

FÍSICA 12.º ANO

Jaime E. Villate  
Carlos Azevedo  
F. Maciel Barbosa

Revisão científica  
M. Céu Marques

# 12

# EU E A FÍSICA 12

## 1.ª Parte



Esta obra é constituída por 3 partes.



PORTO EDITORA



1.72 Máquina de Atwood.

### Trabalho laboratorial

#### TL 1.1 – Máquina de Atwood

Caderno de Laboratório, pág. 6.

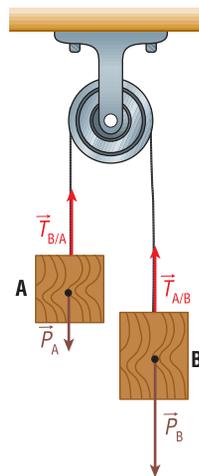
### Repare

- Num fio de massa desprezável, sob tensão, o módulo da tensão é igual ao longo do fio.

## 2. A máquina de Atwood

A **máquina de Atwood** consiste num sistema de dois corpos, de massas diferentes, ligados por um fio inextensível de massa desprezável, que passa pela gola de uma roldana fixa com muito pouco atrito.

Desprezando o atrito na roldana e a resistência do ar,



1.73 Forças que actuam nos corpos A e B ligados.

as **forças exteriores** que actuam no sistema são: o **peso** de A,  $\vec{P}_A$ , e o peso de B,  $\vec{P}_B$  (a massa do fio é considerada desprezável).

As **tensões**  $\vec{T}_{A/B}$  e  $\vec{T}_{B/A}$  são **forças de ligação interiores** ao sistema (corpo A + corpo B + fio de ligação).

Sendo o fio inextensível e de massa desprezável, as **tensões**  $\vec{T}_{A/B}$  e  $\vec{T}_{B/A}$  têm **igual intensidade** ( $|\vec{T}_{A/B}| = |\vec{T}_{B/A}| = T$ ).

**Que relação haverá entre a aceleração do sistema,  $\vec{a}$ , e a aceleração da gravidade,  $\vec{g}$ ?**

**Aplicando a Segunda Lei de Newton ao sistema**, onde, neste caso, é  $P_B > P_A$ , temos:

$$F_R = (m_A + m_B) a \Leftrightarrow P_B - P_A = (m_A + m_B) a \Leftrightarrow (m_B - m_A) g = (m_A + m_B) a \Leftrightarrow$$

$$a = \frac{m_B - m_A}{m_A + m_B} g$$

Concluimos, assim, que um sistema de corpos ligados, tal como a **máquina de Atwood**, **permite reduzir a aceleração da queda de um corpo**. Variando a relação entre as massas dos dois corpos ligados é possível ajustar a aceleração do sistema entre 0 e  $g$ .

**Considerando, agora, os dois corpos separadamente e aplicando a Segunda Lei de Newton** a cada um deles, vem:

$$\begin{cases} P_B - T = m_B a \\ T - P_A = m_A a \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} T = m_B (g - a) \text{ (para o corpo B)} \\ T = m_A (g + a) \text{ (para o corpo A)} \end{cases}$$

Se conhecermos as massas dos dois corpos ligados, por resolução deste sistema de equações, é possível obter:

- o **valor da aceleração** do sistema;
- o **valor da tensão** do fio de ligação.

### Desafio

- Haverá conservação de energia mecânica do sistema? E de cada um dos corpos A e B? **Justifique.**
- Que transformações de energia ocorrem no sistema?

## ► Lei de Hooke

De todos os movimentos oscilatórios, o mais importante é o **movimento harmónico simples** (MHS). Além de ser o movimento oscilatório mais simples de analisar, constitui uma descrição bastante precisa de muitas oscilações que se observam na Natureza.

O nosso estudo vai centrar-se neste tipo de movimento. Para isso, **analisemos o movimento de um corpo ligado a uma mola** (leve), numa superfície plana e horizontal de **atrito desprezável**. O eixo do referencial  $Ox$ , considerado segundo a direcção de oscilação da mola, tem origem na posição de equilíbrio.

Neste sistema ideal, o corpo desliza ao longo da superfície horizontal sob a acção de **três forças**:

- O **peso**,  $\vec{P}$ ;
- A **reação normal**,  $\vec{R}_n$ ;
- A **força elástica** ou **força restauradora**,  $\vec{F}$ .

Como a reacção normal,  $\vec{R}_n$ , exercida pela superfície, é igual e oposta ao peso,  $\vec{P}$ , do bloco, a **força resultante** exercida sobre o bloco é a **força elástica**,  $\vec{F}$ , da mola.

### Mas que força é esta?

Observemos a figura 2.4, para melhor compreendermos.

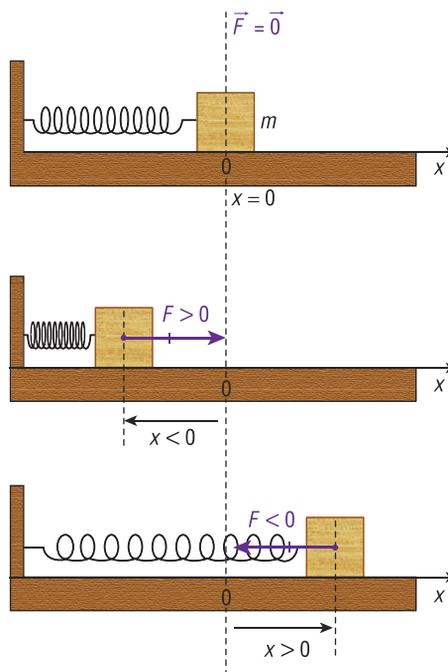
- **Durante a compressão da mola**, esta tende a regressar à posição de equilíbrio ( $x = 0$ ). A força exercida pela mola, responsável por esse efeito, é a **força elástica**,  $\vec{F}$ .

A força elástica,  $\vec{F}$ , é, portanto, uma **força restauradora**, pois tende a levar a mola à sua posição de equilíbrio.

Como durante a compressão é  $x < 0$ , a força elástica actua no sentido contrário, **sentido positivo** ( $F > 0$ ).

- **Durante a distensão da mola**, esta tende, também, a regressar à posição de equilíbrio ( $x = 0$ ). A força exercida pela mola, responsável por esse efeito, continua a ser a **força elástica**,  $\vec{F}$ .

Como durante a distensão é  $x > 0$ , a força elástica actua no **sentido negativo** ( $F < 0$ ).



2.4 A força elástica é uma força restauradora pois tende sempre a levar a mola à sua posição de equilíbrio.

### Repare

Na **posição de equilíbrio**,  $x = 0$ , a **força elástica** é nula ( $\vec{F} = \vec{0}$ ).

O **sentido da força elástica** é tal que **aponta sempre para a posição de equilíbrio**.

À coordenada de posição  $x$  chama-se **elongação**. Esta corresponde à medida da deformação da mola relativamente à sua posição de equilíbrio. À elongação máxima chama-se **amplitude**.

Considera-se a **elongação positiva** ( $x > 0$ ) na **distensão** e **negativa** ( $x < 0$ ) na **compressão**.

A **elongação**,  $x$ , e a componente escalar da **força elástica** têm sempre **sinais opostos**.

## Questões Resolvidas

5. O **pêndulo balístico**, esquematizado na figura, foi utilizado para medir a velocidade das balas nas fábricas de armamento. Consiste num bloco de madeira, suspenso por fios de massa desprezável, que é embatido por uma bala.

O impacto da bala faz com que o bloco oscile.

Num determinado teste, uma bala, de massa 10 g, é lançada contra um pêndulo balístico, de massa 5,0 kg, em repouso na posição de equilíbrio. A bala fica incrustada no bloco de madeira que sobe 20 cm. Considere  $g = 10 \text{ m s}^{-2}$ .

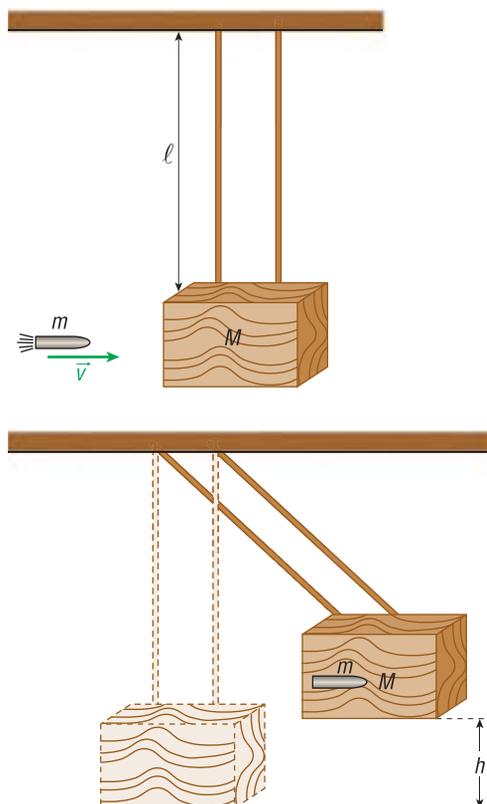
5.1. Mostre que o valor da velocidade com que a bala atinge o pêndulo é dado pela expressão:

$$v = \frac{m + M}{m} \sqrt{2gh} \quad (m - \text{massa da bala e } M - \text{massa do bloco})$$

e calcule esse valor.

5.2. Qual é o coeficiente de restituição? Justifique.

5.3. O que acontece à energia cinética “perdida” pelo sistema durante a colisão?



## Resolução

5.

5.1. Como a resultante das forças exteriores que actuam no sistema, na horizontal, é nula, há conservação do momento linear nessa direcção. Então:

$$m v + M \times 0 = (m + M) v'$$

ou seja,

$$v = \frac{m + M}{m} v' \quad (1)$$

Para calcularmos o valor da velocidade,  $v'$ , do bloco com a bala incrustada, vamos recorrer à Lei da Conservação da Energia Mecânica. De facto, após a colisão, a energia cinética desse sistema é transformada em energia potencial gravítica e o conjunto sobe uma altura  $h$ . Assim:

$$\frac{1}{2} (m + M) v'^2 = (m + M) g h \Leftrightarrow v'^2 = 2 g h \Rightarrow v' = \sqrt{2 g h} \quad (2)$$

Substituindo (2) em (1), tem-se:

$$v = \frac{m + M}{m} \sqrt{2 g h}$$

Cálculo do valor da velocidade  $v$ :

$$v = \frac{0,010 + 5,0}{0,010} \times \sqrt{2 \times 10 \times 0,20} \Leftrightarrow v = 1,0 \times 10^3 \text{ m s}^{-1}$$

5.2. O coeficiente de restituição é  $e = 0$ , pois trata-se de uma colisão perfeitamente inelástica; o bloco e a bala, após a colisão, seguem juntos ( $v_{2f} = v_{1f}$ ).

5.3. A energia cinética dissipada é convertida em energia interna do conjunto bloco + bala, que aumenta.

Por exemplo, dizer que a densidade relativa do ferro é 7,8 ( $d = 7,8$ ) significa que a massa de um dado volume de ferro é 7,8 vezes maior do que a massa de igual volume de água.

### Pressão e força de pressão

Vimos que nos líquidos, fluidos incompressíveis, a massa volúmica é praticamente constante. Mas o mesmo não acontece com os gases. Quando um gás é comprimido, isto é, quando se aumenta a pressão sobre o gás, a sua massa volúmica aumenta, pois a mesma massa vai ocupar um volume menor.

A **pressão** é, portanto, uma grandeza física importante para o estudo do equilíbrio hidrostático dos fluidos.

Define-se **pressão**,  $p$ , como o módulo da força exercida perpendicularmente a uma superfície, por unidade de área.

$$p = \frac{F}{A}$$

Embora se defina a pressão a partir de uma força, a **pressão** é uma **grandeza física escalar**.

A **unidade SI** de pressão é o **newton por metro quadrado**,  $\text{N m}^{-2}$ , ou **pascal**, **Pa** ( $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N m}^{-2}$ ).

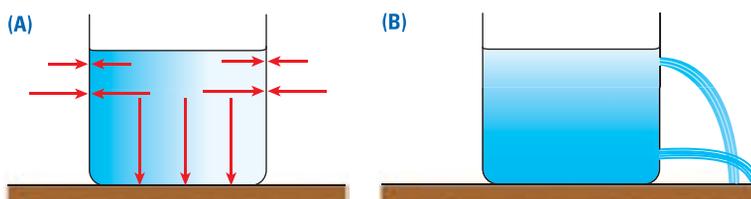
Se a força  $\vec{F}$  não for exercida perpendicularmente à superfície, pode decompor-se numa componente perpendicular e noutra paralela à superfície, sendo que **apenas a componente perpendicular contribui para a pressão** exercida sobre a superfície.

No caso de um fluido, a componente paralela, isto é, tangencial à superfície, iria fazer com que o fluido deslizesse (se escoasse).

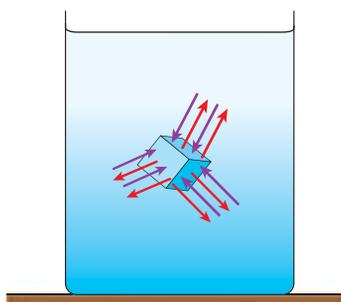
Portanto, num fluido em equilíbrio hidrostático (em repouso a nível macroscópico), as **forças** exercidas nas superfícies em contacto com o fluido são **perpendiculares** a essas **superfícies** em todos os pontos. Essas forças designam-se por **forças de pressão**.



**4.4** Para uma mesma força, a pressão é tanto maior quanto menor for a área da superfície sobre a qual a força actua.



**4.5 (A)** As forças de pressão exercidas pela água em repouso sobre as paredes do recipiente são perpendiculares a essas superfícies. **(B)** A água esguicha pelos orifícios perpendicularmente à parede devido às forças de pressão.



**4.6** Água em equilíbrio e um pequeno “cubo” isolado dessa própria água.

**Imaginemos**, agora, **uma porção muito pequena de um fluido em equilíbrio**. Seja, por exemplo, um “cubo” de água no interior de um recipiente com a própria água em repouso, como mostra a figura **4.6**.

Considerando o “cubo” de água muito pequeno, podemos desprezar o seu peso. Nestas condições, **a resultante das forças de pressão**, que se exerçam em todas as direcções e sentidas pelas moléculas de água circundante, **tem de ser nula**. Se assim não fosse, haveria deslocamento desse pequeno “cubo” de água dentro da própria água e ele deixaria de estar em equilíbrio.

**Num fluido em equilíbrio hidrostático, a resultante das forças de pressão que se exercem em todas as direcções, num ponto de fluido, é nula.**

FÍSICA 12.º ANO

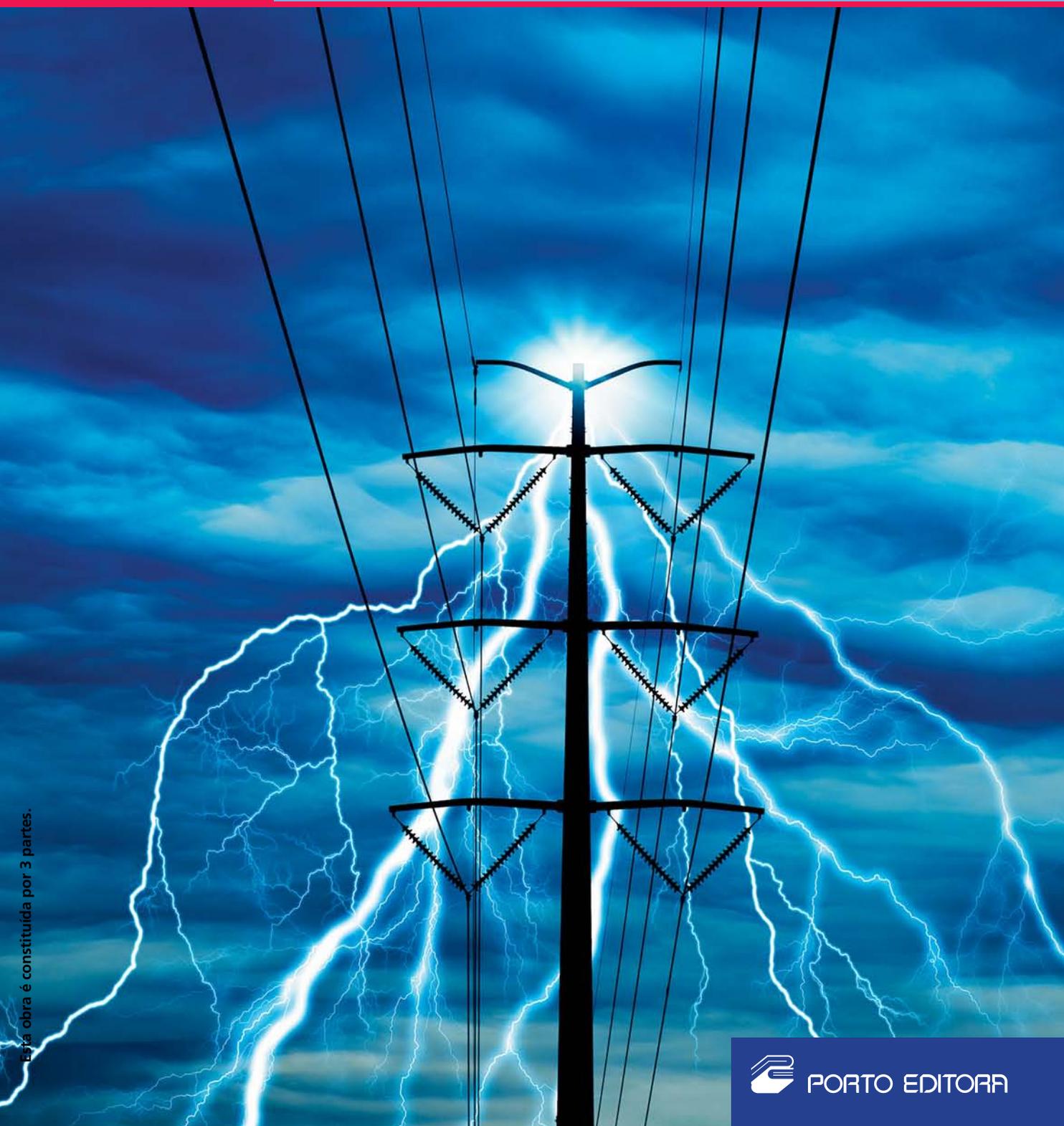
Noémia Maciel  
Jaime E. Villate  
Carlos Azevedo  
F. Maciel Barbosa

Revisão científica  
M. Céu Marques

12

# EU E A FÍSICA 12

2.ª Parte



Esta obra é constituída por 3 partes.



PORTO EDITORA

### 3. ACÇÃO DE CAMPOS MAGNÉTICOS SOBRE CARGAS EM MOVIMENTO E CORRENTES

#### Conteúdos

- Origens do campo magnético.
- Espectros de campos magnéticos criados por ímanes e correntes.
- Acção de cargas em movimento.
- Acção simultânea de campos magnéticos e eléctricos sobre cargas em movimentos.
- Espectrómetro de massa e ciclotrão.
- Experiência de Thomson e relação  $\frac{e}{m}$  do electrão.
- Acção de campos magnéticos sobre correntes eléctricas.



3.1 ??

E.F.Z.N.M. 12 © Porto Editora

#### ► Origens do campo magnético

Muitos historiadores da ciência acreditam que a bússola, que utiliza uma agulha magnética, já era utilizada na China no século XIII a. C., sendo a sua invenção de origem árabe ou hindu.

O fenómeno do magnetismo era conhecido dos gregos já no ano 800 a. C. Os gregos descobriram que certas pedras, feitas de um material hoje chamado **magnetite** ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), atraíam pedaços de ferro.

Pensa-se que as primeiras observações de fenómenos magnéticos tenham sido realizadas na antiga cidade de Magnésia, na Ásia Menor (hoje Turquia). Daí a designação de magnetite dada à pedra-íman existente na região e de **magnetismo** a este fenómeno que se observa com os ímanes ou magnetes.

Em 1269, Pierre de Maricourt descobriu que uma agulha de ferro, colocada em diversas posições sobre a superfície de um íman esférico natural, orientava-se segundo linhas curvas, que envolviam o íman esférico, que passavam por dois pontos diametralmente opostos entre si, a que Maricourt chamou **pólos** do íman.

Experiências realizadas posteriormente vieram a comprovar que todo o íman, independentemente da sua forma, tem sempre **dois pólos** – o **pólo norte** e o **pólo sul** –, nos quais a força magnética é mais intensa.

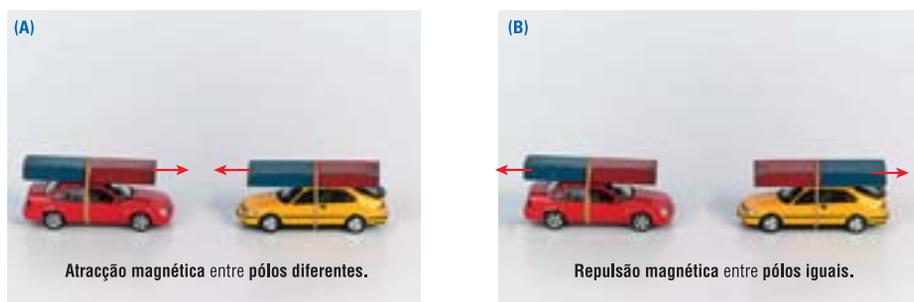
Verificaram, também, que, à semelhança do que se passa com as cargas eléctricas, **pólos do mesmo nome repelem-se** e **pólos de nome diferente atraem-se**.



3.2 A magnetite é um mineral que, no estado natural, tem a propriedade de atrair o ferro e o aço.



3.3 Devido à repulsão entre pólos iguais, há discos magnéticos suspensos no ar. Dize-mos que estão em levitação magnética.



3.4 Pólos magnéticos iguais repelem-se; pólos magnéticos diferentes atraem-se.

Portanto, para obter a relação  $m/q$ , basta medir o raio da trajectória  $R$  e conhecer as intensidades dos campos eléctrico,  $\vec{E}$ , e magnéticos,  $\vec{B}_1$  e  $\vec{B}_2$ .

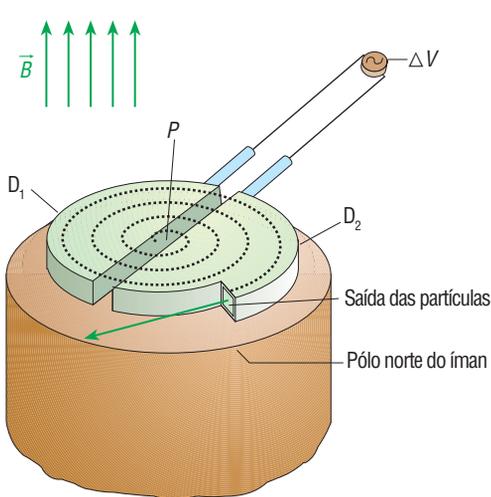
Na prática, medem-se as massas de vários isótopos de um certo ião, todos com a mesma carga  $q$ . A razão entre as massas pode, assim, ser determinada, mesmo sendo  $q$  desconhecida.

### Ciclotrão

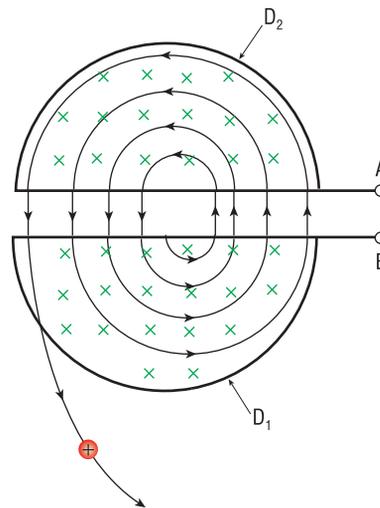
Um **ciclotrão** é um acelerador de partículas que permite que partículas com energia cinética muito elevada colidam com núcleos atómicos ou outras partículas, desencadeando reacções nucleares. Além de ser usado em centros de investigação nuclear, há, por exemplo, hospitais que utilizam ciclotrões para obter substâncias radioactivas para diagnóstico e tratamento médico.

O primeiro ciclotrão foi inventado pelo físico norte-americano Ernest Lawrence (1901-1958), em 1934.

Na figura 3.39 apresenta-se o esquema de um ciclotrão.



3.39 Esquema de um ciclotrão.



3.40 Nas câmaras metálicas,  $D_1$  e  $D_2$ , o ião descreve trajectórias semicirculares.

Este é constituído por duas câmaras metálicas semicirculares,  $D_1$  e  $D_2$ , em forma de D (e onde se faz o vácuo), que se encontram sob a acção de um campo magnético,  $\vec{B}$ , uniforme e perpendicular às câmaras.

Entre os dois "dês" existe um campo eléctrico,  $\vec{E}$ , muito intenso, e que inverte periodicamente o sentido, por aplicação de uma diferença de potencial,  $\Delta v$ , alternada de alta frequência.

As partículas carregadas são lançadas, com pequena velocidade, por uma fonte de iões que se encontra no centro do ciclotrão e entram num dos "dês".

Então, se um ião positivo for lançado num instante em que o campo eléctrico,  $\vec{E}$ , aponta de  $D_1$  (a menor potencial) para  $D_2$  (a maior potencial), este ião será acelerado pelo campo eléctrico e, ao entrar em  $D_2$ , descreve uma trajectória semicircular no campo magnético, de raio  $R = \frac{m v}{q B}$ .

Quando o ião sai de  $D_2$  e entra no campo eléctrico, como este já inverteu o sentido, apontando agora de  $D_2$  para  $D_1$ , o ião é novamente acelerado pelo campo eléctrico, entrando em  $D_1$ .

A nossa trajectória nunca consegue sair do “cone” entre as duas rectas  $\frac{x}{t} = c$  e  $\frac{x}{t} = -c$ . Essas duas rectas representam as trajectórias de dois sinais luminosos que se deslocam nos dois sentidos do eixo dos  $x$ , passando pela origem em  $t = 0$ .

Os acontecimentos fora do cone de acontecimentos futuros e passados corresponde a acontecimentos para os quais é possível encontrar um referencial onde o acontecimento é simultâneo com o acontecimento na origem.

No plano  $xy$  a que estamos habituados, a distância entre dois pontos é dada pelo teorema de Pitágoras:

$$\sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}$$

e a invariância dessa distância é a base da geometria euclidiana.

No espaço-tempo da figura 1.14, a “distância” entre dois acontecimentos é:

$$\sqrt{\Delta x^2 - c^2 \Delta t^2}$$

em vez de somarmos os quadrados das abcissas e as ordenadas, estamos a subtrair o quadrado das abcissas menos o quadrado das ordenadas. A geometria construída a partir da invariância dessa distância é uma geometria não euclidiana.

Tendo em conta as coordenadas  $y$  e  $z$ , o espaço-tempo completo é um espaço em quatro dimensões, em que a distância invariante entre dois pontos é:

## Repare

Muitos anos antes da Teoria da Relatividade, alguns matemáticos já tinham desenvolvido geometrias não euclidianas em espaços hipotéticos, onde a distância entre dois pontos não é dada pelo teorema de Pitágoras. O trabalho de um desses matemáticos, Riemann, tem sido muito útil no desenvolvimento da física relativista.

## ► Relação entre massa e energia

Na física não relativista, uma forma conveniente de garantir a invariância das leis da física era representar as grandezas físicas como escalares, iguais em todos os referenciais, ou como vectores, que verificam as mesmas regras de transformação dos pontos na geometria euclidiana.

Na física relativista, para garantir que as leis físicas sejam invariantes, convém representar as grandezas físicas como **quadrivectores**,  $F$ , com três componentes espaciais,  $F_x$ ,  $F_y$ , e  $F_z$ , e uma componente temporal,  $F_t$ , que verifiquem as mesmas regras de transformação do espaço-tempo. O módulo, invariante, do quadrivector é:

$$\sqrt{F_x^2 + F_y^2 + F_z^2 - F_t^2}$$

O quadrivector posição-tempo tem as três componentes do vector posição e uma quarta componente, que é  $ct$ .

A cada vector que conhecemos na física não relativista, em três dimensões, é possível associar um escalar, que representa a componente temporal na física relativista, de forma a obter um quadrivector. No caso do momento linear de uma partícula, a quarta componente é uma grandeza escalar, com unidades de energia, dividida por  $c$ . Essa grandeza escalar, designada por **energia relativista**, é igual a:

$$E = \frac{m c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

em que  $m$  é a massa da partícula e  $v$  a sua velocidade.

FÍSICA 12.º ANO

Noémia Maciel  
Jaime E. Villate  
Carlos Azevedo  
F. Maciel Barbosa

Revisão científica  
M. Céu Marques

# 12

# EU E A FÍSICA 12

Caderno de Laboratório + Guia do Professor



Esta obra é constituída por 3 partes.



PORTO EDITORA