnético (Cont.)

A primeira bússola de inclinação foi concebida por Robert Norman em Londres no século XVI. O aparelho rudimentar era constituído por uma agulha magnética equilibrada, que podia rodar num plano vertical que se alinhava na direção N-S. Os seus estudos sobre a inclinação do campo magnético ou “força magnética” são pioneiros e foram publicados no livro “The Newe Attractive” em 1581.



Bússola de orientação portátil

Fabricante: Desconhecido

20x45x70 mm // madeira, metal, vidro

A **bússola de orientação portátil** é um instrumento que permite determinar a declinação magnética no lugar.

No exemplar existente no Museu de Física, a agulha está apoiada num espigão podendo rodar livremente em torno de um eixo vertical. Sob a agulha existe uma rosa-dos-ventos. Todo o conjunto é protegido por um vidro circular, estando montado numa pequena caixa de madeira com tampa. Em torno do vidro, está gravada na madeira uma escala circular que permite a utilização deste instrumento como relógio solar (o fio que permitiria fazer esta utilização está danificado).



Bússolas tangenciais

Fabricante: Max Kohl A. G., Appareils de Physique, nº 100, Tome III, Chemnitz, Allemagne, nº 94014 do respetivo catálogo

420x300x170 mm // metal, madeira e vidro

A **bússola tangencial** foi um dos primeiros aparelhos concebidos para determinar a intensidade da corrente elétrica, sendo um antecessor do **galvanómetro** e do **amperímetro**. O seu princípio de funcionamento deve-se ao físico francês Claude Pouillet (1790-1868).

É constituída por uma bobina circular, de eixo horizontal, em cujo centro existe uma agulha magnética que pode rodar no plano horizontal.



Bússolas tangenciais (Cont.)

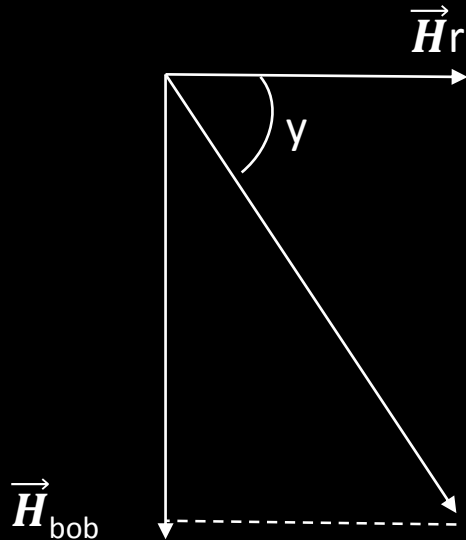
Para a determinação da intensidade da corrente elétrica, a bobina e a agulha magnética devem ficar no mesmo plano, pelo que a bobina deve ser colocada paralelamente à direção do meridiano magnético do lugar. Quando a bobina é percorrida por uma corrente elétrica, de acordo com a lei de Biot-Savart, cria no seu centro um campo magnético \vec{H}_{bob} de direção perpendicular ao plano da bobina e, conseqüentemente, perpendicular à componente horizontal do campo magnético terrestre \vec{H}_r . A agulha magnética (de momento magnético \vec{m}) vai rodar sob a ação de um binário devido ao campo magnético criado pela bobina, $\vec{m} \times \vec{H}_{\text{bob}}$, a que se soma um binário devido ao campo magnético terrestre, $\vec{m} \times \vec{H}_r$, de sentido contrário.

Para a determinação da intensidade da corrente elétrica, a bobina e a agulha magnética devem ficar no mesmo plano, pelo que a bobina deve ser colocada paralelamente à direção do meridiano magnético do lugar. Quando a bobina é percorrida por uma corrente elétrica, de acordo com a lei de Biot-Savart, cria no seu centro um campo magnético \vec{H}_{bob} de direção perpendicular ao plano da bobina e, conseqüentemente, perpendicular à componente horizontal do campo magnético terrestre \vec{H}_r . A agulha magnética (de momento magnético \vec{m}) vai rodar sob a ação de um binário devido ao campo magnético criado pela bobina, $\vec{m} \times \vec{H}_{\text{bob}}$, a que se soma um binário devido ao campo magnético terrestre, $\vec{m} \times \vec{H}_r$, de sentido contrário.

Bússolas tangenciais (Cont.)

A agulha roda até ficar paralela ao campo magnético total, $\vec{H}_{\text{bob}} + \vec{H}_r$, pois nessa posição o binário resultante $\vec{m} (\vec{H}_{\text{bob}} + \vec{H}_r)$ é nulo. Nesta posição, o ângulo γ entre a agulha e o plano da bobina obedece à relação:

- $\text{tg } \gamma = \frac{|\vec{H}_{\text{bob}}|}{|\vec{H}_r|}$



A agulha roda até ficar paralela ao campo magnético total, $\vec{H}_{\text{bob}} + \vec{H}_r$, pois nessa posição o binário resultante $\vec{m} (\vec{H}_{\text{bob}} + \vec{H}_r)$ é nulo. Nesta posição, o ângulo γ entre a agulha e o plano da bobina obedece à relação:

- $\text{tg } \gamma = \frac{|\vec{H}_{\text{bob}}|}{|\vec{H}_r|}$

Bússolas tangenciais (Cont.)

Como o campo magnético criado pela bobina é proporcional à corrente elétrica que a percorre, da relação anterior resulta que a tangente do ângulo é igualmente proporcional à corrente, o que permite a sua determinação, lendo numa escala o valor do ângulo rodado pela agulha.

Reciprocamente, se a corrente na bobina for conhecida, a bússola tangencial pode ser utilizada para determinar a componente horizontal do campo magnético terrestre, num determinado ponto.



Bússolas tangenciais (Cont.)

No Museu de Física existem três exemplares deste aparelho:

- i) Fabricante Max Kohl: neste modelo, em vez de uma bobina existe uma única espira de cobre, circular, com cerca de 1cm de largura, unida por dois bornes a um suporte de madeira;
- ii) Fabricante Mouilleron: a bobina está enrolada em torno de um suporte elíptico e não circular;
- iii) Fabricante Elliot Bros.: neste magnífico exemplar, a bobina está enrolada num anel metálico circular, existindo vários bornes que permitem escolher o número de espiras dos diferentes enrolamentos.



Cabrestante

Fabricante: Les Fils d'Émile Deyrolle, Paris, nº 3517 do respetivo catálogo

180x281x403 mm // corda, madeira e metal

O ***cabrestante***, fig. 148, é um cilindro com o eixo vertical no qual se enrola uma corda utilizada para puxar um corpo. Na parte superior do cilindro estão fixos quatro braços em forma de cruz, aos quais se aplica a força necessária para puxar o corpo.



Carneiro hidráulico

Fabricante: Desconhecido, análogo ao nº 2375 do catálogo Dr. Stöhrer u. Sohn, Physikalische und Chemische Ledhrmittel, Ausgabe IV, Leipzig
420x400x145 mm // madeira, metal e vidro

O **carneiro hidráulico**, fig. 1, é um dispositivo que funciona como uma bomba de água, não necessitando de qualquer fornecimento de energia externa, transformando energia cinética da corrente de água em energia potencial, fazendo-a subir a um ponto mais elevado.

O modelo existente é constituído por um conjunto de peças de vidro, assente numa base de madeira, tendo uma das válvulas, a B, um conjunto de esferas metálicas no seu interior.



Carneiro hidráulico (Cont.)

A água que se pretende elevar é deitada no funil **F** ligado ao tubo **T**. O fluxo de água vai fechar bruscamente a válvula **A**, gerando uma sobrepressão (fenómeno conhecido por golpe de Ariete), que provoca a abertura da válvula **B**, permitindo que a água entre na campânula **C**.

No interior desta o ar aí existente é comprimido, obrigando a água a subir no tubo **T**. A válvula **B** fecha-se entretanto, por ter diminuído a pressão no tubo **T**. A válvula **A** abre-se pelo mesmo motivo. Esta sequência de acontecimentos repete-se, originando o martelar da válvula **A** com os movimentos sucessivos de fecho e abertura da mesma.



Cegonha

Fabricante: Desconhecido

252x470x130 mm // madeira e metal

A **cegonha** é um dispositivo que é utilizado para retirar água de poços desde tempos pré-históricos. É, basicamente, uma alavanca interfixa de braços desiguais. Numa extremidade desta alavanca suspende-se um balde cujo peso, (denominado *força resistente*) é equilibrado pela força aplicada à outra extremidade da alavanca (denominada *força potente*). Para haver equilíbrio na alavanca é necessário que seja nula a soma dos momentos, em relação ao fulcro, das forças aplicadas, o que se verifica se forem iguais aos produtos das intensidades destas forças pelos braços respetivos. Como, neste caso, o *braço da força potente* é superior ao *braço da força resistente*, a intensidade da força necessária para elevar o balde é inferior à intensidade do seu peso.



Cegonha (Cont.)

O aparelho existente é muito rudimentar sendo constituído por uma base retangular de madeira onde se insere um pequeno tronco de um ramo de árvore, em forma de cara bifurcada, que sustenta uma pequena haste de metal que serve de eixo de rotação da alavanca (fulcro).

Uma vara de madeira, atravessada num dado ponto pela haste de metal em torno da qual pode girar, tem suspenso da extremidade mais próxima do fulcro um pequeno balde de metal que pode ser elevado aplicando à sua outra extremidade a força necessária. Por baixo do pequeno balde, numa cavidade existente na base do aparelho, situa-se um reservatório cilíndrico de latão, onde se coloca a água para aí fazer mergulhar o balde.



Craveira com nónio quinquagesimal

Fabricante: P. Roche Rolle – Suisse

220x73x8 mm // metal

“Craveira – A craveira, ou compasso de correição, serve para medir comprimentos, diâmetros de fios, diâmetros internos e externos de tubos, etc.

É constituída por uma régua metálica, graduada, terminada por uma espera fixa a b (fig.5), ao longo da qual desliza uma espera móvel, ou cursor, a' b' . Neste cursor existe uma janela com um nónio, cujas divisões da régua, e um parafuso de pressão P , que permite fixá-lo.

Em alguns modelos há, fixa ao cursor e deslocando-se com ele, uma haste ou lingueta L .



Craveira com nónio quinquagesimal (Cont.)

Quando se põem em contato as duas esferas, a linha de fé do nónio deve coincidir com o traço correspondente à divisão zero da graduação da régua.

*Medições com a craveira. – A medição de comprimentos, espessuras e diâmetros, faz-se colocando a grandeza a medir entre os bordos das pontas **b** e **b'**, como a figura 5 indica, de forma que fique bem ajustada.*

*Para medir diâmetros internos de tubos, ajustam-se bem os bordos das pontas **a** e **a'** às paredes internas dos tubos.*



Craveira com nónio quinquagesimal (Cont.)

Na medição de profundidades de cavidades, encosta-se bem a haste L, solidária com o cursor móvel, à parede interna da cavidade, de modo que a sua extremidade toque no fundo, e o topo da régua fique encostado ao bordo da abertura”.

(transcrito de A. Guerreiro, R. Seixas, *Trabalhos Práticos de Física*, Porto Editora)



Cunha micrométrica

Fabricante: Chesterman – Sheffield, England.
(análoga ao nº 97 do catálogo W. M. Welch Scientific Company, Laboratory Apparatus and Supplies for Physics and Chemistry, Catalog "G", Chicago, 1922)

192x31x5 mm // aço

A ***cunha micrométrica*** é um instrumento constituído por duas pequenas réguas, em forma de cunha, graduadas em milímetros e articuladas numa das suas extremidades.

Utiliza-se para medir diâmetros internos de tubos. Introduzindo uma das pequenas réguas no interior de um dado tubo, até não poder penetrar mais, a posição em que fica o bordo superior do tubo sobre a escala desta régua dá, diretamente, o diâmetro interno desse tubo.



Diapasões com caixas de ressonância

Fabricante: Desconhecido

175x198x96 mm, 248x176x102 mm // madeira e metal

*“**Diapasão.** - Para afinar os instrumentos de música usa-se geralmente do diapasão que é constituído por uma barra retangular **AB** (fig.422) de aço curvada pelo meio **C** até ficarem próximos os extremos e ligada pela curvatura média e uma haste **D** por onde se lhe pega. Também se pode fixar pela haste média a uma caixa de ressonância **C** (fig.423).*



Diapasões com caixas de ressonância (Cont.)

Faz-se vibrar, ou falar, o diapasão, quer batendo com um dos seus ramos contra um objecto, quer afastando os ramos com um cilindro de aço de diâmetro um pouco superior à distância que separa as extremidades dos ramos, quer finalmente (fig. 423) ferindo os ramos com um arco de rabeca A''.

(transcrito de F. J. Sousa Gomes, Álvaro R. Machado, *Elementos de Física Descritiva*, 6ª edição, Livraria Cruz – Editora, Braga 1918)



Dinamómetro de mola em hélice

Fabricante: Desconhecido

188x40x20 mm // latão e metal

Os dinamómetros são instrumentos usados para determinar a intensidade das forças, e constam duma mola de aço de forma variável que, sob a ação destas forças, sofre deformações registadas numa escala.

O funcionamento do ***dinamómetro de mola em hélice***, fig. 1, baseia-se na proporcionalidade existente entre os alongamentos observados numa mola elástica, fixa numa das extremidades, e as intensidades das forças aplicadas à outra extremidade da mola e que lhe provocam estes alongamentos.



Dinamómetro de mola em hélice (Cont.)

É constituído por uma mola de aço, enrolada em hélice, introduzida num tubo metálico a que está fixa por uma das suas extremidades. A outra extremidade da mola atravessa livremente uma das bases do tubo e está solidariamente ligada a um cursor que pode deslizar sobre uma escala graduada. Esta escala sobrepõe-se ao tubo que envolve a mola. A força, cuja intensidade se pretende determinar (eventualmente o peso de um corpo), aplica-se ao gancho existente na extremidade livre desta mola.

NOTA: Este aparelho tem a inscrição "Salter's pocket balance"



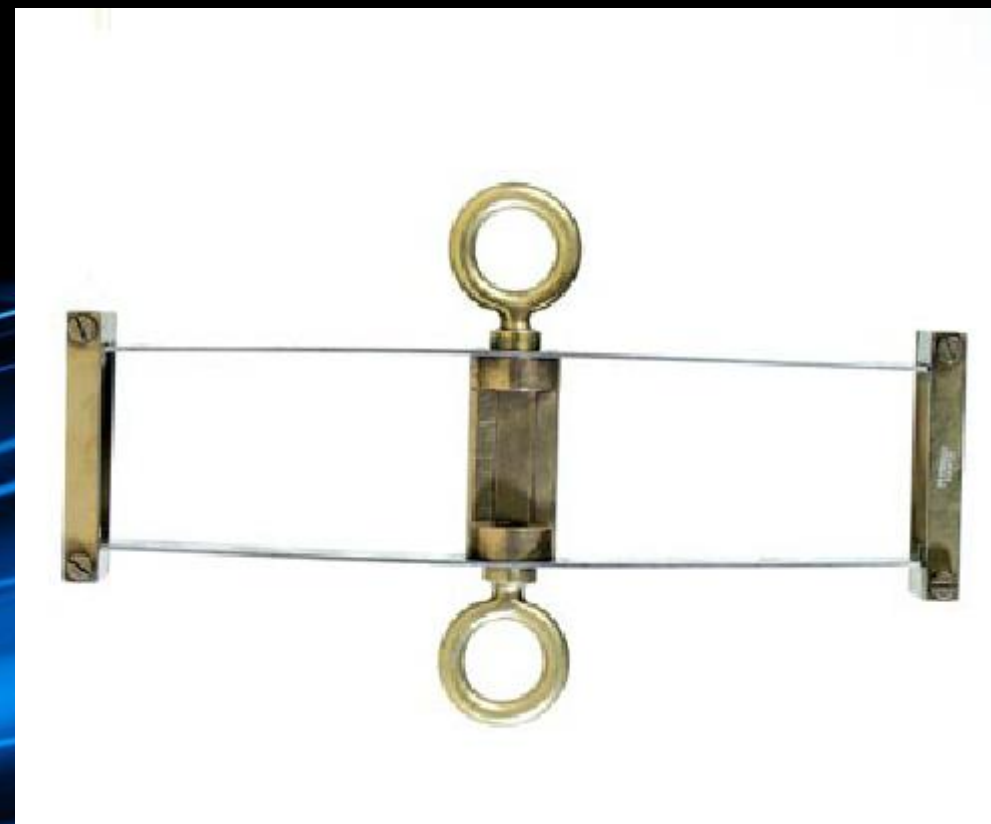
Dinamómetro de Poncelet

Fabricante: Les Fils d'Émile Deyrolle, Paris

160x260x48 mm // aço e metal

O **dinamómetro de Poncelet**, fig. 30, é constituído por duas molas de aço iguais e paralelas **A** e **B**, articuladas nas extremidades a duas hastes curtas e rígidas. O afastamento das duas molas de aço é proporcional à intensidade da força que lhe está aplicada. Este tipo de dinamómetro é usado para medir forças de grande intensidade.

(baseado em F. J. Gomes, Álvaro R. Machado, *Elementos de Física Descritiva*, 6ª edição, Editora Livraria Cruz, Braga 1918)



Eletrodinamómetro

Fabricante: Ducretet et Roger

250x205x200 mm // metal e madeira

O eletrodinamómetro é um aparelho destinado a medir a intensidade da corrente elétrica e que pode igualmente ser utilizado para medir a potência dissipada por um determinado aparelho. Foi concebido pelo físico alemão Wilhelm Weber (1804-1891).

O exemplar existente no Museu de Física é constituído por duas bobinas fixas, com poucas espiras de fio grosso (com baixa resistência elétrica) e por duas bobinas móveis, com muitas espiras de fio fino (com elevada resistência elétrica), estando todo o conjunto montado sobre uma base de madeira.



Eletrodinamómetro (Cont.)

As bobinas fixas são coaxiais e estão ligadas em série, com um espaçamento de aproximadamente 5 mm entre elas. As bobinas móveis, igualmente coaxiais e ligadas em série, estão enroladas sobre um suporte de madeira colocado no interior das bobinas fixas, que pode rodar solidariamente com o eixo metálico vertical, fazendo móvel um ponteiro sobre uma escala graduada, colocada acima das bobinas fixas, de onde se infere o valor da corrente elétrica.



Eletrodinamômetro (Cont.)

Quando as quatro bobinas são percorridas por corrente elétrica, a interação entre a corrente nas bobinas móveis e o campo magnético criado pelas bobinas fixas, origina um binário de forças magnéticas sobre as bobinas móveis; por ação deste binário, as bobinas móveis rodam em torno do eixo vertical, até se atingir o equilíbrio entre o binário de forças magnéticas e o binário de uma mola, ligada ao eixo, que repõe o ponteiro na sua posição original quando nenhuma corrente atravessa o conjunto.

A posição inicial do ponteiro pode ser ajustada na parte superior do aparelho por meio de um eixo com rosca que, ao ser rodado, transmite o seu movimento à mola e leva o ponteiro para a posição desejada.



Eletródinamómetro (Cont.)

A correspondente posição do eixo pode ser lida numa escala colocada no topo do aparelho, por meio de um segundo ponteiro que roda solidariamente com o eixo roscado.

A alimentação, em corrente, dos dois conjuntos de bobinas pode ser feita de forma independente, por meio de dois pares de bornes existentes sobre a base; se desejado, podem ligar-se todas as bobinas em série, resultando deste modo um binário sobre as bobinas móveis que é proporcional ao quadrado da intensidade da corrente elétrica.



Eletrodinamómetro (Cont.)

Na determinação da potência elétrica dissipada por um determinado aparelho, as bobinas fixas são ligadas em série com o aparelho, enquanto que as bobinas móveis são ligadas em paralelo com este; desta forma, a corrente elétrica que percorre as bobinas móveis é proporcional à queda de tensão no aparelho e o binário que nelas atua é proporcional ao produto da corrente no aparelho pela queda de tensão respectiva, ou seja, é proporcional à potência nele dissipada.



Eletroscópio meteorológico de Peltier

Fabricante: Desconhecido

142x275x184 mm // metal, vidro, madeira, tecido

O *eletroscópio meteorológico de Peltier* foi idealizado em 1836 pelo cientista parisiense Jean Charles Athanase Peltier (1785-1845) sendo o seu principal objetivo medir a carga elétrica existente na atmosfera. Este instrumento muito sensível, muito popular na segunda metade do século XIX, baseia-se no princípio da repulsão eletrostática utilizado pela primeira vez, em 1874, na famosa *balança de torção de Coulomb*, pelo físico francês Charles August de Coulomb.



Eletroscópio meteorológico de Peltier (Cont.)

A caixa de vidro cilíndrica, que encerra e protege da ação de agentes exteriores o sistema de medida do instrumento (com uma agulha horizontal), encaixa numa ranhura circular existente na base circular de madeira do instrumento, munida de três parafusos niveladores de latão. Um condutor é constituído, no exterior, por uma haste vertical de latão, que passa pelo orifício central da parte superior da caixa e termina numa esfera oca de cobre e, no interior, por um anel solidário com uma pequena haste horizontal. A haste horizontal, de latão, tem duas pequenas esferas nas extremidades e está montada numa base circular isoladora. A haste e o anel estão presos a um pivot pontiagudo que atravessa o anel.



Eletrôscópio meteorológico de Peltier (Cont.)

Uma agulha, muito leve e fina, apoia-se neste pivot e está solidária com um fragmento de agulha magnética, pelo que tem tendência a apontar para o zero de uma escala de medida graduada.

Esta escala, gravada na base inferior do aparelho e na parede exterior do cilindro de vidro ao nível da agulha, apresenta dois zeros e está dividida em quadro quadrantes, cada um graduado de 90.

Antes de qualquer medida, a pequena haste horizontal de latão e a agulha são alinhadas com os dois zeros da escala, na direção dos meridianos magnéticos.



Eletrôscópio meteorológico de Peltier (Cont.)

Submetendo o instrumento à ação de um objeto eletrizado, a agulha, em contato elétrico com a haste fixa, roda de um certo ângulo, em resultado da repulsão eletrostática; o ângulo de deflexão da agulha depende da carga elétrica recebida.

Assim, quando utilizado no exterior, as camadas atmosféricas envolventes do instrumento provocam uma deflexão da agulha que permite determinar a carga elétrica presente nas mesmas.



Eletroscópios de folhas

Fabricante: Desconhecido

340x90x110 mm // metal, vidro e cortiça,
220x90x90 mm // metal, vidro, borracha e
madeira

O ***eletroscópio de folhas*** é um aparelho que se destina a detetar a existência (e o tipo) de carga elétrica num dado corpo, tendo sido inventado pelo físico e sacerdote francês Jean Antoine Nollet (1700-1770).

É constituído por um vaso de vidro, no interior do qual existem duas finas folhas metálicas, comumente de ouro, presas a um bastão metálico, suspenso na vertical. Este bastão faz a ligação com o exterior do vaso, terminando habitualmente numa esfera condutora.



Eletroscópios de folhas (Cont.)

Quando se aproxima um corpo eletrizado negativamente da esfera exterior, os elétrons livres presentes na esfera são repelidos para as folhas metálicas no interior, provocando a repulsão mútua entre elas, uma vez que ambas ficam eletrizadas negativamente; se se aproximar um corpo eletrizado positivamente, os elétrons livres das folhas são atraídos para a esfera exterior e, de novo, as folhas se repelem, por ficarem eletrizadas positivamente.

Se o eletroscópio for carregado, por condução, com uma carga de sinal conhecido (por exemplo, tocando-se na esfera exterior com um bastão carregado), pode ser usado para detetar o tipo de carga existente num dado corpo: se a carga desconhecida for do mesmo tipo da existente no eletroscópio, ao aproximar-se o corpo da esfera exterior tal provocará um afastamento ainda maior das folhas metálicas;



Eletroscópios de folhas (Cont.)

se, pelo contrário, a carga desconhecida for de tipo contrário ao da existente no eletroscópio, tal provocará uma aproximação das folhas.

No Museu de Física existem dois eletroscópios: um encimado por uma esfera exterior, como acima descrito e um segundo, e que à esfera se segue uma haste metálica aguçada, ambas do mesmo metal.



Eolípilo de dardo horizontal

Fabricante: Lebrun

185x130x72 mm // latão e metal

*“ A **lâmpada eolípila** é uma minúscula caldeira cheia de álcool ou gasolina munida de um tubo que se recurva ficando a abertura à altura (e atrás) da chama de uma lâmpada de álcool que aquece a caldeira. O líquido da caldeira entra em ebulição deixando escapar um jacto contínuo que se inflama ao contacto da chama, produzindo uma temperatura muito elevada”.*

(transcrito de *Novo Dicionário Encyclopédico Luso-Brasileiro*, Lello Universal, Editora Livraria Lello Limitada, Porto)



Eolípilo de dardo horizontal (Cont.)

“Eolipylos: Injectando sobre uma chamma de alcool uma corrente de vapor combustível, produz-se uma forte corrente de ar que activa a combustão a que o próprio vapor serve de alimento. A fig. 313 representa um eolipylo de dardo horizontal. A chamma de uma lâmpada de álcool L volatilisa o alcool contido no vaso v, cujo vapor sae pelo tubo t, injecta-se sobre a chamma, arrasta comsigo o ar, e produz u dardo horizontal de temperatura elevadíssima”.

(transcrito de F. da Fonseca Benevides, *Noções de Physica Moderna*, 3ª edição, Tipographia da Academia Real das Sciencias, Lisboa, 1880)



Esfera de Pascal

Fabricante: Les Fils d'Émile Deyrolle, Paris, nº 3829 do respetivo catálogo

380x150x150 mm // latão

A **esfera de Pascal**, fig. 112, é constituída por uma esfera oca, de latão, perfurada em vários pontos da sua superfície e munida de um corpo de bomba com o respetivo êmbolo. Serve para verificar que a pressão de um líquido em repouso sobre as paredes do reservatório que o contem se exerce em todas as direções, perpendicularmente à superfície dessas paredes.

Assim, se se encher de água a esfera e se empurrar o êmbolo a água jorra por todos os orifícios da esfera, mostrando que a pressão se transmite em todas as direções.



Esferómetro

Fabricante: Desconhecido

118x82x82 mm // latão e metal

O **esferómetro** serve para a medição de pequenas espessuras, para a verificação da curvatura de superfícies esféricas e medição dos seus raios de curvatura. Um parafuso micrométrico **V** (com um passo de 1/2 mm) move-se numa porca **E** (fig. 8), fixa no centro de um tripé. Este repousa em cima de uma placa de vidro por intermédio de três pontas que formam os vértices dum triângulo equilátero. O parafuso termina por uma ponta romba. Na cabeça do parafuso está fixo um disco delgado, com 500 divisões, deslocando-se em frente duma régua **R**, de bordo delgado, fixa ao tripé e dividida em meios milímetros.



Esferómetro (Cont.)

Para medir uma espessura como, por exemplo, a espessura de uma lâmina de vidro de faces paralelas, leva-se a ponta do parafuso ao contato com placa de vidro e toma-se nota da divisão n_0 do limbo e h_0 da régua que estão em frente uma da outra. De seguida eleva-se o parafuso numa altura suficiente para intercalar a lâmina entre a placa e a ponta, depois baixa-se esta até fazê-la coincidir exatamente com a face superior da lâmina de vidro; sejam n_1 e h_2 as duas novas divisões em frente uma da outra. Obter-se-á para a espessura e (em mm)

Para medir uma espessura como, por exemplo, a espessura de uma lâmina de vidro de faces paralelas, leva-se a ponta do parafuso ao contato com placa de vidro e toma-se nota da divisão n_0 do limbo e h_0 da régua que estão em frente uma da outra. De seguida eleva-se o parafuso numa altura suficiente para intercalar a lâmina entre a placa e a ponta, depois baixa-se esta até fazê-la coincidir exatamente com a face superior da lâmina de vidro; sejam n_1 e h_2 as duas novas divisões em frente uma da outra. Obter-se-á para a espessura e (em mm)

$$e = \left(\frac{h_1 - h_0}{2} + \frac{n_1 - n_0}{1000} \right) \text{ mm}$$

$$e = \left(\frac{h_1 - h_0}{2} + \frac{n_1 - n_0}{1000} \right) \text{ mm}$$

Esferômetro (Cont.)

Para verificar a esfericidade duma lente convexa e a medição do seu raio de curvatura R colocam-se as três pontas **A**, **B** e **C**, do instrumento sobre a superfície esférica e leva-se a ponta central **O** à coincidência com esta superfície (ver fig. 9). Deslocando o instrumento sobre a superfície, se esta for rigorosamente esférica, a coincidência não cessará. O plano das três pontas corta a esfera segundo um pequeno círculo, **A, M, C, B**, que está circunscrito ao triângulo equilátero das três pontas. Constrói-se o triângulo **ABC** de que se conhecem os três lados, depois o círculo circunscrito, que tem o raio r . Mede-se depois, como anteriormente a distância $OO'=e$, da ponta romba ao centro do círculo.



Esferómetro (Cont.)

Tem-se, no triângulo retângulo **OMP**:

$$MO'^2 = OO' \times O'P$$

Ou

$$r^2 = e (2R - e)$$

donde

$$2R = e + \frac{r^2}{e}$$

(traduzido de A. Ganot, G. Maneuvrier, Traité Élémentaire de Physique, 25^{ème} édition, Librairie Hachette et Cie, Paris 1913)



Espelho convexo-cilíndrico e anamorfoses

Fabricante: Les Fils d'Émile Deyrolle, Paris, nº 5113 do respectivo catálogo

98x42x42 mm // madeira e espelho,

255x225 mm // cartão

Anamorfose é o fenómeno que se produz quando o desenho deformado dum objeto, sendo colocado perpendicularmente ao eixo dum **espelho convexo-cilíndrico** ou convexo- cónico, dá, por reflexão, uma imagem do objeto sem deformação.

Num espelho convexo-cilíndrico a imagem tem as dimensões do objeto na direção das geratrizes e dimensões diferentes na direção transversal porque os raios luminosos que se refletem nas geratrizes foram aí imagens como sobre os espelhos planos e os que se refletem nas seções transversais foram imagens como sobre um espelho esférico de raio igual ao do cilindro.



Espelho convexo-cilíndrico e anamorfoses

Nos espelhos convexo-cônicos a imagem conserva as dimensões na direção das geratrizes, porém fica com elas reduzidas na direção transversal, e tanto mais quanto mais perto do vértice se refletirem os raios. Assim, podem ver-se por reflexão nestes espelhos cilíndricos e cónicos imagens normais de figuras de aparência anormal.

A figura 58 representa uma anamorfose desenhada no cartão **AB** vista num espelho cilíndrico **c** colocado perpendicularmente sobre o cartão. Um observador colocado em frente do espelho vê uma imagem não deformada de um objeto na superfície refletora do cilindro.

(baseado em A. Pina Vidal, *Tratado Elementar de Óptica*, Tipografia da Academia Real das Sciencias, Lisboa 1874)



Espelho convexo-cilíndrico e anamorfoses

Existem dois conjuntos, cada um constituído por seis cartões com figuras coloridas deformadas (anamorfoses), para serem observadas, respetivamente, num espelho convexo-cilíndrico e num espelho convexo-cónico.

Estes cartões têm a seguinte inscrição “LES FILS D'ÉMILE DEYROLLE 46, Rue du Bac, Paris”.



Estereoscópio

Fabricante: Les Fils d'Émile Deyrolle, Paris, nº 5361 do respetivo catálogo

165x180x320 mm // lentes, madeira e metal

O **estereoscópio**, fig. 486, é um instrumento que permite observar simultaneamente duas fotografias de um mesmo objeto dando a ilusão que se trata duma imagem real, a três dimensões. É constituído por um suporte, em madeira, onde está montado um par de lentes, encontrando-se rodeado por uma pala, revestida exteriormente por uma folha metálica com um desenho gravado e debruada de veludo, que se adapta ao rosto do observador. A este suporte estão acoplados uma pega e uma régua horizontal, ambas de madeira. Ao longo desta régua pode deslizar uma peça onde se inserem as fotografias a observar.

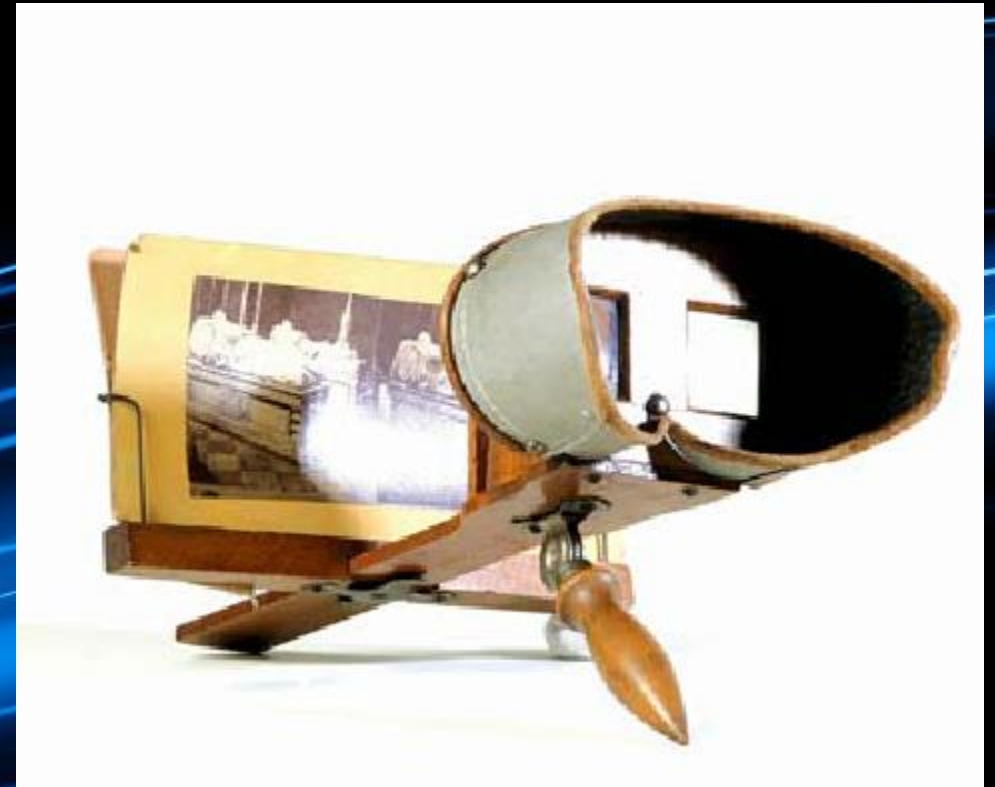


Estereoscópio (Cont.)

Existem dois pares destas fotografias, um deles datado de 1900.

As fotografias para serem observadas neste tipo de instrumento são obtidas em aparelhos fotográficos estereoscópios, constituídos por dois aparelhos fotográficos comuns, geminados, que possuem duas objetivas idênticas e cuja distância entre eixos é igual à distância entre os eixos dos dois olhos. As duas vistas assim obtidas, observadas num estereoscópio, restituem o relevo do monumento ou da paisagem, dando a ilusão perfeita da natureza.

(baseado em E. Gouard, G. Hiernaux, *Mécanique et Physique*, 3^{ème} édition, Dunod, Paris 1931)



Excitador elétrico

Fabricante: Max Kohl A. G., Appareils de Physique, nº 100, Tome III, Chemnitz, Allemagne, nº 92613 do respectivo catálogo

415x184x30 mm // metal e acrílico

O ***excitador elétrico*** é um dispositivo utilizado para descarregar as ***garrafas de Leiden***. É constituído por duas hastes metálicas, terminadas por duas pequenas esferas do mesmo material e por uma pega isoladora em acrílico (que substitui a pega original, em vidro).



Fervedor de Franklin

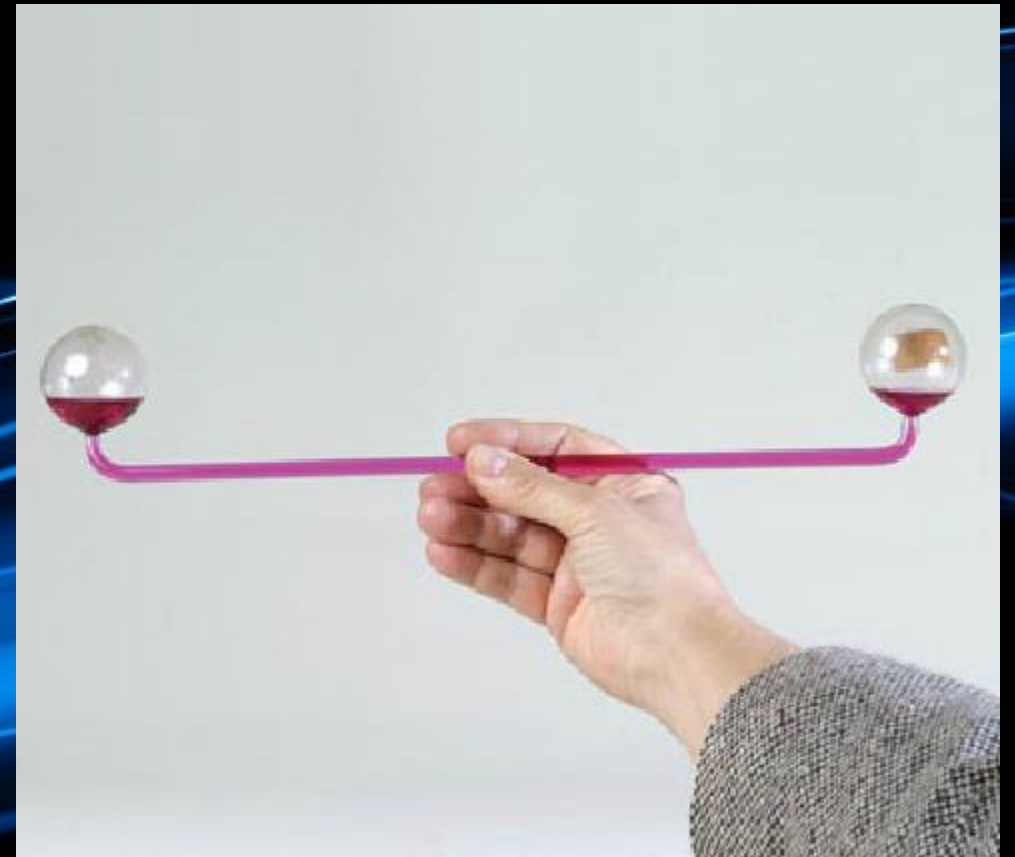
Fabricante: Desconhecido

75x360x42 mm // vidro e líquido volátil

O *fervedor de Franklin* é um aparelho para verificação do princípio da parede fria (ou de Watt).

É um aparelho para verificação do Princípio da parede fria (ou de Watt).

Considere-se um líquido na parte **A** dum vaso **AB** (fig. 299) que não contém outro gás que não seja o vapor do próprio líquido; **A** é mantido à temperatura **T** enquanto que **B** está a uma temperatura inferior a **t**. A pressão em **B** não pode ser superior à tensão máxima **f** correspondente à temperatura **t**.

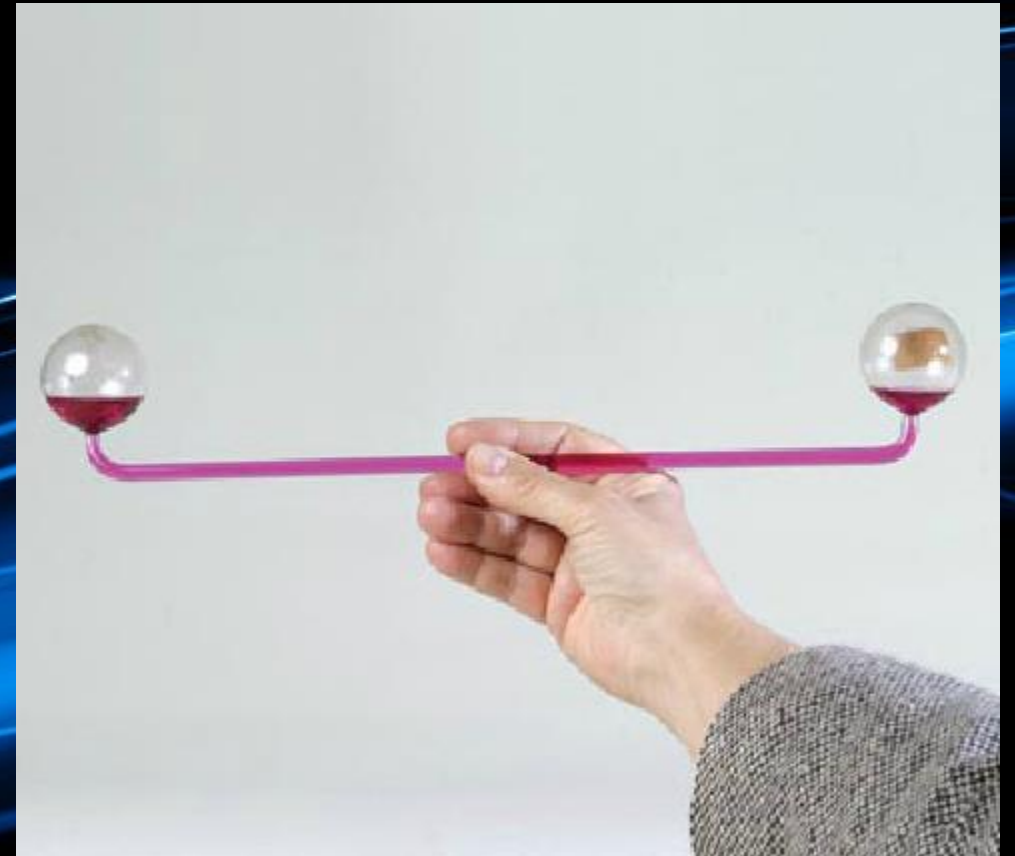


Fervedor de Franklin (Cont.)

Por outro lado, em **A**, o líquido tem tendência a evaporar-se até que a pressão seja a pressão máxima **F** correspondente à temperatura **T**. Portanto o equilíbrio é impossível; o vapor produzido em **A** condensar-se-á em **B**; diz-se que há destilação de **A** em direção a **B**.

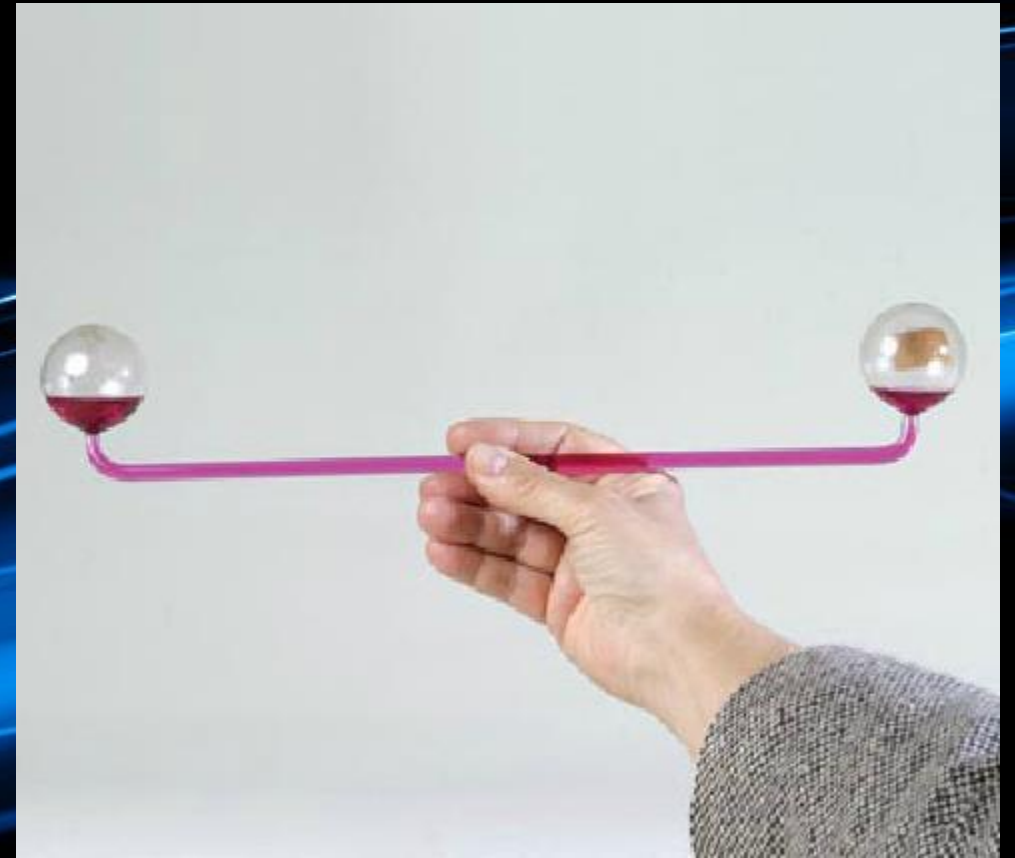
Enquanto durar este fenómeno a pressão nunca será muito superior à pressão máxima **f** correspondente à temperatura dos pontos mais frios do vaso. A esta proposição dá-se o nome de princípio da parede fria ou princípio de Watt, nome do célebre engenheiro que o enunciou pela primeira vez.

(traduzido de A. Ganot, G. Maneuvrier, Traité Élémentaire de Physique, Librairie Hachette et Cie., 25^{ème} édition, Paris, 1913)



Fervedor de Franklin (Cont.)

NOTA: O aparelho existente é de vidro e constituído por duas esferas ocas ligadas por um tubo retilíneo, estreito, contendo um líquido volátil corado de vermelho. Aquecendo com uma das mãos uma das esferas observa-se o que acima se descreve: o líquido destila dessa esfera em direção à outra que se encontra a temperatura inferior. Isto é, vê-se o líquido desaparecer na esfera que se encontra a temperatura superior e aparecer na outra.



Fonte de Héron

Fabricante: Les Fils d'Émile Deyrolle, Paris, nº 4259 do respetivo catálogo

1200x300x300 mm // vidro e metal

“Fonte de Hèron. – Fig. 213. Conta de uma bacia c e dois balões de vidro A e B ; a bacia comunica com o inferior B por meio do tubo t' , e o balão inferior B comunica com o superior A por meio do tubo t ; o balão A tem um tubo bT que vae quasi até ao fundo e se abre a uma certa altura acima da bacia. O balão A tem agua.



Fonte de Héron (Cont.)

Deitando agua na bacia, ella cai pelo tubo t' no balão B , e comprime o ar contido n'este balão; este ar comprimido vae, pelo tubo t , actuar sobre a agua contida no balão A e fal-a repuxar pelo tubo bT ; esta agua, caindo na bacia, desce para o balão B , comprime o ar, o qual actua sobre a agua do balão A e a faz repuxar; e assim successivamente, a fonte funciona em quanto tem água no balão A'' .

(transcrito de F. Fonseca Benevides, *Noções de Physica Moderna*, 3ª edição, Tipographia da Academia Real das Sciencias, Lisboa 1880)



Fonte dupla de Héron

Fabricante: Desconhecido

450x260x250 mm // metal cinzelado e vidro

A **fonte dupla de Héron** é um aparelho constituído por dois reservatórios em forma de pera e uma bacia, fabricados em vidro corado de vermelho. Os dois reservatórios encontram-se invertidos um sobre o outro, unidos pelo gargalo, por meio de uma peça metálica, possuindo no seu interior um tubo de vidro reto que estabelece a sua comunicação. Existem dois tubos metálicos recurvados que contornam o reservatório superior: um deles permite o escoamento da água da bacia para o reservatório inferior; o outro conduz a água do reservatório superior para um tubo situado no centro da bacia que termina num orifício por onde pode sair a água sob a forma de repuxo.



Fonte dupla de Héron (Cont.)

Todo este dispositivo está suspenso por intermédio de um suporte metal cinzelado e trabalhado, que possui ainda dois castiçais onde poderiam colocar-se velas para iluminar o aparelho. O princípio do seu funcionamento é o mesmo do descrito para a outra fonte de Héron, diferindo desta no seguinte. Quando se esgota a água no reservatório superior e consequentemente cessa o funcionamento do aparelho, é possível inverter a posição dos dois reservatórios, fazendo-os rodar em torno de um eixo horizontal que passa pela peça que os une.

Assim procedendo volta o reservatório superior a estar cheio de água e o inferior vazio, iniciando-se novamente todo o processo já descrito na outra fonte de Héron.



Funil mágico

Fabricante: Desconhecido, análogo ao nº 87915 do catálogo Max Kohl A. G., Appareils de Physique, nº 100, Tome III, Chemnitz, Allemagne
160x140x140 mm // metal

O **funil mágico** que, aparentemente, tem o aspeto de um funil comum, é uma aplicação de um dos efeitos da pressão atmosférica. Poderia ser usado em sessões de ilusionismo, donde lhe vem o nome.

“Funil magico.- Fig. 143. É um funil que consta de duas capacidades m , n , comunicando pela abertura c ; a capacidade n é aberta superiormente, e m comunica para fóra pela abertura superior O ; pondo o dedo em c , e enchendo o funil de líquido, este enche as duas capacidades m , n ;



Funil mágico (Cont.)

tirando o dedo de c e tapando o orifício O com o dedo, o liquido que estava em n sae pelo orifício c , mas o que está em m não pode sair, porque a pressão atmosférica que se exerce em c a isso se oppõe do mesmo modo que nas pipetas; depois de esgotada a capacidade n pode-se inverter o funil que não se verá sair liquido algum; tirando porém o dedo no orifício O restabelece-se a pressão atmosférica por cima do liquido na capacidade m , e o liquido contido n'esta sairá pelo orifício c'' .

(transcrito de F. Fonseca Benevides, *Noções de Physica Moderna*, 3ª edição, Typographia da Academia Real das Sciencias, Lisboa 1880)



Galvanómetro astático

Fabricante: Peyer Favarger Et Cie

52x120x120 mm // madeira, metal e vidro

O **galvanómetro astático** é um dispositivo que se destina à deteção e à medição da corrente elétrica. O princípio de funcionamento de um galvanómetro baseia-se na rotação experimentada por uma bobina móvel imersa num campo magnético permanente, por ação de um binário de forças magnéticas produzido sobre a bobina quando esta é atravessada por uma corrente elétrica.

No **galvanómetro astático**, a rotação da bobina é contrariada por uma mola, pelo que o ângulo rodado corresponde ao equilíbrio entre o binário de forças magnéticas e o binário da mola, sendo proporcional à corrente aplicada.



Galvanómetro astático (Cont.)

Este ângulo é lido sobre uma escala por intermédio de um ponteiro que roda solidário com a bobina. O ponteiro é constituído por um par de agulhas magnéticas idênticas, paralelas entre si e unidas por polos do mesmo tipo; deste modo, o momento magnético total é nulo, pelo que o conjunto não é afetado pelo campo magnético terrestre (este sistema, dito astático, foi inventado por Leopoldo Nobili (1784-1835)).



Galvanómetro de espelho

Fabricante: J. Carpentier

310x210x240 mm // metal, madeira e vidro

O ***galvanómetro de espelho*** é um dispositivo que se destina à deteção e à medição da corrente elétrica. O princípio de funcionamento de um galvanómetro baseia-se na rotação experimentada por uma bobina móvel imersa num campo magnético permanente, por ação de um binário de forças magnéticas produzido sobre a bobina quando esta é atravessada por uma corrente elétrica.



Galvanómetro de espelho (Cont.)

No galvanómetro de espelho, cujo princípio se deve a Lord Kelvin (1824-1907), a bobina é suspensa entre os polos de um magnete em ferradura, por meio de um fio metálico que, simultaneamente, conduz a corrente a ser medida até à bobina. Por ação da corrente elétrica na bobina, esta fica submetida a um binário de forças proporcional à intensidade da corrente, que a faz girar em torno de um eixo vertical; este binário é contrariado pelo binário de torção do fio, proporcional ao coeficiente de torção de fio e ao ângulo rodado. A bobina vai girar até os dois binários ficarem equilibrados, pelo que o ângulo rodado é proporcional à corrente aplicada.



Galvanómetro de espelho (Cont.)

Um espelho que roda solidário com a bobina permite a determinação desse ângulo, através da medida da deflexão de um feixe luminoso que nele incide, numa escala calibrada colocada defronte do galvanómetro.

Estes galvanómetros, além de uma elevada sensibilidade, não eram afetados pelo campo magnético terrestre ou por outras fontes de campo magnético, tendo sido largamente usados para detecção de correntes elétricas em cabos telegráficos submarinos.



Galvanómetro de espelho (Cont.)

Existem no Museu de Física três exemplares deste tipo de galvanómetro, de diferentes fabricantes: o de J. Carpentier (do tipo Deprez e d'Arsonval) e o de Sullivan, montados sobre bases de madeira e protegidos por uma tampa metálica provida de um óculo ou visor; o de Ruhmkorff, que deve apoiar-se num tripé (em falta).



Garrafa de Leiden

Fabricante: Desconhecido

330x90x90 mm // metal e vidro

A **garrafa de Leiden** é um dispositivo para armazenar energia elétrica, inventado quase em simultâneo por Pieter Van Musschenbroek (1692-1761), professor de filosofia natural em Leiden, na Holanda, e por Ewald Von Kleist (1700-1748), sacerdote e cientista alemão. Era também designada por condensador uma vez que, à época, se supunha que a eletricidade era um fluido e que, como tal, podia ser condensado.



Garrafa de Leiden (Cont.)

É constituída por uma garrafa de vidro, contendo no seu interior folhas de ouro, que quase a preenchem por completo. Uma haste metálica, em contato com as folhas de ouro, atravessa a rolha de cortiça da garrafa e termina (no exterior da garrafa) numa esfera metálica. A garrafa é revestida no exterior por uma folha metálica (prata, estanho, etc), até cerca de $\frac{4}{5}$ da sua altura. Esta folha constitui a armadura externa do condensador, funcionando as folhas de ouro como a armadura interna.

Nos dois exemplares existentes no Museu de Física, apenas restam vestígios da folha metálica exterior.



Garrafa de Leiden (Cont.)

A armadura interna da garrafa pode ser carregada ligando-a a uma máquina eletrostática (que produz eletricidade estática por fricção), enquanto a armadura externa permanece ligada à terra. Desta forma, as duas armaduras são eletrizadas, adquirindo cargas de sinal contrário. Uma violenta descarga elétrica pode ser observada utilizando-se um ***excitador elétrico***, tocando com uma das suas extremidades na armadura externa e aproximando a outra da esfera condutora ligada à armadura interna.



Goniómetro de aplicação

Fabricante: Desconhecido

55x120x8 mm // latão

*“Os rectilíneos de diedros medem-se com um goniómetro, cujo modelo mais simples é o **goniómetro de aplicação** ou de contacto. É um transferidor com uma régua móvel em torno do centro do transferidor. Para medir o rectilíneo de um diedro leva-se o goniómetro ao contacto com as faces do diedro, colocado entre a régua móvel e o bordo rectilíneo do goniómetro, de modo que o plano dêste seja normal à aresta do diedro. O valor do rectilíneo é dado pela posição da régua no bordo circular do goniómetro”.*

(transcrito de A. Ferreira, *Trabalhos Práticos de Física*, Livraria Sá da Costa, Lisboa 1936)



Hemisférios de Magdeburgo

Fabricante: Desconhecido

237x102x102 mm // metal

"Hemispherios de Magdebourg. – Fig. 125. O aparelho que tem este nome serve para mostrar as pressões em todos os sentidos em uma massa gazosa. Consta de dois hemispherios ôcos de metal, que se podem sobrepor exactamente um sobre o outro, ajustando-se bem por meio de uma rodella de coiro ensebada; um d'elles tem um canal com uma torneira.



Hemisférios de Magdeburgo (Cont.)

Extraíndo o ar do interior dos hemispherios por meio da machina pneumatica e fechando a torneira, observa-se que para os separar é preciso exercer um enorme esforço, porque a pressão exercida pelo ar exterior, em todos os sentidos, comprime-os um de encontro ao outro; abrindo porém a torneira, o ar entra para dentro e vae exercer pressões em sentido contrário às do ar exterior que assim se equilibram, de modo que os hemispherios separam-se facilmente.

Quando os hemisférios dentro dos quaes se faz o vácuo, são grandes, duas pessoas puxando por elles não os podem separar.



Hemisférios de Magdeburgo (Cont.)

Se tiverem de diâmetro 0,5m, depois de feito o vacuo, resistem, sem se separarem, à acção de quatro vigorosos cavallos atrellados dois a cada hemispherio e puxando em sentido contrario, fig. 126''.

(transcrito de F. Fonseca Benevides, *Noções de Physica Moderna*, 3ª edição, Tipographia da Academia Real das Sciencias, Lisboa, 1880).



Higrómetro de Saussure

Fabricante: Les Fils d'Émile Deyrolle, Paris, nº 4568 do respetivo catálogo

255x65x17 mm // madeira, metal, vidro e mercúrio

O ***higrómetro de Saussure*** permitia determinar rapidamente, embora com pouca precisão, a humidade relativa do ar atmosférico. É constituído por um cabelo c, previamente desengordurado, esticado sobre uma placa de madeira (fig. 336); o cabelo alonga-se com a humidade e encolhe com a secura do ar. Preso na extremidade superior, este cabelo enrola-se numa roldana com duas golas o, à qual se fixa pela outra extremidade.



Higrómetro de Saussure (Cont.)

O eixo da roldana possui uma agulha que se move sobre um quadrante graduado. Quando o cabelo encolhe a sua contração levanta a agulha; quando se alonga um contrapeso p fá-lo descer. Este aparelho é graduado por comparação com um higrómetro de condensação.

(baseado em A. Ganot, F. Maneuvrier, *Traité Élémentaire de Physique*, 25^{ème} édition, Librairie Hachette et Cie., Paris, 1913)

NOTA: O aparelho existente já não funciona pois, tanto o cabelo, como o contrapeso p , já não existem.



Máquina a vapor de cilindro vertical

Fabricante: Desconhecido

247x130x105 mm // latão e metal

O modelo da ***máquina a vapor de cilindro vertical*** é constituído por uma caldeira cilíndrica vertical na parte inferior da qual se situa a fornalha. Na base superior da caldeira, além da chaminé, estão inseridos uma válvula de segurança e um tubo que serve para transportar o vapor de água até um cilindro, em latão, situado lateralmente junto da base da caldeira.



Máquina a vapor de cilindro vertical (Cont.)

O movimento de vaivém do êmbolo no interior deste cilindro é transmitido, através de um veio vertical ascendente, a um excêntrico existente na parte superior da caldeira, que, por sua vez, o transforma em movimento de rotação e o transmite, por intermédio de um outro veio horizontal, a um volante, situado ao mesmo nível mas do outro lado da caldeira. Neste volante fixa-se uma roda menor, com ele concêntrica, que possui um sulco na sua periferia por onde pode passar uma corrente de transmissão, permitindo transmitir o movimento do volante a uma máquina exterior qualquer.



Máquina a vapor marítima de dois cilindros

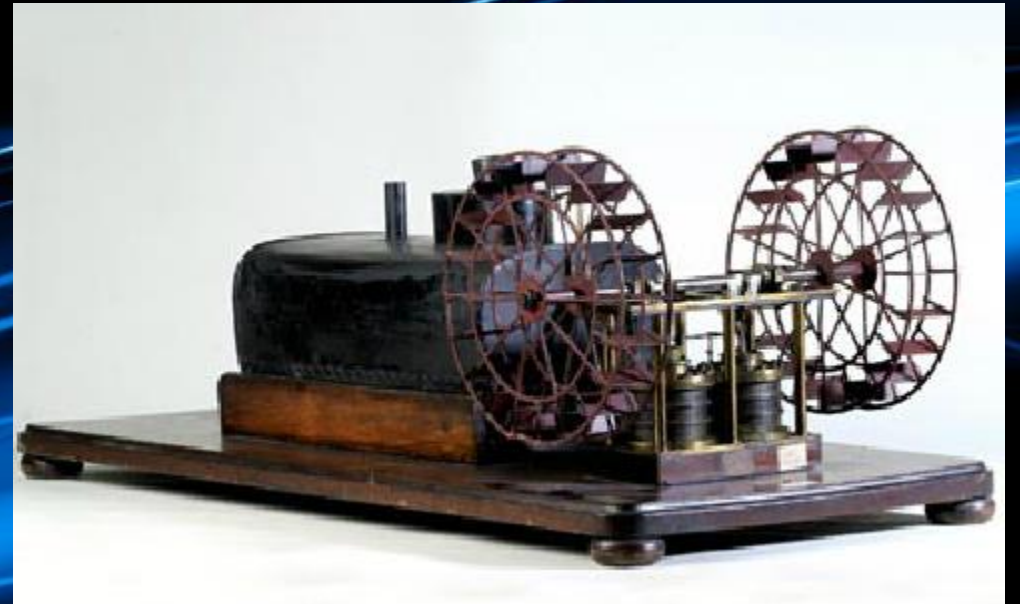
Fabricante: Desconhecido

264x745x325 mm // madeira e metal

Trata-se de um modelo de uma ***máquina a vapor marítima de dois cilindros*** que é constituído por:

- Uma caldeira ou gerador de vapor;
- Dois cilindros verticais, onde se expande o vapor proveniente da caldeira, e correspondentes sistemas de bielas e manivelas, que transformam em movimento de rotação o movimento de vaivém dos êmbolos, transmitindo-o às rodas;
- Duas rodas munidas de pás que constituem o sistema de propulsão do barco.

Todo o conjunto assenta numa plataforma de madeira.



Máquina de elevação da água

Fabricante: Desconhecido

470x590x355 mm // madeira e metal

A *máquina de elevação da água* destina-se a elevar a água de um nível para o outro superior. É constituída por uma roda cilíndrica, oca, dividida interiormente em vários compartimentos e que pode rodar em torno de um eixo horizontal. Para tal, possui uma manivela acionada por uma roda dentada que, por sua vez, engrena nos dentes existentes na periferia de uma das faces da roda.



Máquina de elevação da água (Cont.)

Este conjunto, encontra-se suspenso sobre suportes que se apoiam no fundo de um reservatório retangular que se pode encher de água. Quando se faz girar a roda, e devido à sua configuração, cada um dos seus compartimentos, no decurso deste movimento, mergulha no referido reservatório e retira deste uma certa massa de água que em seguida transporta para um nível superior.



Máquina magneto-elétrica

Fabricante: Desconhecido

430x255x150 mm // metal e madeira

Uma **máquina magneto-elétrica** é um gerador de corrente elétrica, que transforma a energia cinética associada ao movimento de rotação de uma bobina, em energia elétrica. É, portanto, um precursor dos dínamos atuais. Uma das primeiras máquinas magneto-elétricas foi inventada por Edward M. Clarke, um construtor inglês de instrumentos científicos, pouco depois da descoberta do fenómeno da indução eletromagnética pelo físico e químico inglês Michael Faraday (1791-1867). Faraday mostrou que o movimento de uma bobina condutora num campo magnético pode induzir o aparecimento de uma corrente elétrica nas suas espiras.



Máquina magneto-elétrica (Cont.)

O exemplar existente no Museu de Física é constituído por um magnete em U, fixo, montado sobre um suporte de madeira. Entre os polos do magnete e paralelamente a estes, existe um veio metálico horizontal, ao qual está acoplada uma bobina constituída por um número elevado de espiras de material condutor, isoladas entre si; o eixo das espiras é perpendicular ao veio. O veio termina numa roldana que pode ser posta em rotação fazendo-se girar manualmente a grande roda verde, por meio de uma manivela (em falta), movimento esse que é transmitido à roldana por uma correia (também em falta).



Máquina magneto-elétrica (Cont.)

Quando a bobina roda, varia o ângulo entre o eixo das espiras que a constituem e a direção do campo magnético e, conseqüentemente, varia o fluxo da indução magnética criada pelo magnete através das espiras. De acordo com a lei da indução de Faraday, essa variação de fluxo dá origem ao aparecimento de uma corrente elétrica induzida nas espiras. Fazendo girar a manivela sempre no mesmo sentido, obtém-se uma corrente elétrica alternada, cuja intensidade será proporcional à velocidade angular imprimida à bobina.



Máquina pneumática

Fabricante: Arthur Pfeiffer Wetzler

314x257x357 mm // ferro e madeira

477x182x182 mm // metal e vidro

335x132x132 mm // metal e vidro

Na ideia do seu inventor, Otto Gueric, a **máquina pneumática** era destinada a fazer o vácuo num recipiente fechado. Reconhecendo-se a impossibilidade de com ela extrair todo o ar aí contido pode dizer-se que é um aparelho destinado a rarefazer o ar (ou outro gás) contido num recipiente fechado.



Máquina pneumática (Cont.)

O aparelho existente é constituído essencialmente por uma bomba rotativa, acionada por uma manivela adaptada a um volante. A bomba situa-se debaixo duma plataforma metálica circular (a platina) sobre a qual pode assentar hermeticamente uma campânula de vidro e no centro da qual existe um orifício que comunica com o canal de aspiração da bomba.

Três campânulas de vidro de diferentes dimensões constituem os acessórios deste aparelho.

Uma destas campânulas permite a realização de experiências elétricas no vácuo. Outra das campânulas possui no seu interior uma campainha comunicando com dois terminais exteriores para ligação a um gerador de corrente elétrica.



Máquina pneumática (Cont.)

Quando se rarefaz o ar no interior da campânula com a campainha a tocar, observa-se que a intensidade do som vai diminuindo à medida que também diminui a pressão do ar rarefeito e que deixa mesmo de se ouvir quando se atinge uma certa rarefação, provando-se assim que o som não se propaga no vácuo.

(baseado em F. J. Sousa Gomes, Álvaro R . Machado, *Elementos de Física Descritiva*, Livraria Cruz-Editora, Braga, 1918)



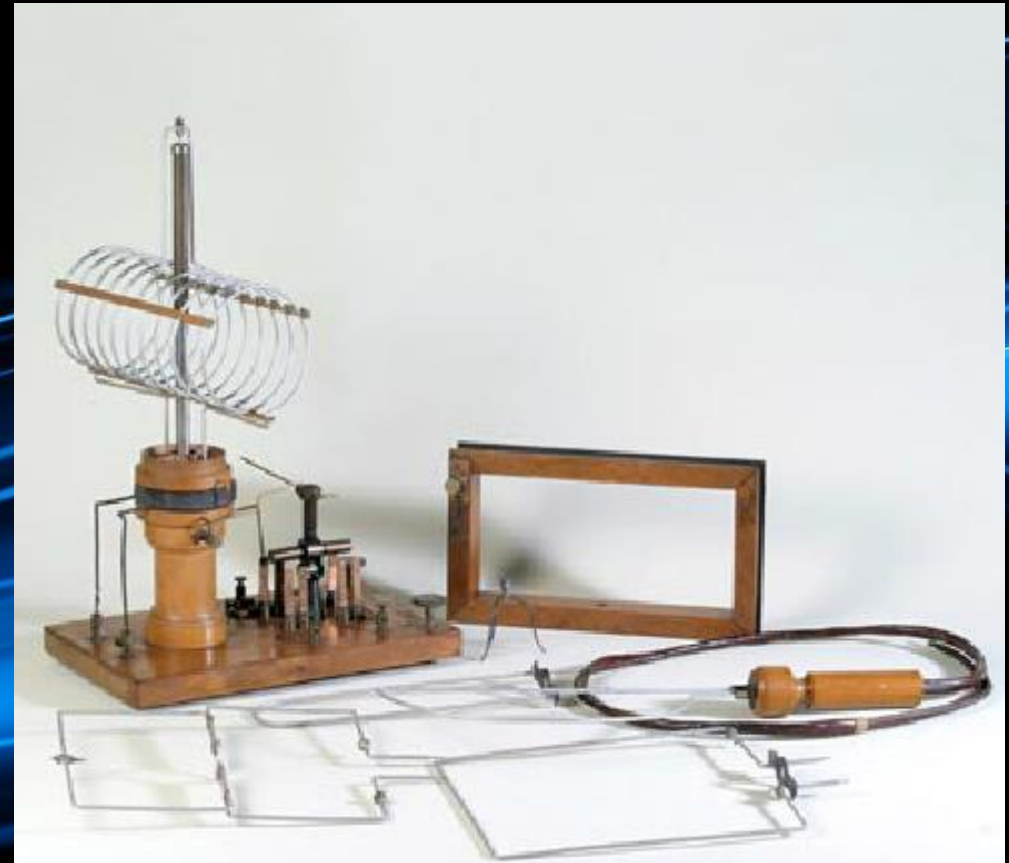
Mesa de Ampère

Fabricante: Dr. Stöhrer u. Sohn, Physikalische und Chemische Lehrmittel, Ausgabe IX, Leipzig, nº 5305 do respetivo catálogo

405x260x160 mm // metal, madeira e fio condutor isolado

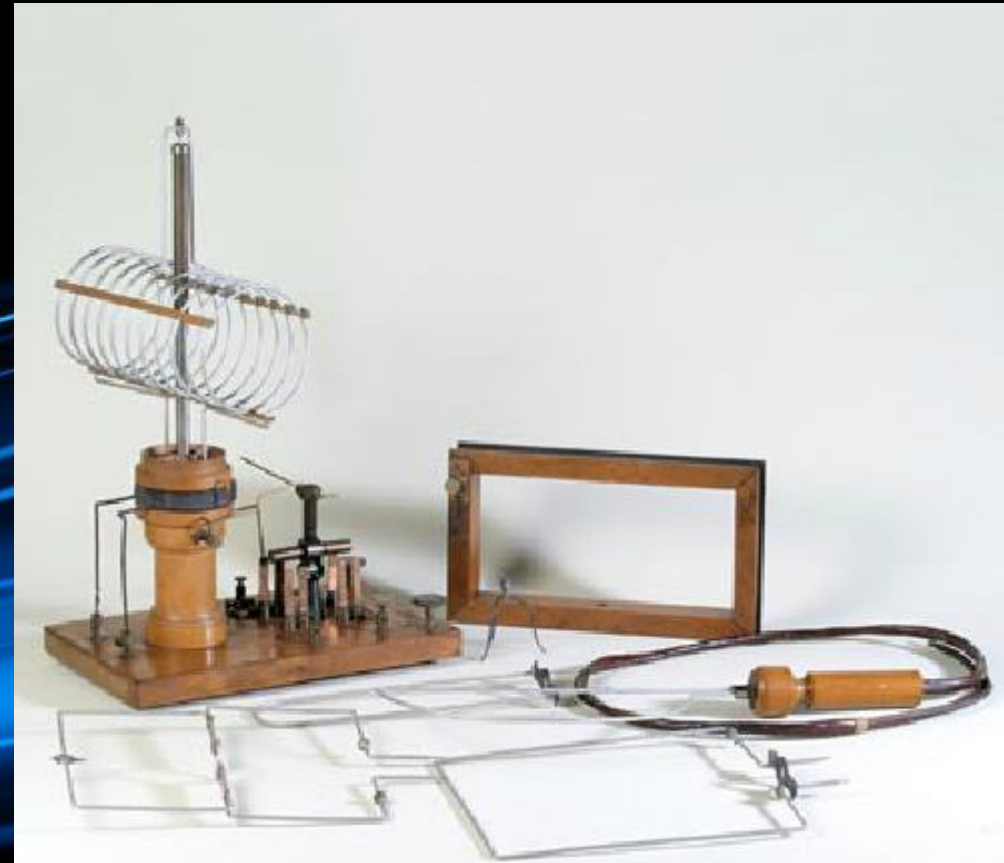
A **mesa de Ampère** é um aparelho destinado a demonstrar a ação de um campo magnético sobre correntes elétricas de diferentes geometrias, baseado em aparelhos didáticos desenvolvidos pelo físico e matemático francês André Marie Ampère (1775-1836).

O aparelho existente no Museu de Física permite observar o efeito do campo magnético criado por condutores fixos percorridos por uma corrente elétrica, sobre condutores amovíveis, igualmente percorridos por correntes elétricas e que podem rodar em torno de um eixo vertical.



Mesa de Ampère (Cont.)

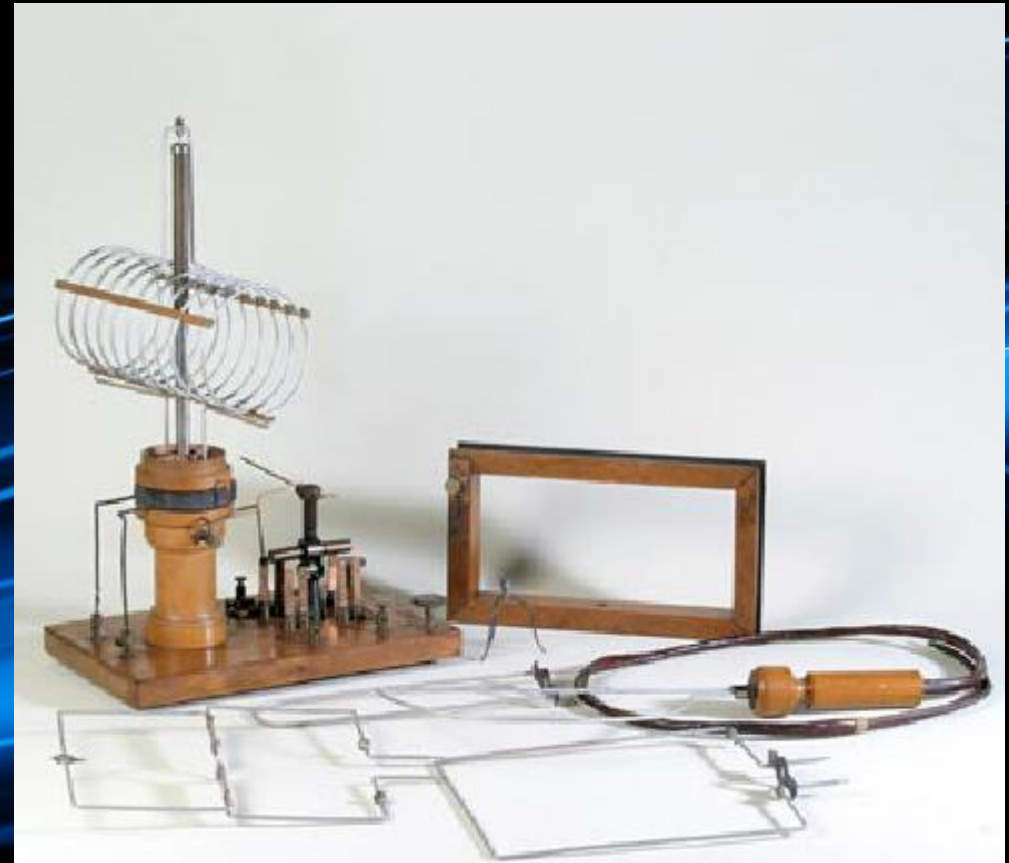
Os condutores fixos, dispostos sobre uma base de madeira, consistem numa bobina de eixo vertical, enrolada sobre um suporte (também de madeira) e em fios retilíneos, com diferentes orientações. Os condutores amovíveis apresentam diferentes formas: quadrada, retangular, solenoidal, etc. e podem ser colocados em equilíbrio sobre um eixo vertical (coincidente com o eixo da bobina fixa), por meio de um apoio de ponta aguçada, que lhes permite rodar com atrito reduzido em torno desse eixo. Cada extremidade destes condutores mergulha num de dois suportes semicirculares de madeira, sem comunicação, onde existe um condutor líquido (mercúrio, por exemplo); nestes suportes mergulham igualmente fios de cobre destinados a conduzir a corrente elétrica até aos condutores amovíveis.



Mesa de Ampère (Cont.)

Assim, esta construção permite a rotação dos condutores amovíveis por ação das forças e binários magnéticos que sobre ele se estabelecem.

Um comutador montado sobre a base de madeira permite inverter os sentidos da corrente elétrica.



Modelo de luneta astronómica

Fabricante: Max Khol A. G., Appareils de Physique, nº 100, Tome III, Chemnitz, Allemagne, nº 89228 do respetivo catálogo

223x120x245 mm // madeira, metal e vidro

O existente é um banco de ótica **em modelo de luneta astronómica** m miniatura. É constituído por uma régua horizontal, de madeira, apoiada num suporte pintado de negro. Sobre esta régua estão montadas duas pequenas lentes convergentes, a objetiva e a ocular, e dois pequenos discos com um orifício circular central (diafragmas), um entre as duas lentes e outro depois da ocular. Todos estes dispositivos são fixos exceto a ocular que pode sofrer pequenos deslocamentos na direção do eixo ótico.



Modelo de luneta astronómica (Cont.)

A superfície superior desta régua está pintada de branco e tem desenhada a trajetória dos raios luminosos, apresentando ainda as seguintes inscrições *Gegenstandsweite* $a=3m$ e *Bildweite* $b=25cm$.

Luneta astronómica. – A luneta astronómica, usada para observação dos astros, é constituída por uma objetiva e uma ocular, ambas convergentes, com o mesmo eixo principal, sendo grande a distância focal da objetiva e pequena a da ocular para que a imagem final seja muito grande. Com efeito, demonstra-se que a ampliação da luneta astronómica é sensivelmente igual ao cociente f_1/f_2 das distâncias focais, respetivamente, da objetiva e da ocular.



Modelo de luneta astronómica (Cont.)

Na figura 284 está representada a construção da imagem dada por uma luneta astronómica. Como o objeto está muito afastado, a sua imagem forma-se em A_1B_1 no plano focal da objetiva. Esta imagem é real, invertida e tanto maior for a distância focal da objetiva. A ocular funciona como lupa e dá uma imagem A_2B_2 , virtual, aumentada, mas invertida em relação ao objeto, que é irrelevante no caso das observações astronómicas.

(baseado em *Cours de Physique, 1^{ère}, 2^{ème} et 3^{ème} Années, par une Reunion de Professeurs*, Librairie General J. Gigord, Paris)



Modelo de luneta de Galileu

Fabricante: Max Khol A. G., Appareils de Physique, nº 100, Tome III, Chemnitz, Allemagne, nº 89227 do respetivo catálogo

215x120x160 mm // lentes de vidro, madeira e metal

Este **modelo de luneta de Galileu** é análogo aos modelos de **luneta astronómica** e de **luneta terrestre** já apresentados. Neste caso existem apenas duas lentes, uma divergente (a ocular) e outra convergente (a objetiva), não existindo os diafragmas que aparecem nas outras lunetas.

Apresenta ainda as seguintes inscrições:

Gegenstandsweite $a=3m$ e bildweite $b=25cm$.



Modelo de luneta de Galileu (Cont.)

Luneta de Galileu. – É uma luneta terrestre com uma ocular divergente; fornece uma imagem direita sem ser necessário empregar o sistema de lentes para inverter as imagens de modo a coloca-las direitas, usado na luneta terrestre.

Na figura 286 representa-se a formação das imagens numa luneta de Galileu.

(baseado em *Cours de Physique, 1^{ère}, 2^{ème} et 3^{ème} Années, par une Reunion de Professeurs*, Librairie General J. Gigord, Paris)



Modelo de luneta terrestre

Fabricante: Max Khol A. G., Appareils de Physique, nº 100, Tome III, Chemnitz, Allemagne, nº 89227 do respetivo catálogo

220x120x420 mm // madeira, metal e vidro

O modelo desta ***luneta terrestre*** é análogo ao da ***luneta astronómica***, também referido. No entanto difere no número de lentes e de diafragmas que possui: três lentes convergentes (objetiva, ocular e uma lente intermédia); e três diafragmas (dois entre cada par de lentes e outro depois da ocular). Apresenta ainda as seguintes inscrições: *Gegenstandsweite* $a=3m$ e *bildweite* $b=25cm$.



Modelo de luneta terrestre (Cont.)

Luneta terrestre: - A luneta terrestre é destinada à observação de objetos terrestres e não é mais do que uma luneta astronômica onde se intercalou, entre a objetiva e a ocular, um sistema de lentes com a função de inverter as imagens de modo a colocá-las direitas.

Este sistema provoca uma perda de luz e aumenta o comprimento do instrumento.

(baseado em *Cours de Physique, 1^{ère}, 2^{ème} et 3^{ème} Années, par une Reunion de Professeurs*, Librairie General J. Gigord, Paris)

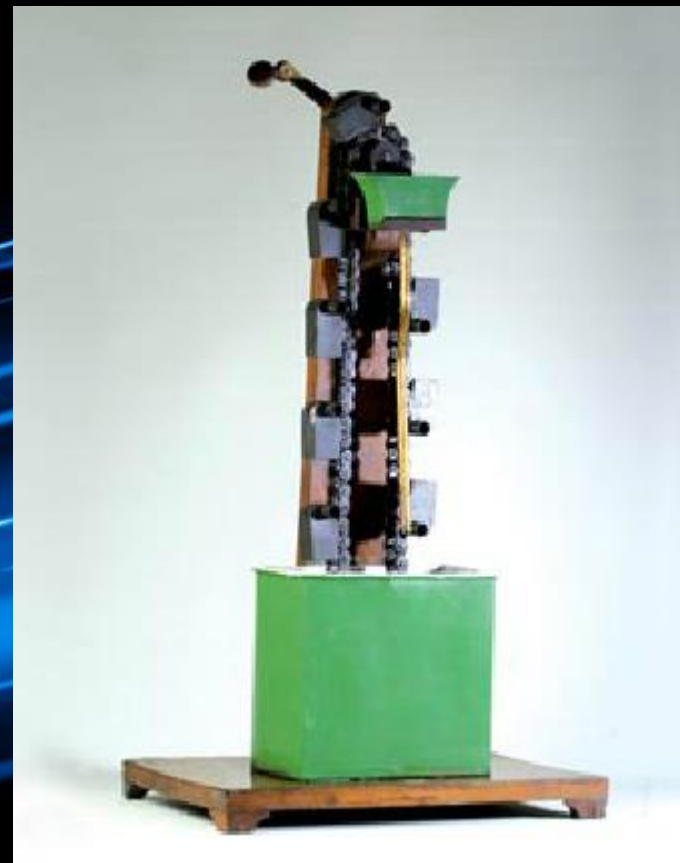


Modelo de uma nora

Fabricante: Desconhecido

720x410x295 mm // madeira e metal

A **nora**, fig. 231, é um dispositivo, usado para elevar água, que se compõe de uma cadeia sem fim formada de barras de ferro articuladas onde se suspendem os alcatruzes. A esta cadeia pode-se imprimir movimento de rotação por intermédio de uma engrenagem de duas rodas dentadas acionada por uma manivela. Os alcatruzes possuem numa das suas faces laterais um tubo, por onde entra (ou sai) a água e ainda, junto do funo, um orifício que permite a saída (ou a entrada) de ar necessária para o seu enchimento (ou esvaziamento).



Modelo de uma nora (Cont.)

Os alcatruzes, mergulhando num reservatório existente junto da base do dispositivo, retiram água deste e, no seu movimento, transportam-na até a lançar num depósito localizado na parte superior do aparelho.

(baseado em F. Fonseca Benevides, *Noções de Physica Moderna*, 3ª edição, Typographia da Academia Real das Ciências, Lisboa 1880)



Modelo duma locomotiva a vapor

Fabricante: Desconhecido

281x190x337 mm // latão e metal

Locomotiva a vapor – A elevada pressão que adquire o vapor de água quando atinge altas temperaturas permite empregar esta pressão como força motriz nas máquinas a vapor. Um dos órgãos desta máquina é o *cilindro*. Neste move-se um êmbolo E, preso a uma haste F (fig. 388) que, pela outra extremidade, se articula com as partes da máquina que se têm que por em movimento. O movimento de vaivém do êmbolo obtém-se fazendo atuar o vapor, alternadamente, sobre as suas duas faces, o que é conseguido através de um órgão adjacente ao cilindro, denominado *distribuidor de gaveta*.



Modelo duma locomotiva a vapor (Cont.)

A transforação do movimento de vaivém do êmbolo em movimento de rotação do eixo, onde estão fixadas as rodas, faz-se por meio da *biela I* e *manivela M*. Outro órgão essencial da máquina a vapor é a *caldeira ou gerador de vapor*. Nas locomotivas a vapor a caldeira é *tubular* (fig. 390), constituída por um grande recipiente cilíndrico de ferro, que contém a água, atravessado por numerosos tubos de aço ou de cobre, pelos quais passam os gases quentes produzidos na fornalha F, que cedem calor à água circundante, saindo pela chaminé C.



(baseado em F. J. Sousa Gomes e Álvaro R. Machado, Elementos de Física Descritiva, 6ª edição, Livraria Cruz-Editora, Braga 1918).

Molinete

Fabricante: Les Fils d'Émile Deyrolle, Paris, nº 3518 do respetivo catálogo

185x200x142 mm // ferro e madeira

O ***molinete***, fig. 151, é um aparelho em ferro, constituído por um cilindro em torno do qual se enrola uma corda. Na extremidade da corda prende-se o corpo que se pretende elevar. O cilindro é solitário com uma roda dentada que engrena num carrete (também este uma roda dentada de menor diâmetro), a cujo eixo está fixa uma manivela. A estrutura em que se insere o aparelho é um suporte de ferro apoiado numa base de madeira.



Molinete (Cont.)

Do ponto de vista da Estática, o aparelho compõe-se de *dois cilindros simples* (fig. 152). O *primeiro cilindro*, de eixo **O**, é constituído pela manivela e o carrete dentado.

Sejam **P** a força potente, que atua perpendicularmente à manivela **OM**; **P'**₁ a força resistente que se opõe ao movimento do carrete, por intermédio da reação dos dentes de roda.

Na condição de equilíbrio tem-se:

$$\frac{P}{P'_1} = \frac{r}{l} \quad (1)$$

Do ponto de vista da Estática, o aparelho compõe-se de *dois cilindros simples* (fig. 152). O *primeiro cilindro*, de eixo **O**, é constituído pela manivela e o carrete dentado.

Sejam **P** a força potente, que atua perpendicularmente à manivela **OM**; **P'**₁ a força resistente que se opõe ao movimento do carrete, por intermédio da reação dos dentes de roda.

Na condição de equilíbrio tem-se:

$$\frac{P}{P'_1} = \frac{r}{l} \quad (1)$$

Molinete (Cont.)

O segundo cilindro, de eixo O' , é constituído pela roda dentada e pelo cilindro onde se enrola a corda. A força potente P_1 é igual à reação P'_1 (em valor absoluto).

Tem-se:

$$\frac{P_1 \text{ ou } P'_1}{Q} = \frac{r'}{R} \quad (2)$$

Multiplicando (1) e (2) membro a membro:

$$\frac{P}{Q} = \frac{r r'}{R I}$$



Molinete (Cont.)

A força potente é muito menor que a força resistente.

(traduzido de E. Gabriel, *Précis de Mécanique*,
Maison A. Mame Et Fils – Imprimeurs/Éditeurs,
Tours, 1916)



Motor elétrico

Fabricante: Desconhecido

220x240x150 mm // metal e madeira

Um **motor elétrico** é um dispositivo que converte energia elétrica em energia mecânica.

No exemplar existente no Museu de Física, o princípio de funcionamento baseia-se na atração exercida pelo campo magnético criado por um eletroímã sobre as barras de ferro da armadura, que tem a forma de uma estrela hexagonal.

Uma descrição pormenorizada do motor e do seu funcionamento pode ser encontrada na obra de F. F. Benevides (fig. 568):

“Consta de um electro-iman E com uma armadura formada de barras de ferro macio d fixas a um eixo vertical b que pode tomar movimento de rotação.



Motor elétrico (Cont.)

A corrente entra em a, vae a uma lamina ou mola m, roda dentada n, eixo b, electro-iman E, e d'este passa á columna a', d'onde volta á pilha; só porém está fechado o circuito quando a mola m toca em algum dente da roda n; n'esta occasião a corrente passa, o electro-iman magnetisa-se, e a armadura, sendo atraída, toma movimento de rotação; quando porém alguma das barras passa defronte dos pólos, a mola m fica entre dois dentes da roda, interrompe-se a corrente, desmagnetisa-se o electro-iman, e a armadura continua o seu movimento de rotação pela velocidade adquirida, até que a mola m toque em algum dente da roda e de novo se estabeleça a corrente, e assim successivamente o eixo b adquire um continuado movimento de rotação, que por meio do carrete c se pode transmitir para onde preciso for''.

(Transcrito de F. Fonseca Benevides, *Noções de Physica Moderna*, 3ª edição, Typographia da Academia Real das Sciencias, Lisboa, 1880?)



Motor elétrico gira-tubos

Fabricante: Les Fils d'Émile Deyrolle, Paris, nº 6067 do respetivo catálogo

150x135x100 mm // metal e madeira

O **motor elétrico** gira-tubos é um dispositivo destinado a fazer girar os **tubos de Geissler** que lhe são acoplados, em torno de um eixo horizontal. Como qualquer **motor elétrico**, converte energia elétrica em energia mecânica.

Tal como para o outro modelo de **motor elétrico** existente no Museu de Física, o princípio de funcionamento assenta na atração exercida pelo campo magnético criado por um eletroímã sobre uma armadura de ferro que, neste caso, roda em torno de um eixo horizontal. O movimento da armadura é comunicado ao eixo a que estão acoplados os **tubos de Geissler**.



Nónio curvilíneo

Fabricante: Desconhecido, análogo ao nº 1551 do catálogo Dr. Stöhrer u. Sohn, Physikalische und Chemische Lehrmittel, Ausgabe IV, Leipzig

150x150x5 mm // metal

O ***nónio curvilíneo*** é constituído por uma escala graduada em graus (unidades de medida de ângulos) em forma de arco de circunferência, à qual está adaptado um nóvio sexagesimal que permite avaliar frações da menor divisão desta escala.



Ovo elétrico

Fabricante: Max Kohl A. G., Appareils de Physique, nº 100, Tome III, Chemnitz, Allemagne, nº 92563 do respectivo catálogo

O **ovo elétrico** é um aparelho que permite mostrar descargas elétricas em gases a diferentes pressões. Foi utilizado sobretudo na segunda metade do séc. XIX, sendo um antecessor dos modernos sinais luminosos de néon, das lâmpadas fluorescentes e da luz estroboscópica.

É constituído por um vaso oval de vidro, no interior do qual existem duas hastes condutoras verticais, em latão, que terminam em duas esferas do mesmo material, separadas por uma distância de 1 cm.



Ovo elétrico (Cont.)

A base do ovo observada na fotografia, também em latão, serve unicamente para suporte e exibição; em funcionamento, esta base deve ser desacoplada e a válvula de latão, que se encontra na extremidade inferior do ovo, é ligada a uma bomba de vácuo, a fim de ser retirado o ar do interior do ovo.

A haste inferior, ligada à bomba de vácuo, atua como uma ligação à terra. A haste superior termina num gancho que, ligado a uma máquina eletrostática, permite a sua eletrização. Esta eletrização provoca descargas elétricas entre as duas esferas metálicas no interior do ovo.



Ovo elétrico (Cont.)

De acordo com o catálogo do Real Gabinete de Física da Universidade de Coimbra:

“Quando o ar contido no interior do vaso se encontra a uma pressão próxima da pressão atmosférica, nota-se o aparecimento de traços luminosos, que se ramificam como um relâmpago a partir de uma linha luminosa mais intensa.

Quando se rarefaz o ar no interior do ovo, as descargas são menos sinuosas e apresentam-se sob a forma de um elipsoide luminoso, de cor violeta. Este elipsoide costumava ser designado por ovo elétrico, ou ovo filosófico, daí o nome dado ao instrumento”.

(transcrito de *O Engenho e a Arte – Coleção de Instrumentos do Real Gabinete de Física*, Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, 1997)



Palmer com passo de parafuso de 0,5 mm

Fabricante: Moore Et Wright – Sheffield, England

92x41x13 mm // metal

O *palmer*, ou *compasso de espessura*, emprega-se para medir espessuras de lâminas e diâmetros de fios ou tubos.

É constituído por um parafuso micrométrico **P** (fig. 8), que gira numa porca existente em um dos ramos, **R**, de uma peça metálica com a forma de estribo. No outro ramo, **R'**, do estribo, há uma espera **b**, a que deve encostar a ponta, **a**, do parafuso.

O parafuso tem um disco, ou um tambor **T**, no bordo do qual existe uma graduação **G**, que permite avaliar as frações de volta. O número de voltas completas é indicado por uma escala **E**, cujas divisões são iguais ao passo do parafuso.



Palmer com passo de parafuso de 0,5 mm (Cont.)

Antes de efetuar qualquer medição com o instrumento, começa-se por dar uma rotação de 360° ao tambor, fazendo a leitura do deslocamento indicado na escala retilínea, determinando assim o denominado passo de parafuso p . Se for n o número de divisões da escala circular G do tambor T , o valor N do deslocamento de translação correspondente a uma divisão do tambor, que se denomina natureza do parafuso, é $N=p/n$. Esta natureza do parafuso é o menor comprimento que se pode medir exatamente com o parafuso.

Para medir a espessura de um corpo com este instrumento encosta-se o corpo, cuja espessura se pretende medir, à espera b , e faz-se rodar a cabeça do parafuso até levar a ponta deste, a , ao contato com o corpo, sem forçar o instrumento.



Palmer com passo de parafuso de 0,5 mm (Cont.)

Lêem-se, na escala retilínea **E**, o número de voltas, e na escala circular **G** do bordo do tambor, as frações de volta.

Retira-se o corpo e ajusta-se a ponta **a** do parafuso à espera **b**; fazem-se novas leituras, agora sem o corpo. A diferença das duas leituras, com o corpo e sem o corpo, dá um valor da espessura que se pretende determinar.

(baseado em A. Guerreiro, R. Seixas, *Trabalhos Práticos de Física*, Porto Editora)



Parafuso de Arquimedes

Fabricante: Les Fils d'Émile Deyrolle, Paris, nº 4277 do respetivo catálogo

310x395x145 mm // madeira, metal e vidro

O **parafuso de Arquimedes** serve para transportar água de um nível para outro superior.

“Parafuso de Archimedes – Fig. 230. Consta de um tubo ou canal em espiral, montado sobre um eixo que tem uma inclinação de 30° a 45° , ao qual se dá movimento de rotação por meio de uma manivella; a parte inferior do canal mergulha na água do reservatório; em virtude do movimento de rotação, a água que se acha na parte inferior de uma das voltas da espiral, pelo seu peso, tende a descer, e, como esta parte da volta do canal passa a tomar a posição superior, a água desce para a volta immediata da espiral, volta que fica mais acima da anterior;



Parafuso de Arquimedes (Cont.)

assim sucessivamente, a água, descendo pelo seu peso, sobre no interior do canal helicoidal e sae pela extremidade superior; em cada revolução da machina, a água avança dentro do canal uma extensão igual ao passo do parafuso. A água occupa sempre a parte inferior das voltas da espiral; por cima existe ar”.

(transcrito de F. Fonseca Benevides, *Noções de Physica Moderna*, 3ª edição, Tipographia da Academia Real das Sciencias, Lisboa 1880)

NOTA: No aparelho existente a água está confinada a um tubo de vidro que acompanha as voltas do parafuso.



Pêndulo elétrico de bola de sabugueiro com suporte isolante

Fabricante: Desconhecido

470x150x80 mm // cordel, madeira, metal e vidro

O *pêndulo elétrico de bola de sabugueiro com suporte isolante* destina-se a demonstrar fenômenos de atração e repulsão eletrostática.



Pesa Cartas

Fabricante: Desconhecido

183x120x90 mm // latão e metal

*“Pesa-cartas. – A figura representa um género de balança muito usado para pesar aproximadamente pequenos corpos, nomeadamente cartas e amostras para serem expedidas pelo correio, e por isso se chama pesa-cartas. No modelo figurado, uma alavanca interfixa **AFB**, de braços desiguais, é móvel em volta dum eixo horizontal **F**. À extremidade **A** do braço **FA** está articulado um prato **P**, onde se coloca o corpo a pesar; na outra extremidade **B** está uma massa cujo peso equilibra o corpo colocado em **A**, determinando um ângulo variável, acusado num quadrante **BC** por um ponteiro.*



Pesa Cartas (Cont.)

A graduação do aparelho pode fazer-se empiricamente, colocando no prato A a série de pêsos que a balança é destinada a acusar e marcando as indicações correspondentes no quadrante”.

(transcrito de F. J. Sousa Gomes, A. R. Machado, *Elementos de Física Descritiva*, 6ª edição, Livraria Cruz, Braga, 1918)



Picnómetros

Fabricante: Desconhecido

82x36x36 mm // vidro

O ***picnómetro***, fig. 104, é um pequeno frasco de vidro fino, tapado por uma rolha esmerilhada e oca, continuada por um tubo capilar aberto na extremidade superior. É utilizado para determinar a densidade (relativa) de corpos sólidos ou de líquidos.

Para determinar a densidade dum corpo sólido procede-se do seguinte modo. Enche-se o frasco com água destilada até ao bordo superior do tubo capilar, enxugando o resto com um pano e papel de filtro. Coloca-se num prato de uma balança juntamente com o corpo, de que se pretende determinar a densidade, equilibrando tudo com tara no outro prato da balança.



Picnómetros (Cont.)

Depois, tira-se o corpo e substitui-se por massas marcadas até restabelecer o equilíbrio. A soma destas massas m dá a massa do corpo no ar.

Sem modificar a tara, tiram-se as massas marcadas e introduz-se o corpo no frasco, estabelecendo o afloramento da água até ao bordo superior do tubo capilar, como precedentemente. Colocando depois o frasco no mesmo prato da balança, é preciso juntar-lhe, para restabelecer o equilíbrio, massas marcadas cuja totalidade representa a massa m_1 dum volume de água igual ao volume do corpo.



Picnómetros (Cont.)

Como a densidade é a razão entre massas de volumes iguais do corpo considerado e do que serviu para termo de comparação (neste caso água pura a 4°C), a densidade pretendida determina-se por:

$$d = \frac{m}{m_1}$$

O mesmo frasco pode servir para determinar a densidade dum líquido. Começa-se por determinar a massa do frasco, primeiro vazio, e depois cheio do líquido que se estuda, até ao bordo superior do capilar; a diferença das duas massas dá a massa **m** dum dado volume de líquido.



Picnómetros (Cont.)

Esvazia-se depois o frasco, lava-se e enche-se com água destilada até ao mesmo bordo superior do capilar e determina-se a massa.

A diferença entre esta e a primitiva (do frasco vazio) dá a massa m_1 dum volume de água igual ao mesmo volume do líquido que se estuda. A densidade relativa do líquido é igualmente determinada pela equação anterior.

(baseado em F. J. Gomes, A. R. Machado, Elementos de Física Descritiva, 6ª edição, Editora Livraria Cruz, Braga 1918)



Pilha de Grenet

Fabricante: Desconhecido

320x130x130 mm // vidro, metal e carvão

A ***pilha de Grenet***, fig. 486, à semelhança da ***pilha de Volta***, destina-se a converter a energia química, gerada por uma reação química, em energias elétrica. Foi desenvolvida pelo operário francês Grenet (cerca de 1856), tendo sido muito utilizada no final do séc. XIX para usos domésticos e laboratoriais (nomeadamente pelo inventor americano Thomas A. Edison (1847-1931)).

É constituída por uma garrafa de vidro no interior da qual se encontram duas lâminas de carvão, que constituem o eléctrodo positivo, e uma lâmina de zinco, central, que constitui o eléctrodo negativo.



Pilha de Grenet

O eletrólito é uma solução aquosa de dicromato de potássio e ácido sulfúrico, em partes iguais.

Para se evitar a corrosão do eletrodo de zinco quando a pilha não está em uso, este deve ser retirado da solução eletrolítica por meio da haste metálica existente no exterior da garrafa.



Pilha de Volta

Fabricante: Desconhecido

140x115x115 mm // metal, tecido e madeira

A ***pilha de Volta*** é um dispositivo que converte a energia química gerada por uma reação química de oxidação-redução, em energia elétrica. Foi inventada pelo físico italiano Alessandro Volta (1745-1827), sendo a predecessora das modernas células voltaicas.

Consiste num empilhamento de discos de cobre e zinco sobrepostos¹ (elétrodos), estando cada par de discos separado dos restantes por um material poroso (que pode ser tecido, cartão ou couro) embebido numa solução ácida (eletrólito).



Pilha de Volta (Cont.)

Os discos das extremidades (um de zinco e um de cobre) estão munidos de dois bornes aos quais podem ser ligados outros dispositivos, por forma a constituir-se um circuito elétrico fechado; quando tal acontece, desencadeia-se uma reação química ao decurso da qual os anéis de cobre se reduzem, ao receber esses mesmos eletrões; a condução elétrica entre os diferentes pares de elétrodos é assegurada pela condução dos iões presentes no eletrólito. Assim, a ***pilha de Volta*** fornece uma corrente elétrica contínua ao circuito onde se integra.



Pilha de Volta (Cont.)

A configuração da ***pilha de Volta*** corresponde, na prática, a uma associação em série de várias células voltaicas (uma por cada par de elétrodos), pelo que a força eletromotriz (f.e.m) é proporcional ao número de pares de elétrodos usados; a f.e.m depende igualmente dos materiais que constituem os elétrodos, da concentração do eletrólito e das condições de pressão e temperatura existentes.

¹ 10 pares no caso da pilha existente no Museu de Física



Pilha termoeétrica

Fabricante: W. M. Welsh Scientific Company, Laboratory Apparatus and Supplies for Physics and Chemistry, Catalog "G", Chicago, 1922, nº 1747 do respectivo catálogo

150x115x70 mm // metal

A **pilha termoeétrica** é um dispositivo que permite demonstrar o efeito de Seebeck. Este fenómeno, descoberto pelo físico alemão Thomas Seebeck (1770-1831), consiste no aparecimento de uma força eletromotriz num circuito constituído por dois metais diferentes quando os pontos de união entre os metais se encontram a temperaturas distintas.

O presente dispositivo é constituído por uma lâmina de cobre, de perfil retangular, cujas extremidades se encontram soldadas a uma base de zinco, formando um circuito fechado.



Pilha termoelétrica (Cont.)

No centro deste conjunto e montada sobre o respectivo suporte, existe uma agulha magnética que pode rodar num plano horizontal. Ao aquecer uma das junções entre os metais, estabelece-se uma corrente elétrica através do circuito; esta corrente elétrica cria um campo magnético que, de acordo com a lei de Biot-Savart, é perpendicular ao plano do circuito, provocando a rotação da agulha magnética. A agulha roda até ficar paralela ao campo magnético total, que é a soma do campo magnético criado pela corrente elétrica e da componente horizontal do campo magnético terrestre.



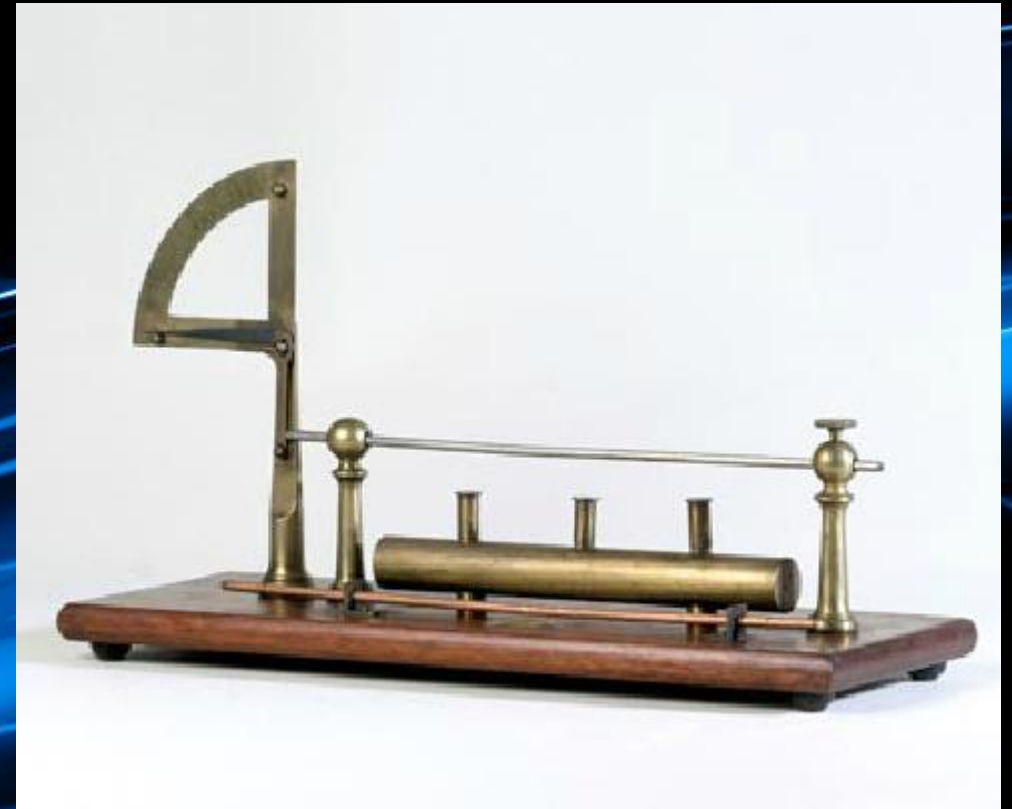
Pirômetro de Quadrante

Fabricante: Les Fils d'Émile Deyrolle, nº 4243 do respectivo catálogo

232x400x145 mm // cobre, ferro, madeira e metal

O ***pirômetro de quadrante*** serve para observar e comparar a dilatação linear de diferentes substâncias que, por ser muito pequena, é difícil de observar diretamente. Fazem parte deste aparelho duas hastes: uma de cobre e outra de ferro. O princípio do seu funcionamento é o seguinte:

Considere uma haste metálica **A** (fig. 537), que se fixa numa das suas extremidades por meio de um parafuso de pressão **B**, enquanto que a outra fica livre e em contato com o braço menor duma alavanca **K**, que se move sobre um quadrante.



Pirômetro de Quadrante (Cont.)

Debaixo da haste existe um reservatório no qual se queima álcool. O ponteiro K encontra-se inicialmente na posição zero do quadrante; mas, à medida que a haste se aquece, vai subindo como consequência da dilatação linear da haste.

(Traduzido de A. Ganot, G. Maneuvrier, *Traité Élémentaire de Physique*, 21^{ère} édition, Librairie Hachette et Cie., Paris, 1894)



Pirômetro de Wedgwood

Fabricante: Desconhecido

25x192x75 mm // argila, madeira e latão

***"Pyrometro de Wedgwood.-** Fig. 274. Serve este instrumento para avaliar temperaturas excessivamente elevadas. Funda-se na curiosa propriedade que tem a argilla de se contrair, em lugar de se dilatar, quando se expõe a altas temperaturas.*

Consta o pyrometro de Wedgwood de uma placa de latão, à qual estão fixas tres barras; o comprimento de cada uma é meio pé inglez; as duas primeiras são distantes uma da outra 6 linhas em um extremo e 5 no outro; a segunda e a terceira continuam a aproximar-se de modo que distam em um extremo 5 linhas e no outro 4.



Pirómetro de Wedgwood

As duas barras lateraes, cujo comprimento total é 1 pé, e cuja inclinação de um extremo ao outro faz 2 linhas, acham-se divididas em 240 graus.

Para usar d'este instrumento toma-se um cylindro de argilla a secco em uma estufa, e de tal grandeza que penetre entre as barras até 0º do pyrometro; depois expõe-se a argilla no logar cuja temperatura se pretende avaliar; a argilla contrae-se; sendo então introduzida no intervallo das barras, penetra mais dentro; chega, por exemplo, a 15º, será a temperatura observada a que se expoz a argilla 15º do pyrometro.



Pirómetro de Wedgwood

Experiencias feitas por Wedgwood mostram que 0º do pyrometro corresponde a 580º centigrados, e que cada grau do pyrometro corresponde a 72º centigrados, seria pois n'este exemplo a temperatura observada= $580+72 \times 15 = 1660^\circ$ centigrados''.

(transcrito de F. Fonseca Benevides, *Noções de Physica Moderna*, 3ª edição, Typographia da Academia Real das Sciencias, Lisboa 1880)

NOTA: Neste aparelho já não existe o cilindro de argila.



Planímetro de Amsler

Fabricante: J. Amsler (fornecedor Pimentel e Casquilho)

O *planímetro polar de Amsler*, fig. 1, é constituído por dois braços metálicos LL' e VV' , um dos quais tem na sua extremidade V uma ponta afiada, que serve para fixar esta extremidade num ponto do plano que contém a figura cuja área se pretende medir. Para garantir que a ponta não se desloca insere-se no braço, por cima da ponta, uma massa pesada, um pequeno cilindro metálico. O ponto onde se fixa o braço serve de centro de rotação do instrumento. Na extremidade L do braço LL' há outra ponta que vai percorrer o contorno da figura cuja área se pretende medir. Ao percorrer-se este contorno, uma roda R , que descansa sobre o plano da figura, vai rodar em torno dum eixo paralelo a LL' .



Planímetro de Amsler (Cont.)

Esta roda possui um bordo metálico mais saliente e um tambor graduado que se desloca em frente de um nónio. O número completo de voltas que esta roda efetua pode ser lido numa escala existente noutra roda horizontal **D**.

Para determinar uma área com este instrumento começam por se ajustar as rodas **D** e **R**, fazendo coincidir o zero da roda **D** com o ponteiro existente no braço **LL'** e fazendo coincidir a divisão zero do tambor de **R** com o zero do nónio; espeta-se a ponta afiada da extremidade **V** num ponto do plano da figura, mas exterior a esta; escolhe-se um ponto do contorno da figura e percorre-se com a ponta **L** todo este contorno, no sentido do movimento dos ponteiros do relógio, até regressar ao ponto inicial escolhido.



Planímetro de Amsler (Cont.)

Lê-se diretamente na roda **D** e **R** o número de voltas completas e frações de volta efetuadas por **R**. Como a cada volta de **R** corresponde uma dada área, que é conhecida, fica assim determinada a área pretendida.

Como acessório, o aparelho possui uma peça que permite traçar a circunferência que limita um círculo de área exatamente conhecida, podendo estabelecer-se assim uma correspondência entre as leituras efetuadas com o aparelho e as áreas respectivas.



Plano inclinado e disco

Fabricante: Les Fils d'Émile Deyrolle, Paris, nº 3629 do respetivo catálogo

82x495x158 mm // madeira

O ***plano inclinado e disco*** é constituído por uma tábua de madeira inclinada que se apoia numa das suas extremidades noutra tábua vertical de pequena altura, sobre a qual pode rolar um disco (cilindro), igualmente de madeira.

Serve, e citando o seu fabricante, para demonstrar que, desde que um corpo se possa mover livremente, ele deslocar-se-á até o seu centro de gravidade se encontrar o mais baixo possível.



Quadro e pêndulo de Foucault

Fabricante: Les Fils d'Émile Deyrolle, Paris, nº 3630 do respetivo catálogo

940x350x350 mm // fio, metal

O **quadro e pêndulo de Foucault**, fig. 55, é utilizado para demonstrar a invariabilidade do plano de oscilação de um pêndulo. É constituído por um plano retangular metálico, ao qual se pode imprimir um movimento de rotação, em torno de um eixo vertical, por intermédio duma engrenagem cónica acionada por uma manivela. Do ponto médio do lado superior do quadro está suspenso um pêndulo, pertencendo o seu ponto de suspensão ao referido eixo de rotação. Todo este conjunto é suportado por um tripé com parafusos niveladores.



Quadro e pêndulo de Foucault (Cont.)

Quando se faz oscilar o pêndulo no plano do quadro e se imprime um movimento de rotação lento ao aparelho, observa-se que o pêndulo conserva a posição do seu plano de oscilação que, entretanto, deixa de coincidir com o plano do quadro, uma vez que este vai rodando.

Foi, baseado na invariabilidade do plano de oscilação de um pêndulo, que Foucault provou, em 1851, a existência do movimento de rotação da Terra, numa célebre experiência realizada em Paris.

(baseado no catálogo Les Fils d'Émile Deyrolle, Paris)



Radiómetro de Crookes

Fabricante: Max Kohl A. G., Appareils de Physique, nº 100, Tome III, Chemnitz, Allemagne, nº 91698 do respetivo catálogo

315x62x62 mm // alumínio, mica e vidro

"Radiómetro de Crookes.- Fig. 359. Compõe-se de um pequeno molinete, formado de duas hastes horisontaes e perpendiculares muito leves de aluminio, tendo nas extremidades 4 pás ou losangos verticaes de mica revestidos de um lado com negro de fumo. O molinete collocado sobre um fulcro, dentro de um pequeno ovo de vidro no qual se fez o vacuo, adquire movimento de rotação pela acção da luz, no sentido opposto às faces negras, e tanto mais rapido quanto mais intensa é a luz. A acção do calor obscuro tambem o faz mover. O frio produz movimento em sentido contrario.



Radiómetro de Crookes (Cont.)

A teoria do radiometro ainda não é bem conhecida; varias explicações teem sido dadas; nenhuma completamente satisfactoria...

Crookes explicou o movimento do radiometro pela acção mecânica das radiações luminosas ou calorificas''.

(transcrito de F. Fonseca Benevides, *Noções de Physica Moderna*, 3ª edição, Tipographia da Academia Real das Sciencias, Lisboa 1880)

Como referia Fonseca Benevides a explicação para o movimento do radiómetro não era, à data, conhecida e a interpretação de Crookes sobre o fenómeno, referida por Benevides, é hoje considerada incorreta.



Radiómetro de Crookes (Cont.)

Atualmente admite-se ser a seguinte a explicação para o funcionamento do radiómetro:

“No radiómetro de Crookes mais comum, o movimento das pás, que se efectua no sentido de afastar o lado negro das pás da fonte de radiação, resulta do facto de existir um aquecimento diferente do gás residual junto às duas faces das pás, o que origina um fluxo de gás entre a zona mais quente e a zona mais fria. O atrito entre o gás e os bordos das pás é responsável pelo movimento de rotação macroscópico”.

(transcrito do artigo “Uma formulação mais actual da Primeira Lei da Termodinâmica no 10º ano?”, M. M. Cruz, J. Maia Alves, *Gazeta de Física*, 27(3), 2014).



Reóstato

Fabricante: S. Grauer et Cie, Paris

40x180x325 mm // madeira e metal

O **reóstato** é um dispositivo de resistência elétrica variável que, quando intercalado em série num circuito elétrico alimentado em tensão, permite variar a intensidade da corrente elétrica que o percorre.

O **reóstato** existente no Museu de Física possui uma resistência elétrica constituída por cinco enrolamentos ligados em série, montados sobre um suporte de madeira. A ligação a um circuito exterior é feita por meio de dois bornes de cobre existentes sobre o suporte de madeira. Um cursor metálico permite selecionar a secção da resistência que é intercalada entre os dois bornes, dessa forma fazendo variar o valor da resistência fornecido pelo reóstato.



Reóstato (Cont.)

O cursor pode ser colocado em seis posições diferentes: na primeira dessas posições, à direita na imagem, não há contato elétrico entre os dois bornes de ligação ao circuito exterior, pelo que o reóstato se comporta como uma resistência infinita; na segunda posição, a corrente elétrica que flui através do reóstato tem de atravessar a totalidade da resistência elétrica disponível; na terceira posição, a corrente atravessa três dos cinco enrolamentos da resistência; na quarta posição, a corrente atravessa dois enrolamentos; na quinta posição, a corrente atravessa apenas um dos enrolamentos; finalmente, na sexta e última posição, a corrente não atravessa a resistência elétrica e o reóstato comporta-se aproximadamente como um curto-circuito.



Roda de Barlow

Fabricante: Desconhecido

210x250x145 mm // metal e madeira

A **roda de Barlow**, inventada pelo físico e matemático inglês Peter Barlow (1776-1862), foi um dos primeiros motores elétricos a ser construído, com o objetivo de transformar energia elétrica em energia mecânica.

Os seus componentes fundamentais são uma roda dentada de cobre e um magnete, com a forma aproximada de uma ferradura. A corrente elétrica, contínua, é conduzida até ao eixo da roda pelo suporte metálico da própria roda; a corrente passa através dos dentes da roda para um contacto de mercúrio, depositado num recipiente escavado na base de madeira da roda, entre os polos do magnete.



Roda de Barlow (Cont.)

Uma fita metálica mergulha no mercúrio e assegura a condução da corrente para fora do contato líquido. A interação entre a corrente na roda, radial, e o campo magnético horizontal produzido pelo magnete dá origem ao aparecimento de uma força tangencial sobre a roda, que a mantém em rotação. Note-se que uma roda perfeitamente circular, não dentada, funcionaria exatamente do mesmo modo.



Roda de Barlow (Cont.)

Explica F. Fonseca Benevides que a **roda de Barlow**:

*“Consta de uma roda **R** com pontas que, no movimento de rotação que ella pode ter em torno de um eixo horizontal, mergulham successivamente em uma capsula com mercurio que se acha entre os ramos de um magnete em ferradura. Um contacto metallico communica por meio da columna **C** com o eixo da roda, e outro communica com a capsula de mercurio; fixando nestes contactos os electodos da pilha vê-se a roda **R** tomar movimento de rotação; seguindo a corrente a marcha indicada na figura, e estando o polo sul s verdadeiro do magnete á frente, é claro que o movimento de rotação terá logar no sentido da flecha **f**”.*

(transcrito de F. Fonseca Benevides, *Noções de Physica Moderna*, 3ª edição, Typographia da Academia Real das Sciencias, Lisboa, 1880)



Rodas cónicas de transmissão de movimento

Fabricante: Les Fils d'Émile Deyrolle, Paris

145x194x128 mm // madeira e metal

A **roda cónica** (fig. 87) é um aparelho constituído por uma engrenagem, formada por duas rodas dentadas **D** e **D'**, com uma configuração tal que permite converter um movimento de rotação em torno de um eixo perpendicular.

“As rodas dentadas podem transformar um movimento de rotação noutro, também de rotação, mas com o eixo perpendicular ao primeiro; para isso os dentes (destas rodas) devem estar numa superfície cónica em vez de cilíndrica, como a figura 87 indica”.

(transcrito de F. J. Sousa Gomes, A. R. Machado, Elementos de Física Descritiva, 6ª edição, Editora Livraria Cruz, Braga 1918)

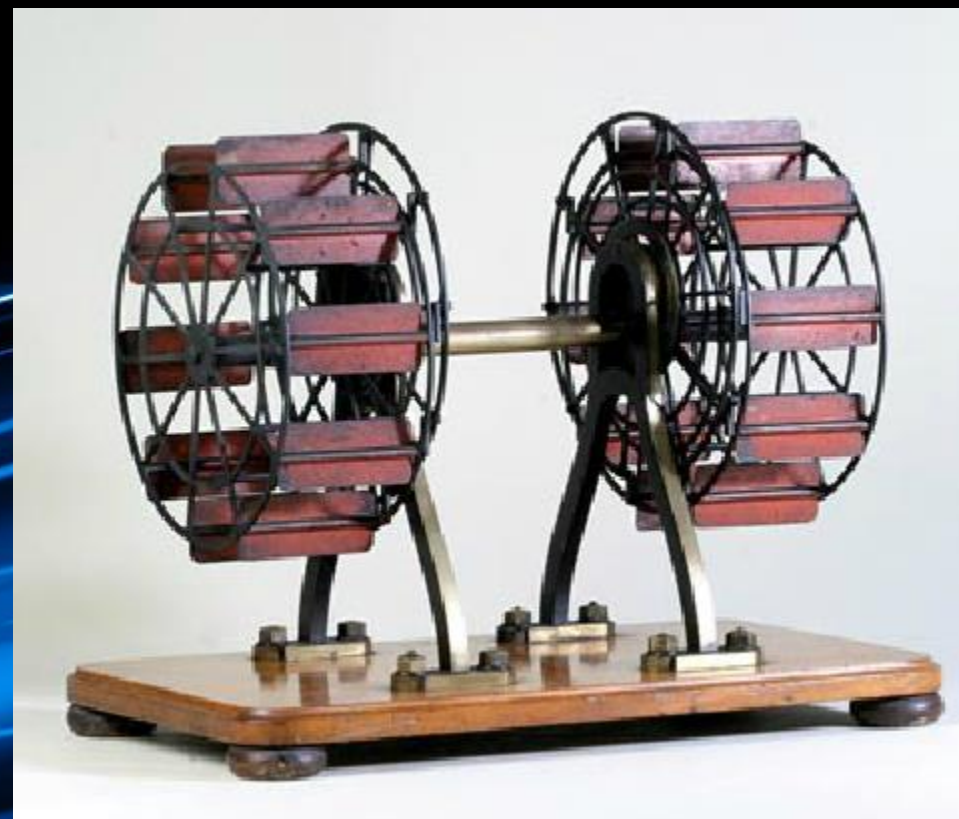


Rodas de pás articuladas

Fabricante: Desconhecido

304x400x235 mm // madeira e metal

O modelo de **rodas de pás** articuladas, idênticas às mencionadas na **máquina a vapor marítima de dois cilindros**, é constituído por duas rodas de pás sobre uma plataforma de madeira e representa o sistema de propulsão dos primeiros barcos que usaram a força motriz do vapor de água.



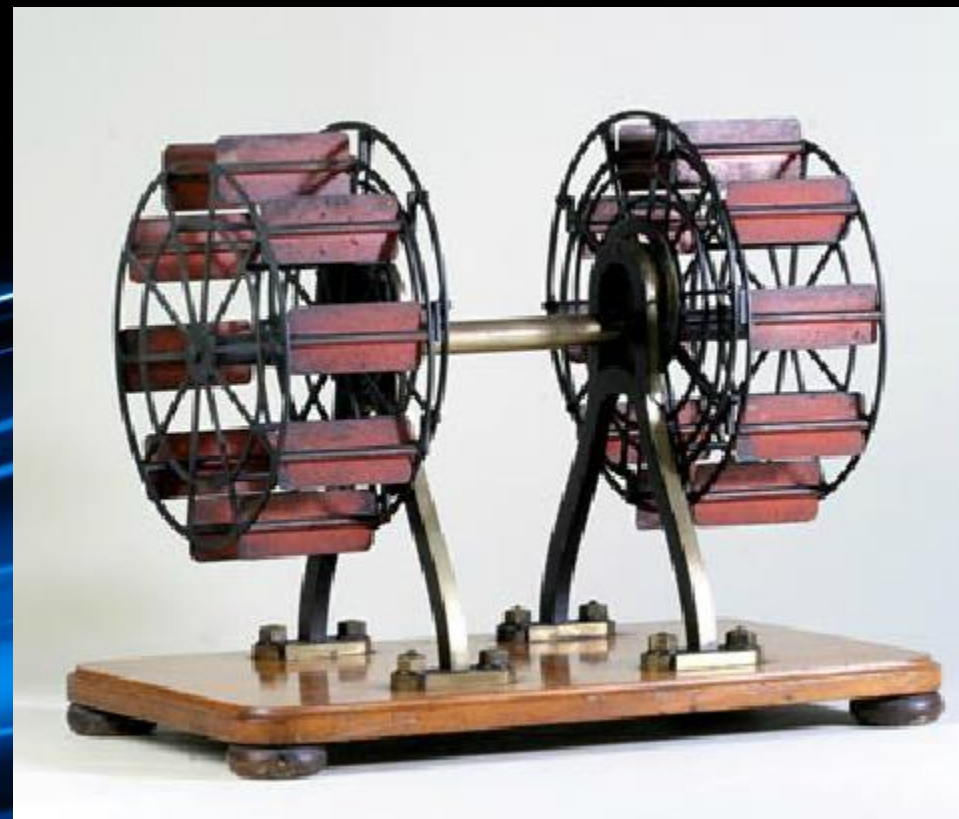
Rodas de pás articuladas (Cont.)

Sobre os primeiros navios que usaram este sistema de propulsão recolheram-se os seguintes dados:

O "Charlotte Dundas", construído por Symington, na Escócia, em 1801-2, que foi usado como rebocador nos canais de Forth e Clyde, foi um dos primeiros destes navios.

Fulton, tendo testemunhado o sucesso deste navio, construiu, em 1807, no rio Hudson (U.S.A), o "Clermont".

(traduzido de *Encyclopaedia Britannica*, volume 20, edição de 1952)



Roldanas fixas, móveis e associações de roldanas fixas e móveis

Fabricante: Les Fils d'Émile Deyrolle, Paris, nº 3514 do respetivo catálogo

550x650x205 mm // madeira, metal e fio

O aparelho existente destina-se ao estudo das condições de equilíbrio nas roldanas fixas, **roldanas móveis** e nas suas associações, **talha** e **cadernal**.

As roldanas em estudo estão suspensas de argolas existentes numa trave horizontal de madeira, suportada por outras duas traves verticais fixas numa base retangular, apoiada em quatro pés.

Estas roldanas são discos de latão, em cujas periferias foram escavados sulcos, denominados golas, destinados a receber cordas. Os discos são móveis em torno de eixos centrais cujas extremidades se apoiam em peças metálicas que envolvem os discos, denominadas alças.



Roldanas fixas, móveis e associações de roldanas fixas e móveis (Cont.)

Roldanas fixas – Nestas roldanas, fig. 1, a alça possui um gancho por onde se suspende a roldana. Às extremidades da corda desta roldana aplicam-se duas forças: a que é preciso vencer, normalmente o peso dum corpo a elevar, de intensidade Q (denominada *força resistente*) e, na outra extremidade, a força necessária para equilibrar esse peso, de intensidade P , que é denominada *força potente*. Para que o sistema fique em equilíbrio terá que ser nula a soma dos momentos destas duas forças, em relação ao eixo de rotação (desprezando o atrito na corda e no eixo). Se as duas forças atuarem ambas na direção vertical esta condição verificar-se-á quando as intensidades das forças, potente e resistente, forem iguais.



Roldanas fixas, móveis e associações de roldanas fixas e móveis (Cont.)

Portanto a condição de equilíbrio nestas roldanas é:

$$P = Q$$

Assim, na roldana fixa não há economia de esforço, apenas se transforma o esforço para elevar um corpo num esforço de tração, mais fácil de executar.



Roldanas fixas, móveis e associações de roldanas fixas e móveis (Cont.)

Roldanas móveis – Na roldana móvel, fig. 2, o corpo a elevar, com um peso de intensidade Q , está suspenso dum gancho existente na alça; uma das extremidades da corda fixa-se a um suporte e à outra extremidade aplica-se uma força potente de intensidade P .

Quando as forças de tração a que estão sujeitas as duas extremidades da corda são verticais, e se se desprezar o peso da roldana, para haver equilíbrio nesta roldana móvel é necessário que a força potente tenha uma intensidade P que é metade da intensidade da força resistente Q (peso do corpo). Isto é:

$$P = \frac{Q}{2}$$



Roldanas fixas, móveis e associações de roldanas fixas e móveis (Cont.)

Talha - é uma associação de n roldanas móveis e uma fixa, fig. 3. O fator multiplicador da talha é 2^n . Isto significa que a intensidade P da força potente (aplicada à extremidade livre da corda), necessária para equilibrar a intensidade Q do peso do corpo suspenso de uma das roldanas móveis, é 2^n vezes inferior à intensidade do referido peso.

Assim, a condição de equilíbrio na talha é:

$$P = \frac{Q}{2^n}$$



Roldanas fixas, móveis e associações de roldanas fixas e móveis (Cont.)

Cadernal – Os dois cadernais existentes são constituídos por dois conjuntos de roldanas; um fixo, preso à trave, e outro móvel, que tem o corpo suspenso, fig. 4. Em cada um destes conjuntos, as extremidades dos eixos de rotação das roldanas apoiam-se numa só alça, sendo designados por carriteis. No entanto as roldanas associam-se de forma diferente em cada um destes cadernais.

Num dos cadernais, as roldanas do carritel fixo têm as mesmas dimensões e o mesmo eixo de rotação; acontece o mesmo no carritel móvel. A corda vai passando, sucessivamente e alternadamente, pelas golas das roldanas dos carriteis, podendo considerar-se como verticais os segmentos de corda entre os dois conjuntos de roldanas.



Roldanas fixas, móveis e associações de roldanas fixas e móveis (Cont.)

No outro cadernal, as dimensões das roldanas em cada conjunto já não são as mesmas, visto estas dimensões terem sido escolhidas de modo a que os diferentes segmentos de corda, compreendidos entre as roldanas, fiquem paralelos entre si. Também, em cada um dos carriteis, móvel e fixo, as roldanas não têm o mesmo eixo de rotação.

Se for K o número de segmentos verticais de corda compreendidos entre roldanas, o peso do corpo suspenso da alça do carritel móvel, de intensidade Q , está distribuído igualmente por estes k segmentos.



Roldanas fixas, móveis e associações de roldanas fixas e móveis (Cont.)

Assim, para se obter o equilíbrio, deve aplicar-se à extremidade livre da corda, uma força potente cuja intensidade P é k vezes inferior à intensidade Q do peso do corpo suspenso do carritel móvel, o que é traduzido por:

$$P = \frac{Q}{k}$$

Note-se que esta relação foi obtida considerando desprezável o peso das roldanas móveis assim como o atrito nas cordas e nos eixos das roldanas.

(baseado em E. Gabril, *Précis de Mécanique*, Maison A. Mame Et Fils-Imprimeurs/Éditeurs, Tours 1916 e a terminologia utilizada foi baseada no catálogo *O Engenho e a Arte – Coleção de Instrumentos do Real Gabinete de Física*, Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa 1997)



Sacarímetro de Laurent

Fabricante: E. Adnet, Paris

500x950x300 mm // vidro, quartzo, calcite e metal

O **sacarímetro de Laurent**, destinado unicamente aos estudos dos açúcares, tem um certo número de órgãos idênticos aos do polarímetro (figs. 693 e 694): são um nicol polarizador **P**, o diafragma de lâmina de quartzo **D**, o tubo contendo a substância a estudar **L**, o óculo de observação e o nicol analisador **P'**. As partes que distinguem o sacarímetro de um polarímetro constituem o sistema de medida e estão representadas na fig. 696.

A luz que atravessa o polarizador **P** encontra a lâmina de quartzo **D**, talhada paralelamente ao seu eixo ótico, de espessura conveniente, e que sobre apenas metade do diafragma onde está montada.



Sacarímetro de Laurent (Cont.)

O seu bordo, que é paralelo à sua seção principal, faz um certo ângulo com o plano de polarização da luz (aliás pode-se variar este ângulo rodando o polarizador por meio da alavanca **UXJ**). Os raios luminosos atravessam em seguida o tubo **L**, que contém o líquido a estudar, e penetram num óculo onde se encontra o nicol analisador **P'**. As medições fazem-se por intermédio de um compensador. É um sistema (que se vê por cima de **G** (fig. 696)) constituído por uma lâmina de quartzo direito **D** (fig. 697) e por uma lâmina de quartzo esquerdo **QQ'** mais espessa que **D**, mas dividida em dois prismas de ângulo muito agudo que um botão com cremalheira **G** (fig. 696) permite deslocar no sentido das setas (fig. 697) ou em sentido oposto, de modo que se possa aumentar ou diminuir a espessura do quartzo interposto.



Sacarímetro de Laurent (Cont.)

No caso desta espessura ser a mesma de **D**, o sistema não introduz nenhuma rotação no plano de polarização da luz. Se a espessura de **QQ'** é menor do que a de **D**, produz-se uma rotação à direita, e uma à esquerda se for superior. Uma das lâminas de **QQ'** é solidária com um nónio que se desloca diante duma régua graduada **R** (fig. 696). Para o exame de açúcares, não é necessário iluminar o aparelho com luz amarela, podendo usar-se qualquer fonte luminosa.

Regula-se o sacarímetro colocando em primeiro lugar o zero do nónio em frente do zero da régua por meio do botão **G**. Olhando pela ocular, faz-se rodar o analisador através do botão **F** até que se obtenha a igualdade de iluminação no campo de visão, aparência **b** (fig. 695).



Sacarímetro de Laurent (Cont.)

Interpõe-se a solução açucarada (que é dextrogiра), reajusta-se e atua-se sobre o botão **G** para dar ao compensador uma espessura tal que anule a rotação provocada pelo açúcar. Restabelece-se assim a aparência **b**. Lê-se qual a divisão da régua que está em frente do zero do nónio. A graduação da régua foi feita de tal modo que o valor lido dá a percentagem de açúcar puro contido no açúcar estudado (quando se dissolver 16,29 g num decilitro de água e desde que se observe através de um comprimento de 20 cm).



Sacarímetro de Laurent (Cont.)

A divisão 100 corresponde a um açúcar puro ou, o que é equivalente, à rotação de $21^{\circ} 40'$ originada por uma lâmina de quartzo de 1 mm de espessura.

(tradução adaptada de A. Ganot, G. Maneuvrier, *Traité Élémentaire de Physique*, 25^{ème} édition, Librairie Hachette, Paris 1913)

Uma placa junto da base do aparelho tem a seguinte inscrição: "E. ADNET, Constructeur, Rue Vauquellin 26, Paris".

NOTA: No sistema de medida do aparelho existente, igual ao da fig. 696, já não existem o nónio V e a lupa N.



Sarilho

Fabricante: Les Fils d'Émile Deyrolle, Paris, nº 3515 do respetivo catálogo

165x325x240 mm // corda, madeira e metal

O **sarilho**, fig. 1302, utiliza-se para elevar um corpo pesado empregando uma força potente, de intensidade P , menor do que a intensidade Q do peso do corpo (força resistente). É constituído por um cilindro de raio r , móvel em torno do seu eixo posicionado na horizontal por ação de uma manivela, ao qual se prende e enrola uma corda de cuja extremidade livre se suspende o corpo. O peso deste corpo exerce-se tangencialmente ao cilindro enquanto a força potente aplicada à manivela atua tangencialmente à circunferência de raio R descrita pela sua extremidade.



Sarilho (Cont.)

Estas forças tendem a fazer rodar o cilindro em sentidos contrários e, desprezando o atrito na corda e nos apoios do cilindro, para que haja equilíbrio, a soma dos momentos destas duas forças relativamente ao eixo de rotação terá que ter intensidade nula. Esta condição verifica-se no caso em que:

$$P R - Q r = 0$$

Ou

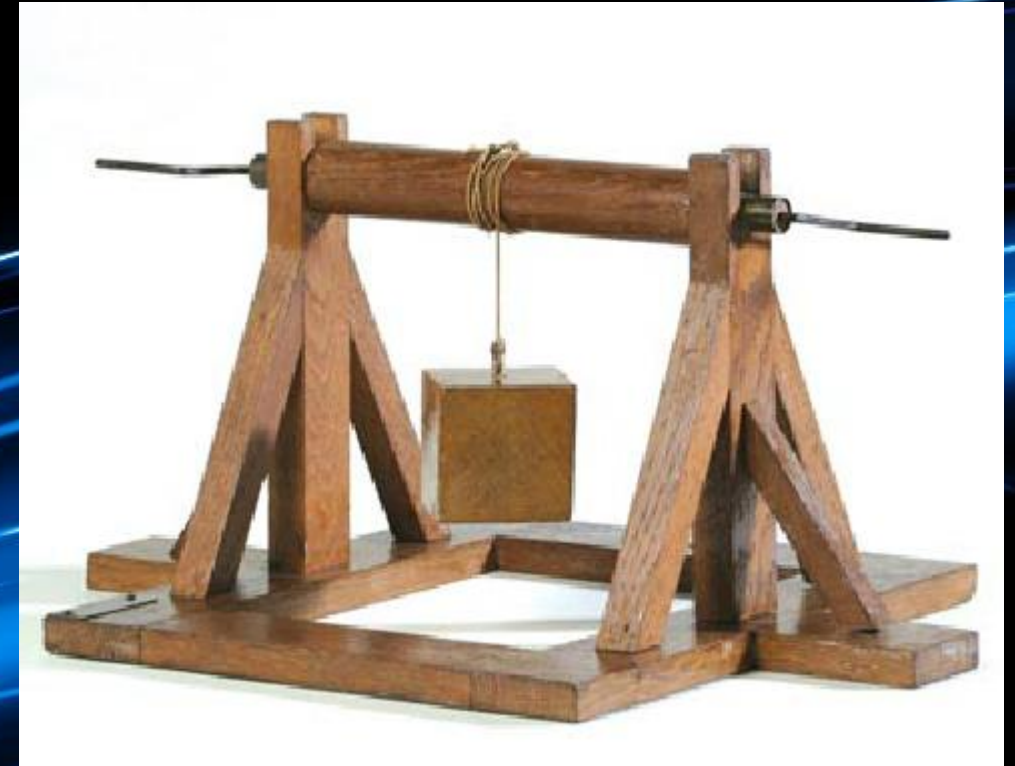
$$\frac{P}{Q} = \frac{r}{R}$$



Sarilho (Cont.)

Como R é maior que r , a intensidade P da força aplicada à manivela é menor do que a intensidade Q do peso a elevar.

(baseado em E. Gabriel, Précis de Mécanique, Maison A. Mame Et Fils – Imprimeurs/Éditeurs, Tours 1916)



Sarilho diferencial

Fabricante: Les Fils d'Émile Deyrolle, Paris, nº 3516 do respetivo catálogo

165x319x240 mm // corda, madeira e metal

O tambor do *sarilho diferencial*, fig. 153, é formado por dois cilindros **A** e **B** de raios diferentes, r e r' ($r > r'$) respetivamente. A corda, que passa pela gola duma roldana móvel onde se suspende o corpo, está enrolada sobre os dois cilindros, mas em sentidos contrários; quando o segmento **C** da corda se enrola fazendo subir o corpo, o outro segmento **C'** desenrola-se duma quantidade menor. A força potente, de intensidade **P**, aplica-se a uma ou às duas manivelas, **F** e **G** (de raios ℓ), para equilibrar o peso do corpo de intensidade **Q**.



Sarilho diferencial (Cont.)

Como os dois segmentos da corda suportam, cada um, metade do peso do corpo, e como, para que haja equilíbrio, tem que ser nula a soma dos momentos em relação ao eixo de rotação das forças aplicadas ao sistema, desprezando o atrito na corda e nos apoios do cilindro, a equação que estabelece a condição de equilíbrio é:

$$P\ell + \frac{Q}{2} r' - \frac{Q}{2} r = 0 \longrightarrow P = \left(\frac{r - r'}{2\ell} \right) Q$$



Sarilho diferencial (Cont.)

Quanto menor for $(r - r')$ menor será a intensidade da força potente necessária para vencer uma certa força resistente.

(baseado em E. Gabriel, *Précis de Mécanique*,
Maison A. Mame Et Fils – Imprimeurs/Éditeurs,
Tours 1916)



Shunt

Fabricante: Desconhecido

160x105x105 mm // metal

O ***shunt*** (ou caixa de resistências) é uma caixa de latão cilíndrica, que contém no seu interior duas resistências elétricas de $5\ \Omega$ e $10\ \Omega$. Estas resistências podem ser inseridas em paralelo num circuito destinado a determinar a intensidade da corrente elétrica, por intermédio de um galvanómetro.



Sistema de vasos comunicantes

Fabricante: Desconhecido, análogo ao nº 87649 do catálogo Max Kohl A. G., Appareils de Physique, nº 100, Tome III, Chemnitz, Allemagne

215x435x130 mm // borracha, metal e vidro

O **sistema de vasos comunicantes** existente, semelhante ao representado na figura 98, é constituído por um vaso de vidro que, tal como na figura, comunicava com um conjunto de tubos de vidro de formas diferentes, por intermédio de um tubo de borracha atualmente inexistente. Destinava-se à verificação das condições de equilíbrio de um líquido num sistema de vasos comunicantes.



Sistema de vasos comunicantes (Cont.)

*“Equilíbrio de um líquido em vasos comunicantes.
– Quando um líquido só actuando pelo seu peso, se contém em vasos D, C, B, A, fig. 98, de qualquer forma e grandeza, que communicam entre si, as condições de equilíbrio são: 1º que o nível seja o mesmo em todos os vasos, 2º que as superfícies livres do líquido nos diversos vasos sejam planos horizontaes”.*

(transcrito de F. Fonseca Benevides, Noções de Physica Moderna, 3ª edição, Typographia da Academia Real das Sciencias, Lisboa 1880)



Suporte com espelho rotativo

Fabricante: Desconhecido

430x165x175 mm // madeira, metal, vidro
espelhado

O aparelho existente é constituído por um prisma hexagonal regular, com as faces laterais espelhadas. Está montado num suporte que permite a sua rotação em torno de um eixo vertical que passa pelos centros das bases do prisma.



Suporte com prisma ótico

Fabricante: Desconhecido

88x80x42 mm // cristal e madeira

Em Ótica denomina-se ***prisma*** um meio transparente limitado por duas faces planas formando um diedro de retilíneo ϕ . Tal como no aparelho existente, os primas óticos estão normalmente montados em suportes.

Ao atravessar um prisma ótico a luz sofre duas refrações; uma, ao incidir na primeira face do prisma, em que os raios luminosos, ao passarem de um meio menos refringente (o ar) para um meio mais refringente (o vidro), se aproximam da normal n , seguida da refração na outra face, em que a luz passa do vidro novamente para o ar, afastando-se os raios luminosos da normal n' .



Suporte com prisma ótico (Cont.)

Assim, um raio luminoso, atravessando um prisma ótico, é desviado para a base, como no ilustra no esquema seguinte, fig. 1.

Observa-se ainda que a luz branca ao atravessar um destes primas se decompõe nas diferentes cores que a constituem. Como o índice de refração de um dado meio depende do comprimento de onda da radiação, as várias radiações monocromáticas que constituem a luz branca sofrem desvios diferentes ao atravessar o prisma, dando origem à formação de um espectro.



Suportes com espelhos

Fabricante: Desconhecido

350x140x155 mm , 350x150x150 mm , 395x130x150 mm // madeira, metal, vidro espelhado

Nos **espelhos esféricos**, a superfície polida é uma calote esférica. Conforme for polida a face interna ou a face externa assim se tem um espelho *côncavo* ou *convexo*. O centro da esfera de que faz parte o espelho é o *centro de curvatura*. A periferia duma calote esférica é uma circunferência e ao ponto da superfície da calote equidistante de todos os pontos da periferia dá-se o nome de *centro de figura*. A reta que passa pelos centros de curvatura e de figura é o *eixo principal*. Toda a reta que passa pelo centro de curvatura sem passar pelo centro de figura é um *eixo secundário*. Chama-se *secção principal* dum espelho qualquer seção nele determinada por um plano que contém o eixo principal.



Suportes com espelhos (Cont.)

Foco principal – Os raios refletidos a partir de um feixe luminoso, de raios paralelos centrais, incidente num espelho esférico côncavo paralelamente ao eixo principal, vão convergir num mesmo ponto, situado a igual distância do centro de curvatura e do espelho, denominado foco principal.

Analogamente, se um feixe luminoso de raios paralelos centrais, incide num espelho esférico convexo paralelamente ao eixo principal, os raios refletidos vão divergir, de tal modo que os seus prolongamentos vão convergir num mesmo ponto que é um foco virtual, *foco principal do espelho*.

(baseado em A. Ganot, G. Maneuvrier, *Traité Élémentaire de Physique*, 26^{ème} édition, Librairie Hachette et Cie, Paris 1918)

No Museu de Física existem um espelho plano e dois espelhos esféricos, um côncavo e outro convexo, em suportes articulados.



Suportes com lentes

Fabricante: Desconhecido

385x130x150 mm , 352x142x150 mm , 370x130x150 mm // metal, madeira e vidro

Designam-se por *lentes esféricas* os meios transparentes limitados por duas superfícies esféricas ou por uma superfície esférica e um plano.

Há seis espécies de lentes esféricas, fig. 550 e 551. De cada tipo destas lentes existe um exemplar num suporte articulado, respetivamente: **A** – bi-convexa, **B** – plano-convexa, **C** – côncava-convexa de bordo delgado ou menisco convergente, **D** – bi-côncava, **E** – plano-côncava e **F** – côncava-convexa de bordo espesso ou menisco divergente.



Suportes com lentes (Cont.)

Os centros das esferas são denominados *centros de curvatura* e a reta que passa pelos centros de curvatura é o *eixo principal*. Numa lente plano-convexa ou plano-côncava o eixo principal é a perpendicular à face plana que passa pelo centro da face esférica. Todo o raio que segue a direção do eixo principal atravessa a lente sem se desviar.

Denomina-se *seção principal* duma lente toda a seção feita por um plano que passa pelo eixo principal.

(baseado em A. Ganot, G. Maneuvrier, *Traité Élémentaire de Physique*, 26^{ème} édition, Librairie Hachette et Cie, Paris 1918)



Suportes universais para experiências de eletrostática e respectivos acessórios

Fabricante: Dr. Stöhrer u. Sohn, Physikalische und Chemische Lehrmittel, Ausgabe IX, Leipzig, nº 4723, 4723/2, 4738 do respectivo catálogo

Várias medidas

Estes aparelhos destinam-se a demonstrar fenómenos eletrostáticos. No Museu de Física existem os seguintes acessórios:

Eletrómetro de quadrante:

370x110x110 mm // metal, vidro

Carrilhão elétrico:

120x190x190 mm // metal, vidro, fio

160x110x110 mm // metal, vidro

Haste metálica terminando em ponta:

240x150x150 mm // metal, vidro



Teodolito

Fabricante: La Filotecnica

318x305x230 mm // metal, vidro, madeira

O **teodolito** é um aparelho que se destina à medição de ângulos verticais e horizontais, e à determinação das coordenadas celestes horizontais. Este aparelho é um instrumento de trabalho utilizado em geodesia e topografia.

Este aparelho terá sido doado pelo Almirante Carlos Viegas Gago Coutinho (1869-1959) ao Instituto Industrial de Lisboa.



Termómetro com três escalas: Réaumur, Celsius e Fahrenheit

Fabricante: Max Kohl A. G., Appareils de Physique, nº 100, Tome III, Chemnitz, Allemagne, nº 91072 do respectivo catálogo

250x57x8 mm // madeira, metal, vidro e mercúrio

O **termómetro com três escalas: Réaumur, Celsius e Fahrenheit**, serve para comparar estas três escalas de temperatura. É constituído por um termómetro de mercúrio sobre uma régua de madeira onde foram gravadas as divisões destas três escalas.



Termômetro com três escalas: Réaumur, Celsius e Fahrenheit (Cont.)

Nestas escalas, os valores das temperaturas dos pontos de fusão e de ebulição normal da água pura (pontos fixos) foram atribuídos valores diferentes. Assim, ao ponto de fusão da água foram atribuídos 0°R , 0°C e 32°F , respectivamente, nas escalas Réaumur, Celsius e Fahrenheit. Ao ponto de ebulição normal da água, fizeram-se corresponder os valores 80°R , 100°C e 212°F , respectivamente, nas escalas Réaumur, Celsius e Fahrenheit.



Termómetro de máxima e de mínima – Termómetro de Six e Bellani

Fabricante: Desconhecido, análogo ao nº 91096 do catálogo Max Kohl A. G., Appareils de Physique, nº 100, Tome III, Chemnitz, Allemagne

300x76x50 mm // madeira, metal e vidro

O ***termómetro de máxima e de mínima***, também conhecido por termómetro Six e Bellani, fig. 355, é constituído por um tubo de vidro em U, cujo ramo da esquerda termina num reservatório e o da direita numa ampola. O tubo encontra-se parcialmente preenchido com mercúrio e apoia-se num quadro de madeira, onde se encontram gravadas duas escalas graduadas que permitem registar as temperaturas. Acima do nível de mercúrio, existe álcool que preenche totalmente o ramo da esquerda e parcialmente o ramo da direita.



Termómetro de máxima e de mínima – Termómetro de Six e Bellani (Cont.)

Em cada coluna de álcool mergulha um pequeno indicador de esmalte, no interior do qual existe um núcleo de ferro macio. Quando aumenta a temperatura, a dilatação do álcool faz com que o nível do mercúrio desça do lado esquerdo e suba do lado direito empurrando o respectivo indicador e fazendo com que o álcool ascenda para a ampola, mantendo-se o indicador esquerdo inalterado. Se a temperatura descer, o álcool contrai-se, e o mercúrio acompanha este movimento empurrando o indicador da esquerda, enquanto o da direita permanece na mesma posição.

No intervalo de tempo que medeia as duas operações em que se põem em contato os indicadores referidos com as extremidades correspondentes da coluna de mercúrio, um destes indicadores indica a temperatura mínima enquanto o outro indica a temperatura máxima.



Termómetro de máxima e de mínima – Termómetro de Six e Bellani (Cont.)

Para reinicializar a medida, utiliza-se um íman que atua sobre o núcleo de ferro macio destes indicadores para os deslocar até ficarem em contato com as colunas de mercúrio respectivas.

(traduzido de E. Gouard, G. Hiernaux, *Mecanique et Physique – à l'usage des candidats aux écoles nationales d'Arts et Métiers*, 3^{ème} édition, Dunod, Paris, 1931)



Termómetro diferencial de Leslie

Fabricante: Desconhecido

408x122x108 mm // madeira e vidro

"Termometro diferencial de Leslie.- Fig. 273. Serve este instrumento para medir pequenas diferenças de temperatura. Consta de um tubo de vidro recurvado com dois ramos eguaes verticaes terminados por bolas; dentro contém uma columna liquida de acido sulfúrico concentrado, córado de vermelho por meio de carmim; quando a temperatura das duas bolas é a mesma, o nível do liquido é o mesmo nos dois ramos verticaes; n'este ponto está o 0º; mas logo que a temperatura é maior em uma, baixa o nivel no ramo correspondente e sobe no outro.



Termómetro diferencial de Leslie (Cont.)

Gradua-se mettendo uma das bolas em agua quente, e marcando nos niveis do liquido nos dois ramos a differença das temperaturas indicadas por dois thermometros de mercurio, um mergulhado na agua, outro ao ar livre, e continua-se a divisão para cima e para baixo''.

(transcrito de F. Fonseca Benevides, Noções de Physica Moderna, 3ª edição, Tipographia da Academia Real das Sciencias, Lisboa 1880)



Torniquete de gás

Fabricante: Desconhecido

363x320x510 mm // madeira e metal

O ***torniquete de gás*** é constituído por dois tubos metálicos horizontais, recurvados em sentidos opostos e afunilando nas extremidades, que estão inseridos numa pequena caixa cilíndrica, solidária com um veio vertical que assenta num pivot. Este conjunto é suportado por uma estrutura em madeira, constituída por uma base retangular e uma trave horizontal apoiada sobre duas colunas verticais.



Torniquete de gás (Cont.)

O gás entra na caixa através de um tubo vertical, que se prolonga por um troço horizontal assente na trave da estrutura suporte do aparelho, sendo expelido pelas extremidades dos tubos horizontais, o que provoca uma reação sobre estes tubos originando um binário que imprime um movimento de rotação às partes móveis do aparelho.

Acoplados a meia altura do veio, já referido, e coaxiais com ele, situam-se três pequenos discos sobrepostos, em madeira, de diâmetros decrescentes, que apresentam um sulco em cada uma das suas periferias; servem para transmitirem o seu eventual movimento de rotação a qualquer dispositivo exterior ao aparelho, por intermédio de uma correia.



Torniquete hidráulico

Fabricante: Desconhecido

600x445x340 mm // madeira e metal

O ***torniquete hidráulico*** é constituído por um tubo metálico vertical possuindo na sua extremidade superior um funil e terminando inferiormente num pequeno cilindro oco. Neste cilindro inserem-se lateralmente dois outros tubos horizontais, de vidro, que afunilam e se recurvam nas suas extremidades em sentidos opostos. O referido tubo metálico mantém-se na sua posição passando no interior de um aro metálico existente na extremidade superior de um suporte vertical e o cilindro apoia-se sobre uma haste pontiaguda (que serve de pivot) que se insere no centro de uma tina circular. Todo este conjunto assenta numa base retangular de madeira.



Torniquete hidráulico (Cont.)

A água que se deita pelo funil escoar-se através do tubo e é expelida pelas extremidades dos dois tubos recurvados. Os jatos de água que se escapam provocam uma reação sobre estes tubos e dão origem a um binário que imprime, a uma parte do aparelho, um movimento de rotação. A tina existente serve de reservatório, para a água que sai dos tubos recurvados.



Torniquete de reação com esfera girante de Héron

Fabricante: Max Kohl A. G., Appareils de Physique, nº 100, Tome III, Chemnitz, Allemagne, nº 91533 do respetivo catálogo

203x150x85 mm

O *torniquete de reação a vapor com esfera girante de Héron*, inteiramente em latão, é constituído por uma esfera oca na parte superior da qual se insere um tubo horizontal estreito, duplamente recurvado em sentidos opostos. Este tubo termina em orifícios por onde é expelido o vapor de água que se gera no interior da esfera quando, ao conter água, esta é aquecida.



Torniquete de reação com esfera girante de Héron (Cont.)

A referida esfera pode girar em torno de um pivot que se situa num suporte onde existe um copo que contém o álcool (ou outro combustível líquido) cuja combustão é necessária para aquecer a água. O vapor de água assim obtido, saindo pelos orifícios do tubo recurvado, provoca, por reação, a rotação da esfera em sentido contrário à saída do vapor.



Tubo de Bourdon

Fabricante: A. Pfeiffer; Wetzlar (análogo ao nº 2745 do catálogo Physikalische und Chemische Lehrmittel, Dr. Stöhrer u. Sohn, Leipzig)

242x100x84 mm // metal

O **tubo de Bourdon** era utilizado para determinar a pressão (relativa) exercida por um gás encerrado num reservatório tratando-se, portanto, de um manómetro. É constituído por um tubo metálico, oco, fechado, nas suas duas extremidades, de paredes flexíveis e de seção elíptica, encurvado em forma de ferradura. Este tubo pode comunicar com o recinto onde está o gás e cuja pressão se pretende determinar por intermédio de uma torneira, inserida na parte média da curvatura, que enrosca na base que sustenta o aparelho.



Tubo de Bourdon (Cont.)

As extremidades do referido tubo podem atuar sobre um ponteiro móvel à frente de um quadrante graduado, por intermédio de um sistema de hastes articuladas.

Quando se estabelece a comunicação entre este instrumento e o recinto onde se pretende determinar a pressão, um aumento desta pressão tende a desenrolar o tubo (e uma diminuição teria o efeito oposto) provocando assim o movimento do ponteiro em frente da escala graduada.



Tube de Bourdon (Cont.)

Esta escala tem o zero ao centro, sendo essa a posição do ponteiro quando o instrumento se encontra em comunicação com a atmosfera, facto que permite pensar que, com este instrumento, se podiam avaliar tanto pressões superiores como inferiores à pressão atmosférica. A graduação deste manómetro fazia-se por comparação com outro tipo de manómetros.

(baseado em E. Gouard, G. Hiernaux, *Mécanique et Physique*, 3^{ème} édition, Dunod, Paris 1931)

NOTA: No aparelho está gravada a seguinte inscrição: A. Pfeiffer, Wetzlar



Tubos de Geissler

Fabricante: Desconhecido

157x30x25 mm , 150x27x23 mm , 200x28x35 mm //
alumínio e vidro,

430x112x112 mm // alumínio, madeira e vidro

Um **tubo de Geissler** é um dispositivo que permite visualizar uma descarga elétrica entre dois condutores que se encontram potenciais elétricos diferentes. Deve o seu nome a Johann Heinrich Geissler (1814-1879), fabricante alemão de instrumentos científicos que provinha de uma família de vidreiros.



Tubos de Geissler (Cont.)

Consiste num tubo de vidro no interior do qual existe um gás rarefeito; as extremidades do tubo são atravessadas por fios de alumínio que servem de elétrodos; a diferença de potencial elétrico entre os elétrodos pode ser gerada através de uma bobina de indução ou de uma máquina electrostática de Wimshurst. A luz emitida é resultado da excitação dos átomos do gás ao ser atravessado pela corrente de eletrões que constituem a descarga elétrica.

Quando a pressão do gás é de cerca de 10 mm de mercúrio (ou 0,013 atm), uma luz violeta rosada parte do elétrodo positivo, desvanecendo-se a uma certa distância do elétrodo negativo, o que origina uma zona obscura; a luz que rodeia o elétrodo negativo é rosada se o gás dentro do tubo é o ar, branca se o gás é o anidrido carbónico e azul violeta para o hidrogénio gasoso.



Tubos de Geissler (Cont.)

Quando a pressão do gás é de cerca de 1 mm de mercúrio (ou 0,0013 atm), o eletrodo negativo encontra-se rodeado por uma auréola luminosa a que se segue uma zona obscura; até ao eletrodo positivo, sucedem-se alternadamente zonas luminosas e obscuras.

Para um vazio perfeito, nenhuma descarga seria observada.

(baseado em A. Ganot, G. Maneuvrier, *Traité Élémentaire de Physique*, 26^{ème} édition, Librairie Hachette et Cie., Paris, 1918)



Vaso de Mariotte

Fabricante: Desconhecido

390x190x112 mm // vidro

A velocidade de escoamento de um líquido contido num reservatório vai diminuindo à medida que vai baixando o nível do líquido no reservatório, isto é, à medida que vai diminuindo a diferença de nível entre a superfície livre do líquido e o centro do orifício através do qual se dá este escoamento.

Para manter constante esta velocidade pode utilizar-se o dispositivo que a seguir se descreve, denominado **vaso de Mariotte**. É constituído por um frasco de vidro cujo gargalo tem uma rolha atravessada por um tubo **AB**, aberto nas duas extremidades; lateralmente tem pequenas aberturas **O**, **O'** e **O''**, a diversas alturas que se podem fechar com rolhas (fig.210).



Vaso de Mariotte (Cont.)

Inicialmente, com as aberturas laterais fechadas, o nível do líquido é o mesmo no frasco e no interior do tubo **AB**. Abrindo, por exemplo, o orifício **O** o líquido sai por ele e o ar que o frasco contém, aumentando de volume, diminui a pressão que exerce sobre a superfície livre do referido líquido, fazendo com que o nível do líquido no tubo vá descendo. Isto é uma consequência da pressão no interior do tubo (pressão atmosférica) ser superior à do ar existente no frasco. Portanto, à medida que o líquido vai saindo por **O**, vai descendo também o seu nível no interior do tubo até atingir o bordo inferior **B**.

Quando tal acontece começam a sair bolhas de ar por **B**, que sobem para a parte superior do frasco, aumentando aí a pressão. E assim, sucessivamente, enquanto dura o escoamento.



Vaso de Mariotte (Cont.)

A velocidade do escoamento depende da diferença entre a pressão hidrostática ao nível do orifício **O** e a pressão atmosférica exterior (que é também a pressão hidrostática ao nível de **B**, bordo inferior do tubo por onde borbulha o ar).

Esta diferença de pressões, de valor igual à pressão exercida por uma coluna de líquido de altura **BH**, mantém-se constante desde que o tubo **AB** não mude de posição e enquanto o nível do líquido no frasco estiver acima de **B**, extremidade inferior do tubo.



Vaso de Mariotte (Cont.)

Portanto, também será constante a velocidade de escoamento enquanto se verificarem estas condições, sendo tanto mais baixa quanto menor for a distância **BH**.

(baseado em F. Fonseca Benevides, *Noções de Physica Moderna*, 3ª edição, Tipographia da Academia Real das Sciencias, Lisboa 1880, e em F. J. Sousa Gomes, A. R. Machado, *Elementos de Física Descritiva*, 6ª edição, Editora Livraria Cruz, Braga 1918)



Vaso de Tântalo

Fabricante: Desconhecido

135x81x81 mm // vidro

“Vaso de Tântalo. – Fig. 184. Permite este aparelho obter um esgotamento intermittente.

Consta de um vaso A com um sifão s, do qual um dos ramos se abre perto do fundo do vaso e o outro atravessa o fundo. Fazendo cair no vaso agua pela torneira O com uma velocidade constante, em menor quantidade do que a que pode sair pelo orifício do siphão, quando o nível cobre o siphão, este está cheio e o liquido esgota-se; e como sae mais do que entra no vaso A, quando o nível descer abaixo do ramo menor cessa o esgotamento, para de novo recommear quando se elevar o nivel e cobrir o sifão”.

(transcrito de F. Fonseca Benevides, *Noções de Physica Moderna*, 3ª edição, Tipographia da Academia Real das Sciencias, Lisboa 1880)



Vaso de Tântalo (Cont.)

Este dispositivo permite obter um escoamento intermitente dum líquido. É constituído por um vaso **A** com um sifão s cujo ramo menor se abre perto do fundo do vaso e o ramo maior atravessa o fundo deste vaso, desembocando no exterior. Quando se fornece um caudal constante de água, através da torneira **O**, o nível no vaso sobe até cobrir a parte superior do sifão que fica cheio de água (escorvado) começando a dar-se o escoamento do líquido para o exterior.

Se o aparelho for concebido para que o débito do sifão seja superior ao débito da fonte de alimentação, o nível da água no vaso começa a baixar até emergir a extremidade do ramo menor do sifão.



Vaso de Tântalo (Cont.)

Por isso o sifão deixa de estar escorvado e o escoamento é interrompido. Mas, com o vaso continua a ser constantemente alimentado pela fonte exterior, o nível volta a subir e a mesma série de fenómenos repete-se periodicamente.

(tradução adaptada de A. Ganot, G. Maneuvrier, *Traité Élémentaire de Physique*, 21^{ère} édition, Librairie Hachette, Paris, 1894)



Voltâmetros

Fabricante: Les Fils d'Émile Deyrolle, Paris, nº 6018 do respetivo catálogo

422x207x207 mm // metal e vidro

O **voltâmetro** é um dispositivo onde se realiza a eletrólise, processo que consiste em provocar uma reação química não espontânea de oxidação-redução, fazendo passar uma corrente elétrica através de uma substância fundida ou uma solução aquosa.

Este processo é utilizado, por exemplo, para decompor determinadas substâncias nos seus elementos constituintes. A eletrólise da água, de que resulta a sua decomposição nos gases hidrogénio (H_2) e oxigénio (O_2), foi realizada pela primeira vez no ano de 1800, pelo químico William Nicholson (1753-1815) e pelo médico Sir Anthony Carlisle (1768-1840), ambos ingleses.



Voltâmetros (Cont.)

No Museu de Física existem dois voltâmetros:

- i) Um voltâmetro ordinário;
- ii) Um voltâmetro de Hoffmann.

O ***voltâmetro ordinário***, fig.628, é constituído por um vaso de vidro montado sobre um suporte metálico. No fundo do vaso, existem dois eléctrodos metálicos que podem ser ligados aos polos de uma bateria, por meio dos dois bornes existentes no suporte do vaso (Nicholson e Carlisle utilizaram eléctrodos de platina). Em torno de cada um dos eléctrodos é colocado um tubo de vidro, suspenso por um suporte metálico, para recolha dos gases resultantes da electrólise da água: hidrogénio junto do eléctrodo negativo e oxigénio junto do eléctrodo positivo; no topo de cada tubo, existe uma torneira que permite a libertação dos gases recolhidos.



Voltâmetros (Cont.)

De notar que, de acordo com a composição química da água, o volume de hidrogénio libertado será o dobro do volume de oxigénio libertado.

AA eletrólise da água pura ocorre muito lentamente, devido à pequena concentração de iões H^+ e OH^- , através dos quais se efetua o transporte da corrente elétrica. O processo pode ser acelerado aumentando a concentração de iões, adicionando-se, por exemplo, ácido sulfúrico que, ao dissociar-se, origina iões H^+ e HSO_4^- .



Voltâmetros (Cont.)

O ***voltâmetro de Hoffmann***, fig. 95018, que recebe o nome do químico alemão August Wilhelm von Hoffmann (1818-1892), é constituído por um tubo de vidro central, encimado por um funil esférico, ligado através de um T em vidro a outros dois tubos laterais, também em vidro e graduados.

Na extremidade inferior de cada um dos tubos laterais, existe um eléctrodo de platina, ligado a um borne. Na extremidade superior de cada tubo lateral, existe uma torneira que permite a libertação dos gases resultantes da electrólise. Todo o conjunto se encontra suspenso por meio de um suporte metálico a que está ligado o tubo central.

