

Projecto Faraday
Actividades do 10º ano

23 de Julho de 2004

Departamento de Física
Faculdade de Ciências, Universidade do Porto

Fundação Calouste Gulbenkian

Ficha Técnica

Projecto Faraday

Projecto de intervenção no ensino da Física no secundário.

Financiamento

Fundação Calouste Gulbenkian.

Execução

Departamento de Física, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto.

Escolas Participantes

- ES Filipa de Vilhena
- ES Fontes Pereira de Melo
- ES Garcia de Orta
- ES da Maia
- ES de Santa Maria da Feira

Coordenação

- J. M. B. Lopes dos Santos
- Manuel Joaquim Marques

Portal

URL: <http://www.fc.up.pt/faraday>

Autores

- Carlos M. Carvalho
- Elisa Arieiro
- J. M. B. Lopes dos Santos
- Manuel Joaquim Marques
- Nuno Alexandre Vaz
- Nuno Nunes

Colaboração

- Joaquim Agostinho Moreira

Conteúdo

Ficha Técnica	i
A1: Energia Eléctrica em Casa	5
A2: Energia Eléctrica no País e no Mundo	10
A3: O que gasta uma lâmpada de 100 W?	12
A4: Trabalho e máquinas simples	14
A5: Conversão de energia em queda livre	19
A6: Trabalho de forças variáveis	24
A7: Energia em colisões	28
A8: Colisões inelásticas	33
A9: Aquecimento com varinha mágica	37
A10: Misturas de água a diferentes temperaturas	39
A11: Capacidade térmica mássica de dois metais	42
A12: Calor latente de fusão do gelo	46
A13: Proporcionalidade directa	50
A14: Trabalho eléctrico e fusão do gelo	58
A15: Rendimento de uma lâmpada de incandescência	62

A16: Espectro de uma lâmpada de incandescência **67**

A17: Movimento Browniano **73**

Lista de Figuras

1	Três montagens com roldanas móveis.	15
2	Qual parte primeiro com o aumento do peso: (a) ou (b)?	17
3	Quando o baloiço está em equilíbrio uma deslocação lenta do baloiço não altera a energia potencial total dos dois corpos. . .	18
4	Dispositivo experimental para estudo de queda livre.	20
5	Qual é o trabalho da força F , se esta variar com o deslocamento do carro, x ?	24
6	Se a força for constante o trabalho da força é $w = F_x x$: ou seja a área do gráfico de F_x vs x	25
7	Como calcular o trabalho nestas quatro situações?	25
8	Se $F_x < 0$ o trabalho é o simétrico da área entre o eixo do xx e o gráfico de F_x	26
9	Quanto vale o trabalho total da força no deslocamento entre $x = 0$ e $x = 4$?	27
10	Montagem para estudo de colisões.	29
11	Qual é velocidade do centro de massa, ponto médio entre os dois carros, se um tiver velocidade de módulo v e outro estiver em repouso?	31
12	Carro para demonstração de colisões inelásticas. O carro é constituído por uma base com rodas, e dois acessórios, que podem ser montados na base, em alternativa. Têm a mesma massa total, mas, num deles, os discos metálicos podem mover-se relativamente à estrutura de madeira. [4].	34
13	A altura, z , é proporcional à distância d , $z = d \sin \alpha$	35
14	Qual das temperaturas será menor? T_1 , água líquida, ou T_2 , água e gelo?	47

15	Se o gelo, (<i>A</i>), e a água, (<i>B</i>), introduzidos na garrafa térmica, têm a mesma massa e temperatura, como se explica que as temperaturas finais sejam diferentes?	49
16	Resultados de uma experiência de aquecimento eléctrico de uma mistura de água e gelo.	59
17	Calorímetro com lâmpada de incandescência.	63
18	Dispositivo experimental para estudo do espectro visível de uma lâmpada de incandescência.	68
19	Espectro electromagnético.	70
20	Variação da distribuição espectral da radiação de corpo negro com o comprimento de onda, a diferentes temperaturas: à esquerda, 3000 K, 4000 K, 5780 K, (temperatura da superfície do Sol); à direita noutra escala, 5780 K, 9000 K, 10000 K.	70
21	Duas imagens de Júpiter: à direita uma imagem de luz visível; à esquerda uma imagem (falsa cor) de raios-X que mostra a existência de duas fontes de grande intensidade nos pólos (créditos: imagem de raios-X: R. Gladstone (SwRI), et al.; imagem óptica: Cassini Imaging Team, NASA[5]).	72
22	Imagem de microscópio de uma suspensão de leite em água (ampliação $\approx 500\times$). As manchas claras e escuras são gotas de leite em diferentes planos.	74

Actividade A1	Energia Eléctrica em Casa		
<i>Descrição</i>	Revisão e exploração de alguns conceitos a propósito da energia eléctrica.	<i>Versão</i>	1.0
<i>Autores</i>	Projecto Faraday	<i>Data</i>	10/11/2003

Objectivo

Recordar alguns conceitos e termos usados a propósito da energia eléctrica e do seu consumo doméstico. Esta actividade permitirá uma melhor compreensão da terminologia associada a dispositivos eléctricos de potência.

Unidades de Energia e Potência

No Sistema Internacional, para o qual usaremos sempre a designação SI, a unidade de energia é o joule.

Suponhamos que queremos saber quantos joule gasta uma lâmpada. Se olharmos para a respectiva embalagem veremos uma indicação de *potência*, numa outra unidade, o watt (W). O mesmo acontece para qualquer electrodoméstico. Não teremos mais sorte com a factura de electricidade. Diz-nos o que gastámos em kWh (kilowatt-hora). Porquê?

O conceito de potência

A energia gasta por uma lâmpada, um ferro de engomar, ou qualquer motor eléctrico, depende do tempo que cada um estiver ligado. Se ligarmos uma lâmpada à corrente um minuto gastamos 60 vezes mais energia do que se ligarmos um segundo e 60 vezes menos do que se ligarmos uma hora.

Isto é, se t for o tempo que estiver ligada e $E(t)$ a energia consumida no tempo t , dividindo $E(t)$ por t obtemos uma grandeza que não depende de t :

$$P = \frac{E(t)}{t}. \quad (1)$$

Porquê? Imaginemos que ligamos a lâmpada durante um tempo t_1 e medimos a energia consumida, E_1 ¹. A potência seria $P = E_1/t_1$. E se tivéssemos usado um tempo t_2 , 10 vezes superior, $t_2 = 10t_1$? A energia gasta seria também 10 vezes superior $E_2 = 10E_1$. A razão energia sobre o tempo seria a mesma:

$$\frac{E_2}{t_2} = \frac{10E_1}{10t_1} = \frac{E_1}{t_1} = P.$$

Se o tempo for metade ($t_1/2$) a energia correspondente é também metade ($E_1/2$). A razão energia/tempo mantém-se, de novo. Isto é, a energia consumida por uma lâmpada depende do tempo que está ligada, a potência não.

Podemos exprimir este facto de outro modo dizendo que $E(t)$ é directamente proporcional a t

$$E(t) = P \times t. \quad (2)$$

A constante de proporcionalidade, P , é a potência da lâmpada; é uma constante porque não depende do tempo, nesta equação. Mas lâmpadas de características diferentes terão, em geral, potências diferentes. A Eq. 2 permite-nos calcular os consumos de energia para qualquer intervalo de tempo de funcionamento da lâmpada.

Repare-se que o valor numérico de P é o da quantidade de energia gasta numa unidade de tempo: se pusermos $t = 1$ na Eq. 2 obtemos $E(1) = P$. Daí que se refira a potência como a energia gasta (ou fornecida, ou transferida) por unidade de tempo.

¹Não precisamos de especificar quanto são t_1 e E_1 porque o argumento que vamos apresentar vale para *quaisquer* valores de t_1 e E_1 .

O watt

Na Eq. 1 vemos que a potência é obtida dividindo uma energia (joule) por um tempo (s, segundo). A unidade SI de potência é, pois, o J s^{-1} . Esta unidade recebeu o nome de **watt** (W) em homenagem ao engenheiro e físico escocês James Watt, um dos inventores da máquina a vapor.

Quando indicamos a potência de uma lâmpada como 100 W estamos a afirmar, então, que por cada segundo que estiver ligada gastará 100 J de energia.

O kilowatt-hora

Um aquecedor de potência 1 kW (1000 W), ligado durante uma hora, quantos joule gasta? Pela definição de **watt** sabemos que gasta 1000 J por segundo e, por isso, numa hora, que tem $60 \times 60 = 3600$ segundos, gastará:

$$3600 \times 1000 = 3,6 \times 10^6 \text{ J.}$$

Esta quantidade de energia é designada por kilowatt-hora (kWh):

Um **kilowatt-hora** é a energia consumida por um dispositivo de potência 1 kW num período de 1 hora.

Repare-se numa distinção importante: o kilowatt é uma unidade de potência, o kilowatt-hora de energia. Se a potência for expressa em kW e o tempo de uso em horas (h) o produto da potência pelo tempo dá a energia em kilowatt-hora (kWh).

No caso acima indicado a energia em kWh será, simplesmente:

$$1 \text{ kW} \times 1 \text{ h} = 1 \text{ kWh.}$$

Múltiplos do kWh

- um kilowatt-hora são mil watt-hora, $1 \text{ kWh} = 10^3 \text{ Wh}$
- um megawatt-hora (MWh) são mil kWh, $1 \text{ MWh} = 10^3 \text{ kWh} = 10^6 \text{ Wh}$;
- um gigawatt-hora (GWh) é um milhão de kWh, $1 \text{ GWh} = 10^6 \text{ kWh} = 10^9 \text{ Wh}$;
- um terawatt-hora (TWh), são mil milhões de kWh, $1 \text{ TWh} = 10^9 \text{ kWh} = 10^{12} \text{ Wh}$.

Cálculo de consumos em kWh

Consideremos os seguintes gastos:

- um lâmpada de 100 W durante 25 horas;
- um aquecedor de 1,5 kW durante 10 horas;
- um ferro de 800 W durante 4 horas;
- Um disco de 2 kW durante 10 minutos.

Qual é o consumo correspondente em kWh?

- Lâmpada: potência de 0,1 kW, logo uma energia de $0,1 \times 25 = 2,5 \text{ kWh}$;
- aquecedor: $1,5 \times 10 = 15 \text{ kWh}$;
- ferro: $0,8 \times 4 = 3,2 \text{ kWh}$;
- disco: $2 \times (10/60) = 0,33 \text{ kWh}$.

Questões

1. Calcular em kWh e em joule as energias consumidas mensalmente pelos seguintes dispositivos:
 - (a) um ventilador de 15 W ligado 24 horas por dia;
 - (b) um aquecedor de 1,5 kW ligado duas horas por dia;
 - (c) um televisor de potência 400 W ligado 5 horas por dia.
2. Qual a potência de um electrodoméstico que gasta 0,1 kWh em 30 minutos?

Actividade

1. Medir 500 ml de água para uma cafeteira de aquecimento rápido (resistência imersa). Cronometrar o tempo que demora até a água entrar em ebulição. Ler o respectivo valor de potência e calcular em kWh e J a energia consumida para aquecer a água até aos 100 °C.

Actividade A2	Energia Eléctrica no País e no Mundo		
<i>Descrição</i>	Estimativas de consumos a nível nacional e internacional.	<i>Versão</i>	1.0
<i>Autores</i>	Projecto Faraday	<i>Data</i>	15/11/2003

Objectivo

A partir de alguns dados simples vamos estimar os consumos energéticos, por agregado familiar, em todo o Portugal e no Mundo.

Fontes

Um bom ponto de partida é a própria factura de electricidade da EDP. As facturas indicam o consumo anual diário em euros. O consumo facturado em cada mês indica o valor em euros e em kilowatt-hora. Com estes dados podemos calcular o consumo médio diário de um agregado familiar em kWh.

Em Portugal a responsabilidade de produção e distribuição de energia eléctrica é da empresa REN (Rede Eléctrica Nacional). O respectivo portal, <http://www.ren.pt> [6], tem muita informação: potências dos aproveitamentos, gráficos de potência na rede ao longo do dia, distribuição de energia produzida pelos vários tipos de aproveitamento, consumos globais, etc.

Dados sobre o consumo mundial de energia podem ser obtidos da IAEA, *International Atomic Energy Agency* [1].

Questões

1. Fazer uma lista de electrodomésticos usados em casa. Estimar o tempo que estão ligados por dia, em média. Calcular e adicionar os respectivos consumos mensais. Comparar com a factura de electricidade.

2. Juntando valores de facturas de vários alunos da turma, como estimar o consumo médio diário em kWh por agregado familiar, em Portugal?
3. Discutir os erros que poderão estar associados a este método de estimativa (os agregados dos alunos da turma serão representativos da média nacional? Terão consumos superiores ou inferiores à média?).
4. Portugal tem cerca de 10 milhões de habitantes.
 - (a) Estimar (ou investigar) o número médio de habitantes por agregado. Da estimativa do consumo por agregado, estimar o consumo doméstico diário de energia eléctrica em Portugal.
 - (b) Comparando as estimativas de consumo doméstico acima referidas, com os valores obtidos no site da REN, que podemos estimar para a razão consumo doméstico/consumo industrial em Portugal?
5. Usando os dados do texto principal, confirmar (ou refutar) as estimativas:
 - (a) Água turbinada diariamente nos aproveitamentos hidroeléctricos portugueses: 300 milhões de toneladas.
 - (b) Carvão gasto diariamente nas centrais térmicas portuguesas: 16 mil toneladas.
6. Supondo que o consumo de energia eléctrica por habitante em Portugal é representativo do consumo a nível mundial estimar, a partir dos dados da REN, o consumo mundial diário de energia eléctrica. Comparar com os dados da IAEA (texto principal).

Actividade A3	O que gasta uma lâmpada de 100 W?		
<i>Descrição</i>	Implicações da produção de energia necessária para ter uma lâmpada acesa um ano.	<i>Versão</i>	1.0
<i>Autores</i>	Marshall Brain	<i>Data</i>	9/10/2003

Objectivo

Calcular a quantidade de carvão necessária e de poluentes produzidos, para manter uma lâmpada de 100 W acesa durante um ano. Baseado num artigo de Marshall Brain.[2]

Dados

O conteúdo energético do carvão é cerca 6,1 kWh por quilograma. Mas a eficiência de uma central térmica a carvão é apenas de 40%; só 40% da energia do carvão queimado é convertida em energia eléctrica.

Por cada tonelada (10^3 kg) de carvão queimado numa central, são produzidos vários poluentes atmosféricos:

- 7 kg de dióxido de enxofre, SO_2 (chuvas ácidas);
- 7,1 kg de vários óxidos de azoto (chuvas ácidas);
- 2,6 toneladas de dióxido de carbono, CO_2 (efeito de estufa);
- muitos outros poluentes, incluindo elementos radioactivos (mais do que numa central nuclear em bom funcionamento).

Questões

1. Qual é, em kWh, o consumo energético de uma lâmpada de 100 W, acesa 24 horas por dia, durante um ano?
2. Qual é a quantidade de carvão consumida num ano para fornecer essa energia?
3. Calcular as quantidades de poluentes emitidos na produção da energia calculada na questão 1.
4. Como se explica que a massa de CO₂ produzida seja *superior* à massa de carvão queimada?

Actividade A4	Trabalho e máquinas simples		
<i>Descrição</i>	O funcionamento de máquinas simples, como roldanas móveis, é usado para motivar a definição de trabalho.	Versão	1.0
<i>Autores</i>	Projecto Faraday	<i>Data</i>	9/10/2003

Objectivo

O objectivo de máquinas simples, como roldanas móveis, alavancas, prensas hidráulicas, ou até planos inclinados, é diminuir o valor da força necessária para realizar uma determinada tarefa. Nesta actividade mostra-se que isso não implica uma diminuição da energia necessária.

Material

- Um conjunto de roldanas móveis e fixas;
- um dinamómetro;
- material estativo;
- massas marcadas.
- uma régua ou fita métrica.

Roldana Móvel

Nesta actividade serão realizadas em sucessão as montagens da Fig. 1, com o mesmo corpo suspenso $\backslash\mathrm{sen}\backslash$ em cada caso.

Os dinamómetros têm duas características importantes para esta experiência:

- O peso máximo que suportam. Este valor não deve ser excedido.
- A sua resolução. Podemos tomá-lo como a menor divisão da respectiva escala. Por exemplo, se a menor divisão da escala do dinamómetro for $0,1\text{ N}$ este dinamómetro não será possível distinguir dois pesos de $53,23\text{ N}$ e $53,25\text{ N}$. Devemos usar pesos com valores muito superiores à menor divisão da escala: de outro modo temos erros relativos muito grandes nas medições.

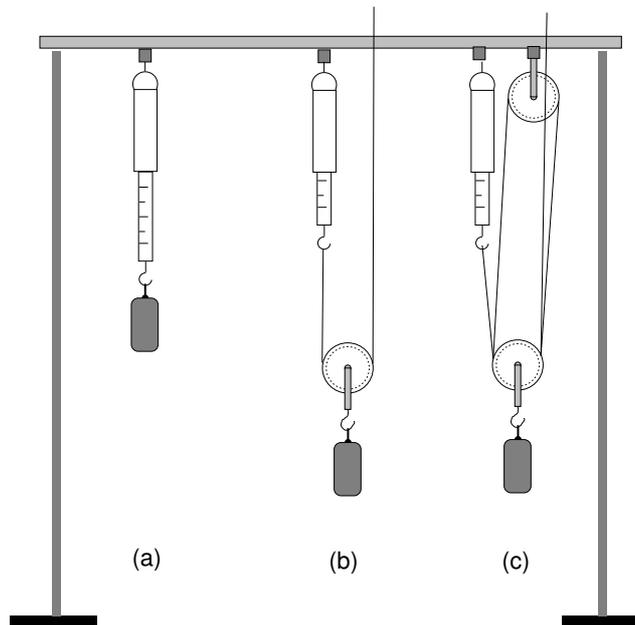


Figura 1: Três montagens com roldanas móveis.

Procedimento

1. Na situação da Fig.1a, medir o peso do corpo suspenso. Registrar o respectivo valor em **newton**.
2. Substituir o corpo pela roldana móvel que vai ser usada em (b) e (c) e medir o respectivo peso.

3. Calcular o peso total suspenso na montagem (b). Prever qual vai ser a leitura do dinamómetro.
4. Realizar a montagem (b) e comparar o valor indicado no dinamómetro com o obtido na alínea anterior.
5. Puxar o fio que suspende a roldana em (b) de uma distância determinada (10 cm ou 20 cm, por exemplo). Medir a distância que se elevou o corpo. Calcular o trabalho realizado ao puxar o fio e a variação de energia potencial gravítica do corpo e roldana móvel.
6. Repetir as alíneas anteriores para a montagem (c).

Questões

1. A roldana móvel permite reduzir a força necessária para elevar um corpo? Qual é o factor de redução em (b) e em (c)²?
2. Por que é que o dinamómetro suporta apenas metade do peso suspenso? Quem suporta a outra metade?
3. Há um erro na representação da Fig.1b ou Fig.1c. Qual é?
4. A roldana móvel permite reduzir a energia necessária para elevar um corpo? Justificar em face das observações feitas.
5. Fazer um pequeno esquema explicando porque é que, ao puxar o fio na montagem da Fig.1b, o corpo só sobe metade do comprimento de fio recolhido.
6. No esquema da Fig.2 aumentamos o peso suspenso até partir o fio de suspensão. Trata-se do mesmo tipo de fio em ambos os casos. Em que caso parte primeiro (para menor peso): (a) ou (b)?

²Se F é a força necessária sem roldana e f a força com uma montagem usando roldanas, o factor de redução é $r = F/f$, ou seja $f = F/r$. Por exemplo $r = 2$, se $f = F/2$.

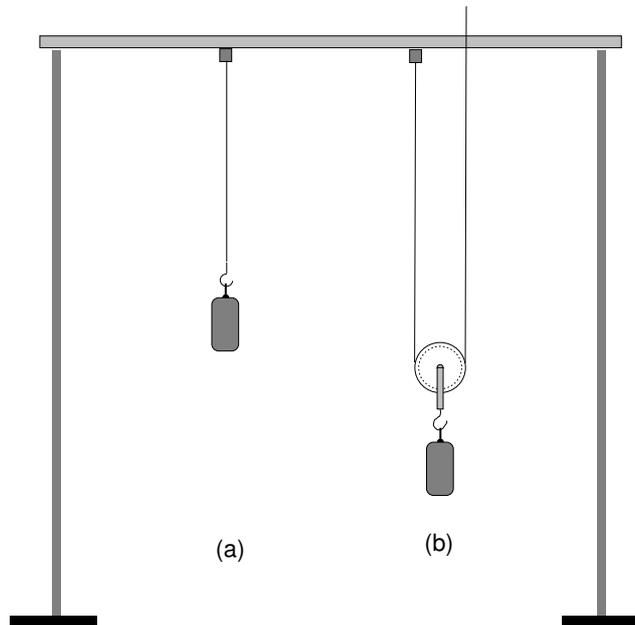


Figura 2: Qual parte primeiro com o aumento do peso: (a) ou (b)?

Alavanca

Os mesmos princípios podem ser usados para compreender o funcionamento de uma alavanca. (Fig. 3).

Dois corpos de massas m e M estão equilibrados a distâncias diferentes do fulcro, L e l , respectivamente. Qual é a relação entre as massas e essas distâncias?

Questões

1. Se um dos corpos, de peso mg , desce de D , o outro Mg , sobe de d . Tendo em atenção que os dois triângulos da Fig. 3 são semelhantes (três ângulos iguais) mostrar a seguinte relação entre as variações de altura e

os braços da alavanca L e l :

$$\frac{D}{d} = \frac{L}{l} \quad (3)$$

2. Se a alavanca está equilibrada, podemos movê-la com uma força tão pequena quanto queiramos. Se o trabalho que realizamos for nulo (ou desprezável), qual é a variação de energia potencial **total** dos dois corpos?
3. Mostrar que a conservação de energia implica que a condição de equilíbrio tem a forma:

$$mgD = Mg d$$

Usando a Eq. 3, obter a condição na forma habitual:

$$mL = Ml$$

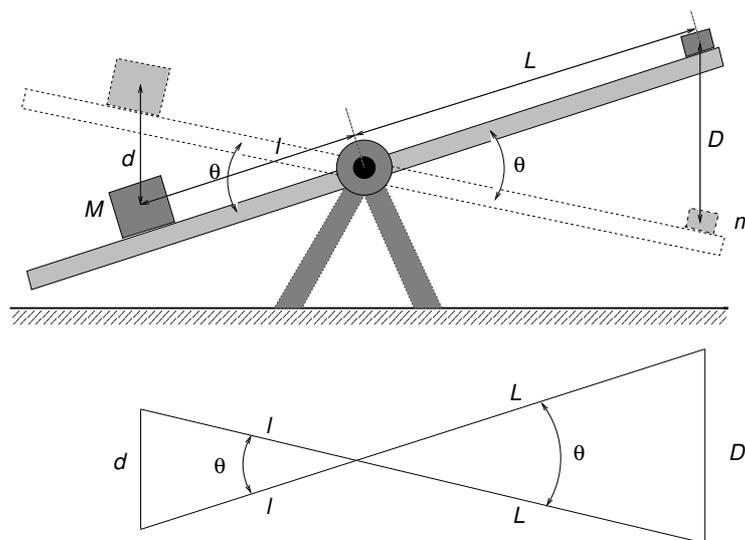


Figura 3: Quando o baloço está em equilíbrio uma deslocação lenta do baloço não altera a energia potencial total dos dois corpos.

Actividade A5	Conversão de energia em queda livre		
<i>Descrição</i>	Estuda-se a velocidade de um corpo em função da altura de queda.	<i>Versão</i>	1.0
<i>Autores</i>	Projecto Faraday	<i>Data</i>	11/12/2003

Objectivo

O estudo da velocidade de queda de um corpo em função da altura permite relacionar directamente as expressões da energia potencial gravítica e da energia cinética.

Material

- Um sensor de passagem (photogate, Pasco ME-9204B) associado a um cronómetro de resolução 10^{-4} s (Pasco *Smart Timer*, ME-8930);
- material estativo;
- fita métrica;
- um recipiente de rolo de fotografias e fio de nylon;
- espuma;
- granalha de chumbo (opcional);

Descrição

O dispositivo experimental está representado na Fig. 4. A distância h é medida com uma fita métrica. A *photogate*, no modo *gate*, regista no cronómetro o tempo de interrupção do feixe infravermelho por interposição do cilindro. Ficamos pois a saber o tempo que o cilindro demorou a percorrer uma distância

igual ao seu comprimento. Daí podemos obter a velocidade correspondente à passagem do seu ponto médio pelo feixe da *photogate* (com excelente aproximação). Variando a altura de queda h (cerca de 0,1 m a 1 m), podemos estudar a variação da velocidade com h .

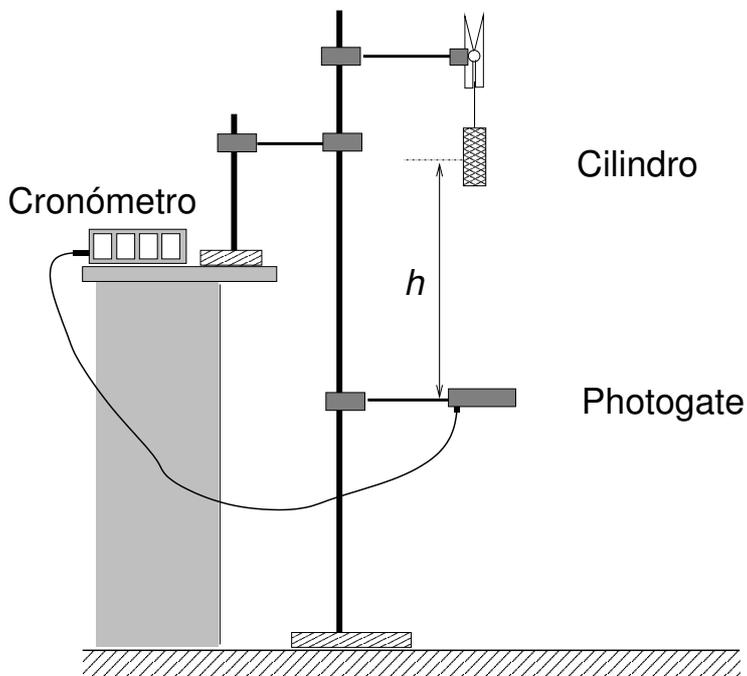


Figura 4: Dispositivo experimental para estudo de queda livre.

Explicação

Seja t_1 o instante em que a base do cilindro interrompe o feixe da *photogate* e t_2 o instante em que o topo do mesmo passa pelo feixe. No modo *gate* o cronómetro indica $\Delta t \equiv t_2 - t_1$, o tempo que o cilindro demora a deslocar-se o seu próprio comprimento d_c . A velocidade média neste intervalo é

$$v = \frac{d_c}{\Delta t}.$$

Podemos tomar esta velocidade como sendo a correspondente à passagem do plano médio do cilindro pelo feixe da *photogate*. Deste modo determinamos a

velocidade v em função da altura de queda, h . Esta deve ser medida conforme se indica na Fig. 4, da linha média do cilindro ao plano horizontal que contém o feixe da *photogate*. É, em geral, mais prático medir a distância vertical da base do cilindro ao plano do feixe e somar-lhe metade da altura do cilindro.

Procedimento

1. Preparar o cilindro.
 - (a) Medir e registar a altura do cilindro com uma craveira.
 - (b) Fazer um pequeno furo no fundo, bem no centro, passar um fio de nylon, ou uma linha, e fixá-lo com um nó. O fio não deve ter mais de 2 a 3 cm de comprimento.
 - (c) Encher o cilindro de granalha de chumbo e segurar firmemente a tampa.
2. Realizar a montagem conforme o esquema da Fig. 4.
 - (a) Certificar-se que o suporte onde vai ser suspenso o cilindro está bem fixo, de modo a reduzir as vibrações.
 - (b) Colocar a colocar o *Smart Timer* no modo **Time**->**Stopwatch**. Certificar-se que regista o tempo de interrupção do feixe.
 - (c) Alinhar a *photogate* de modo a que, ao cair, o cilindro interrompa o feixe infravermelho do sensor.
 - (d) Colocar espuma, ou uma caixa com areia, no ponto onde cai o cilindro de modo a amortecer a queda e evitar que a tampa salte.
3. Fazer um registo de tempo de passagem para várias alturas de queda.
 - (a) Colocar a *photogate* a cerca de 1 m de distância do ponto de suspensão do cilindro. Medir a distância do plano de altura média do cilindro à *photogate*, h .

- (b) Actuando na mola, deixar cair o cilindro e registar o tempo de passagem na *photogate*. Ter o cuidado de manter o cilindro imóvel antes de o libertar; de outro modo pode rodar na queda e falsear a determinação do tempo de passagem.
- (c) Repetir o passo (b) 3 a 4 vezes para a mesma altura h .
- (d) Variar h , reduzindo por intervalos de 10 a 15 cm, e repetir os procedimentos de (b) e (c).
- (e) Registar os resultados numa tabela semelhante à Tabela 1. Introduzir, na terceira coluna, o valor médio dos tempos registados para cada altura.
4. Calcular a velocidade de queda para cada h .
- (a) Usando o valor médio do tempo de passagem, $t(h)$, para a altura h , calcular a velocidade

$$v(h) = \frac{d_c}{t(h)}.$$

Ter o cuidado de usar unidades SI.

- (b) Representar graficamente $v(h)$ e $v(h)^2$ como função de h .

h/cm	t/ms	$t_{\text{medio}}/\text{ms}$
h_1	t_1	\bar{t}_1
	t'_1	
	t''_1	
h_2	t_2	\bar{t}_2
	t'_2	
	t''_2	
\vdots	\vdots	\vdots

Tabela 1: Tabela dos resultados da experiência

Questões

1. Mostrar que se houver conservação de energia na queda do grave (resistência do ar desprezável) se deve ter

$$\frac{1}{2}mv^2 = mgh$$

ou, resolvendo em ordem a v^2 ,

$$v^2 = 2gh$$

sendo,

- (a) $mv^2/2$ a energia cinética à altura h ;
 - (b) $mgh = -mg(z_f - z_i)$ o simétrico da variação de energia potencial gravítica (h é a altura de queda).
2. Verificar se o gráfico de $v^2(h)$ como função de h confirma esta previsão. Qual é o valor obtido para g ?
 3. O efeito de resistência do ar dará um valor para g por defeito ou por excesso? Justificar.

Actividade A6	Trabalho de forças variáveis		
<i>Descrição</i>	Como calcular trabalho de forças que variam no deslocamento.	Versão	1.0
<i>Autores</i>	Projecto Faraday	Data	1/12/2003

Objectivo

Aprender a calcular trabalho de forças que não são constantes, usando gráficos de força vs deslocamento.

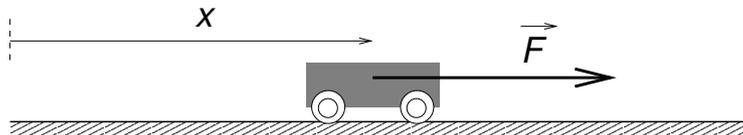


Figura 5: Qual é o trabalho da força F , se esta variar com o deslocamento do carro, x ?

Força constante

Imaginemos um corpo que se desloca ao longo do eixo do xx , sujeito a uma força de módulo F , também na direcção de x . Se o sentido da força é o do semi-eixo positivo de x , dizemos que a sua **componente** segundo x é $F_x = F$. Se o sentido for oposto ao de x , dizemos que $F_x = -F$. No primeiro caso o trabalho da força é

$$w = Fx = F_x x.$$

No segundo caso é

$$w = -Fx = F_x x.$$

Em qualquer dos casos é o produto da **componente** da força no sentido e direcção do deslocamento pelo próprio deslocamento.

Se a força for constante e $F_x > 0$, um gráfico de F_x vs x terá a forma da Fig. 6

O trabalho w é dado pela área do gráfico de F_x em função de x .

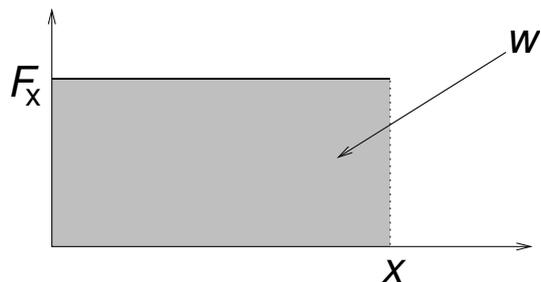


Figura 6: Se a força for constante o trabalho da força é $w = F_x x$: ou seja a área do gráfico de F_x vs x .

Força variável

E se a força não for constante? Consideremos os vários casos (a) a (d) da Fig. 7.

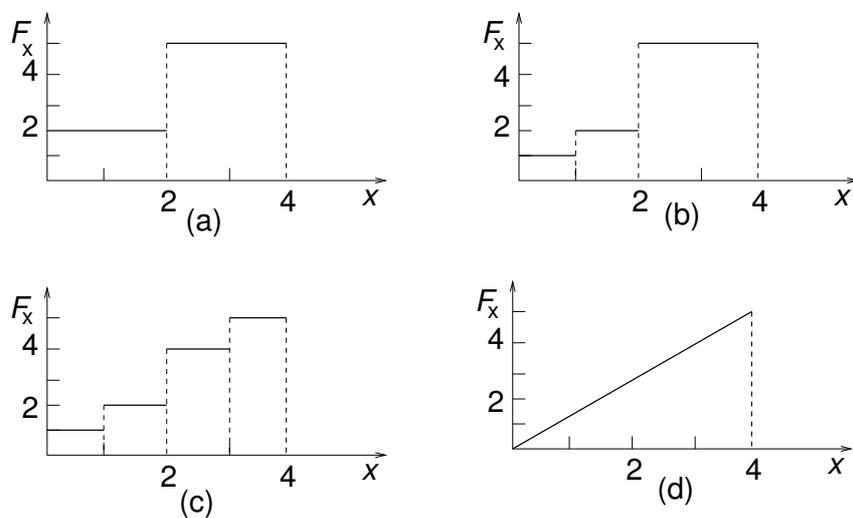


Figura 7: Como calcular o trabalho nestas quatro situações?

i) No caso de (a) qual será o trabalho realizado até ao deslocamento $x = 2$?

E para o deslocamento entre $x = 2$ e $x = 4$? E o trabalho total? Ainda é dado pela área entre o eixo dos xx e o gráfico de $F_x(x)$?

- ii) Podemos calcular o trabalho nos casos (b) e (c), considerando os vários deslocamentos em que a força tem um valor constante. O trabalho total quanto vale? Ainda é igual à área do gráfico de $F_x(x)$?
- iii) No caso (d), que função $F_x(x)$ corresponde ao gráfico representado para $x < 4$?
- iv) Como se calcula o trabalho da força no caso (d)?

Forças opostas ao deslocamento

Quando a força é oposta ao deslocamento, x , o trabalho é $w = -Fx = F_x x$. Um gráfico de F_x em função de x , se F for constante, será como o da Fig. 8.

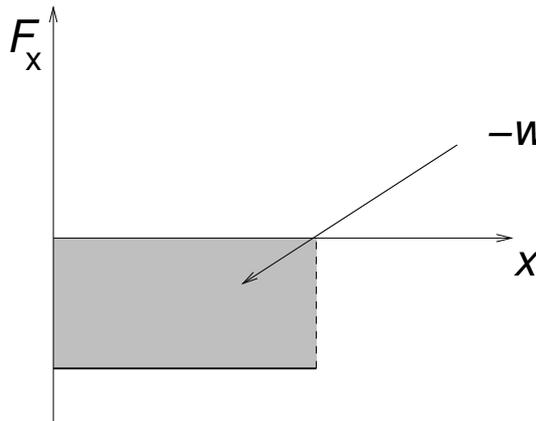


Figura 8: Se $F_x < 0$ o trabalho é o simétrico da área entre o eixo do xx e o gráfico de F_x .

O trabalho da força é agora o simétrico da área contida entre o gráfico de F_x e o eixo do xx . Áreas abaixo do eixo do xx contam com um sinal negativo.

Consideremos agora o caso geral de uma força cujo sentido varia no deslocamento (Fig. 9).

(v) Qual é o valor do trabalho total para a força representada na Fig. 9?

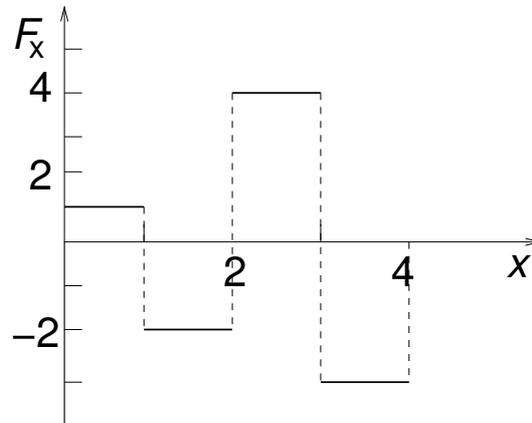


Figura 9: Quanto vale o trabalho total da força no deslocamento entre $x = 0$ e $x = 4$?

Actividade A7	Energia em colisões		
<i>Descrição</i>	Estudo de conservação de energia em colisões entre carros em calha de alumínio	<i>Versão</i>	1.0
<i>Autores</i>	Projecto FARADAY	<i>Data</i>	30/12/2003

Objectivo

Estudo de algumas colisões entre carros em calha de alumínio, no contexto da conservação de energia. Exploração do conceito de centro de massa.

Material

- Dois carros de colisão com magnetos e fixadores de velcro;
- uma calha de alumínio (1, 2 m);
- computador;³
- dois sensores de movimento e interface respectiva;
- software de aquisição.

Nas experiências realizadas no Projecto FARADAY foi usado material PASCO:

- 2 PAScar e calha de alumínio (Ref. ME-9429A);
- 2 sensores de movimento PASport (ref. PS-2103);
- 2 USB-link (ref. PS-2100);
- software DATASudio, (ref. CI-6870C)

³Este conjunto de experiências pode ser levado a cabo com recurso a *photogates* e máscaras de interrupção para medição da velocidade dos carros de colisão, evitando o uso do computador. Os procedimentos terão, naturalmente, que ser adaptados.

Procedimento

A montagem está esquematizada na Fig. 10.

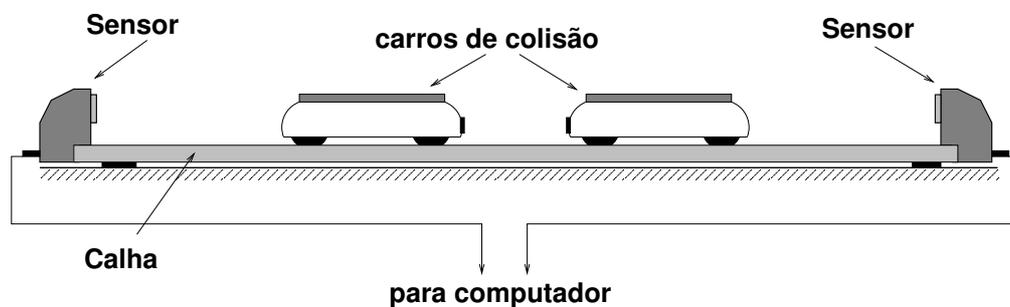


Figura 10: Montagem para estudo de colisões.

Para usar este tipo de equipamento é conveniente começar por familiarizar-se com as instruções do fabricante. Recomendam-se os seguintes cuidados:

- A calha deve estar pousada numa mesa estável e deve ser nivelada para garantir a horizontalidade.
- Os sensores devem ser fixados aos extremos da calha e ligados à interface ou ao computador, conforme instruções do fabricante. A maior parte dos programas de aquisição deverá detectar os sensores ao arrancar.
- Os sensores funcionam por emissão de impulsos de ultra-som e determinação do tempo de atraso do eco. O software de aquisição permite apresentar, na forma gráfica, a distância ao sensor, a velocidade e aceleração do objecto que origina o eco. Nas experiências aqui discutidas só é necessária a representação da velocidade.
- Em geral, é possível especificar o número de medições por unidade de tempo. Para esta experiências convém usar uma taxa de, pelo menos, 20 medições por segundo.
- Quando a montagem estiver pronta, convém iniciar a aquisição (clicando com o rato em botão apropriado) e testar o sistema movimentando os

dois carros. As indicações dos sensores podem ser falseadas por ecos de outros objectos que não os carros (a mão do experimentador, por exemplo).

- Os carros dispõem de magnetos montados numa extremidade de modo a repelirem-se—colisão com magnetos; na outra extremidade têm adesivos de velcro que fazem com que os carros fiquem juntos após uma colisão—colisão com velcro.

Experiências sugeridas

Sugerem-se a seguir 4 tipos de colisão a estudar. Em cada uma deve obter-se, para cada carro, o gráfico de velocidade em função do tempo.

- A. Com um dos carros parado no meio da calha lançar o outro de modo a colidirem sem se tocarem (colisão com magnetos);
- B. Repetir a experiência anterior com os velcros.
- C. Com os carros em extremidades opostas, lançar os carros um contra o outro com velocidades próximas em módulo, de modo a colidirem com as extremidades com magnetos.
- D. Repetir a experiência C com velcros.

A partir dos gráficos de velocidades, calcular, para cada uma destas experiências, as energias cinéticas de cada carro, a energia cinética total, antes e depois das colisões.

Questões Prévias

Questões a considerar antes de realizar as experiências:

1. Se a energia cinética fosse conservada seria possível prever, a partir das velocidades iniciais, as velocidades finais em duas destas experiências. Quais? Porquê?

2. No caso da experiência **D**, em que os carros se movem em conjunto após a colisão, para que lado se movimentam? Será de esperar que haja conservação de energia?
3. O centro de massa do conjunto dos dois carros é o ponto médio entre eles (os carros têm igual massa). Se um dos carros está parado e o outro se desloca Δx , qual é o deslocamento do centro de massa (ver Fig 11)?
4. Se um carro tem velocidade v e o outro está parado, qual é a velocidade do centro de massa?
5. Quando as velocidades dos dois carros têm módulos iguais e sentidos opostos, qual é a velocidade do centro de massa?
6. Se os carros tem velocidades de módulos diferentes, $v_1 > v_2$, e sentidos opostos, em que sentido se desloca o centro de massa? Qual é a sua velocidade?

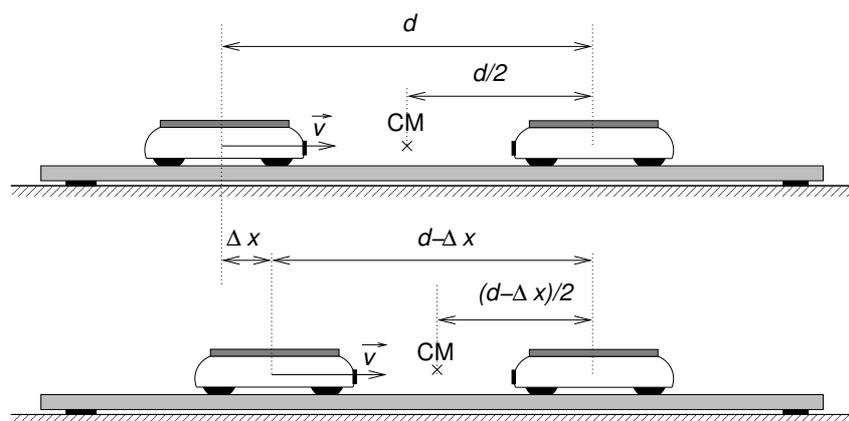


Figura 11: Qual é velocidade do centro de massa, ponto médio entre os dois carros, se um tiver velocidade de módulo v e outro estiver em repouso?

Questões

1. Organizar os resultados com a forma da Tabela 2, em que:

- (a) E_{c1} e E_{c2} são as energias cinéticas de cada carro;
- (b) $E_{ct} = E_{c1} + E_{c2}$ é a energia cinética total;
- (c) $E_{cm} = Mv_{cm}^2/2$ é a energia cinética de translação do sistema de dois carros ($M = 2m$);
- (d) $E' = E_{ct} - E_{cm}$ é a energia cinética de movimento relativo ao centro de massa.
2. Em que colisões se conserva a energia cinética total?
3. Em que colisões se conserva a energia cinética de translação, E_{cm} ?
4. As colisões **B** e **D** são designadas por totalmente inelásticas. Quanto vale E' após a colisão?

Exp.		E_{c1}/J	E_{c2}/J	E_{ct}/J	E_{cm}/J	E'_c/J
A	antes					
	depois					
B	antes					
	depois					
C	antes					
	depois					
D	antes					
	depois					

Tabela 2: Tabela de resultados para análise energética das colisões.

Actividade A8	Colisões inelásticas		
<i>Descrição</i>	Um conjunto de demonstrações, que ilustram transferências de energia em colisões inelásticas.	<i>Versão</i>	1.0
<i>Autores</i>	Projecto FARADAY	<i>Data</i>	22/01/2004

Objectivo

Mostrar que a “perda” de energia cinética em colisões inelásticas é, na realidade, uma transferência de energia do movimento de translação para outros modos de movimento.

Material

- Um carro Ganiel (ver Fig. 12) [4];
- um carro de colisão;
- recipiente de granalha de chumbo que se possa fixa no carro.
- uma calha de alumínio (1, 2 m).

Nas experiências realizadas no Projecto FARADAY foi usado material PASCO:

- 1 PAScar e calha de alumínio (Ref. ME-9429A);

O carro Ganiel foi construído nas oficinas do Departamento de Física da FCUP, pelo Snr. Nuno Pinheiro.

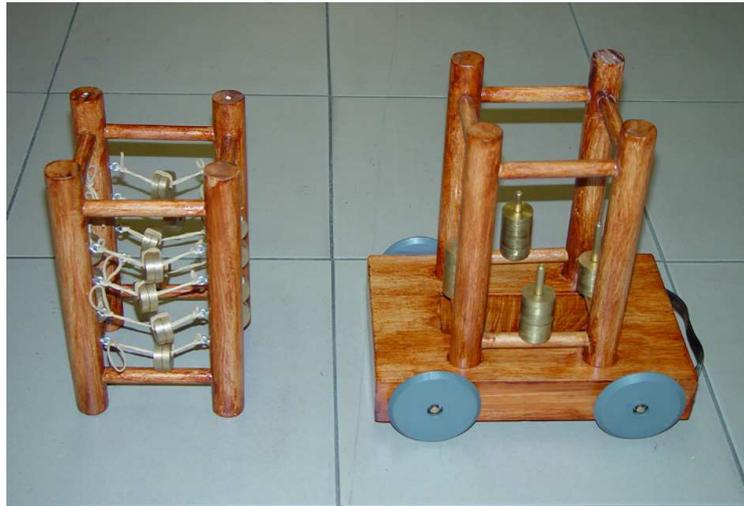


Figura 12: Carro para demonstração de colisões inelásticas. O carro é constituído por uma base com rodas, e dois acessórios, que podem ser montados na base, em alternativa. Têm a mesma massa total, mas, num deles, os discos metálicos podem mover-se relativamente à estrutura de madeira. [4].

Carro “Ganiel”

Procedimento

Numa zona de soalho plano, enviar o carro, com o acessório de discos fixos, a baixa velocidade, contra uma parede rígida, de modo a colidir com o lado que tem a mola metálica. Seguidamente substituir o acessório com discos fixos pelo que tem discos móveis. Repetir a colisão em condições semelhantes.

Questões

1. Na colisão com o segundo acessório (discos móveis), o carro fica quase parado. O que aconteceu à sua energia cinética inicial? Escolher, justificando, uma das seguintes alternativas.
 - (a) Gastou-se.
 - (b) Transferiu-se para a parede.

- (c) Ficou no carro.
2. Numa colisão inelástica, em que a energia cinética dos corpos em colisão diminui, deixa de se verificar conservação de energia?
 3. Se o carro se deslocar com uma velocidade de módulo v , a sua energia cinética é $E_c = mv^2/2$. Será esta a energia cinética total do carro?

Na Calha

Procedimento

1. Dar à calha uma pequena inclinação, levantando um dos extremos de alguns centímetros (2 a 3 cm é suficiente). Colocar o acessório fixo com magnetos no extremo oposto.
2. Registrar a distância d do centro do carro ao batente (usando a fita métrica da calha). Largar o carro e medir a distância que sobe até parar, d' . A distância d deve ser escolhida de modo a que, na colisão, o carrinho não chegue a tocar no batente.
3. Repetir o procedimento anterior depois de colocar a caixa com granalha de chumbo no carro.

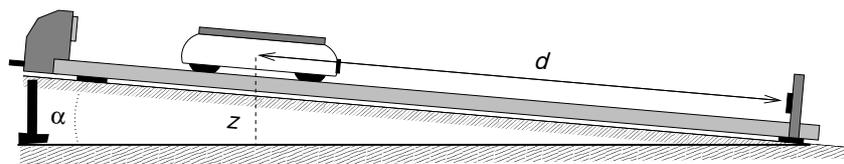


Figura 13: A altura, z , é proporcional à distância d , $z = d \sin \alpha$.

Questões

1. Se a soma das energias cinética ($mv^2/2$) e potencial gravítica (mgz) do carro se conservasse, a que distância d' chegaria o carro?
2. A altura z do centro do carro (ver Fig. 13) é proporcional à distância a que ele se encontra do batente. Se o carro subir a $2/3$ da distância original $d' = 2d/3$, que fracção da sua energia inicial terá sido transferida, na colisão e por causa do atrito, para outros movimentos?
3. Calcular as fracções da energia inicial dissipadas em atrito e nas colisões com o batente, nas experiências feitas com e sem a granalha de chumbo.

Actividade A9	Aquecimento com varinha mágica		
<i>Descrição</i>	Aquecimento de água por realização de trabalho.	<i>Versão</i>	1.0
<i>Autores</i>	Projecto FARADAY	<i>Data</i>	20/09/2003

Objectivo

Usando um vulgar utensílio de cozinha, mostra-se como é possível aumentar a temperatura de uma massa de água, por realização de trabalho.

Material

- Uma varinha mágica (acessório de cozinha);
- um termómetro (resolução 0,1 K);
- um recipiente plástico com água, ou glicerina;
- um cronómetro.

Procedimento

- Colocar cerca de 300 g de água, ou glicerina, num recipiente de plástico.
- Introduzir o termómetro e a varinha mágica no líquido (sem a ligar) e registar a temperatura de 10 em 10 s.
- Ao fim de dois ou três minutos, ligar a varinha durante mais alguns minutos. Registar o instante em que foi ligada a varinha. Continuar a registar a temperatura. Manter a varinha ligada até que a temperatura suba pelo menos 1 °C. Registar o instante em que foi desligada, definitivamente, a varinha.

- Depois de desligada definitivamente a varinha, mantê-la imersa no líquido e continuar a registar a temperatura durante dois a três minutos.
- Fazer um gráfico da variação de temperatura em função do tempo. Ter o cuidado de escolher a escala de temperatura de modo a que a variação máxima de temperatura, medida na experiência, não seja muito menor que a variação total da escala. Por exemplo, se a temperatura da água variou entre $20,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $22,3\text{ }^{\circ}\text{C}$, a escala do gráfico poderá estar entre $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $23\text{ }^{\circ}\text{C}$. Assinalar no gráfico os instantes em que foi ligada e desligada a varinha.

Questões

1. Escrever um pequeno texto, discutindo as variações de temperatura nas três fases da experiência:
 - (a) antes de ligar a varinha;
 - (b) durante a agitação da água;
 - (c) após desligar a varinha.
2. A energia da água aumenta devido à agitação pelas pás da varinha? Há trabalho realizado pelas pás da varinha sobre a água?
3. Depois da agitação, quando a água fica parada, a energia da água é a mesma que no início da experiência? Se variou, em que propriedade física se manifestou a variação?

Actividade A10	Misturas de água a diferentes temperaturas		
<i>Descrição</i>	Misturam-se massas de água a diferentes temperaturas e, invocando conservação de energia, interpreta-se o valor da temperatura final.	<i>Versão</i>	1.0
<i>Autores</i>	Projecto FARADAY	<i>Data</i>	20/01/2003

Objectivo

Quando se misturam massas de água a temperaturas diferentes, o que determina a temperatura final? Nesta experiência, pretende-se responder a esta pergunta, usando a ideia de conservação de energia e tentando relacionar variações de energia e de temperatura.

Material

- Dois gobelés de vidro (250 ml);
- disco de aquecimento;
- termómetro de resolução 0,1 K;
- balança.

Descrição

Pretende-se estudar os factores que determinam a temperatura final da mistura de duas porções de água, com temperaturas iniciais diferentes. Para isso, sugere-se aquecer uma massa de água m_1 , até uma temperatura T_1 , entre 40

e 60 °C, e misturá-la com uma massa m_2 à temperatura ambiente, T_2 . Em cada ensaio deve determinar-se a temperatura final da mistura. Sugerem-se os seguintes valores para as massas m_1 e m_2 : 100 g, 200 g, 300 g.

Procedimento

1. Começar por planear a experiência:
 - (a) Que valores de massas m_1 e m_2 vão ser usados?
 - (b) Que procedimento vai ser usado para medir as massas de m_1 e m_2 ?
 - (c) Quantos ensaios vão ser feitos?
 - (d) Como vai ser feita a mistura? Vertendo a água quente sobre a água à temperatura ambiente ou ao contrário?
2. Preparar uma tabela para registar, para cada ensaio, os valores de m_1 , m_2 , T_1 , T_2 e T_f . Incluir na tabela uma coluna para o cálculo das variações de temperatura de cada porção de água, $\Delta T_1 \equiv T_f - T_1$ e $\Delta T_2 \equiv T_f - T_2$.
3. Realizar os ensaios planeados. Registar os resultados.

Questões

1. Estudar e tentar compreender a tabela de resultados. Ilustrar as respostas às seguintes perguntas, usando os resultados obtidos nas experiências.
 - (a) Nos ensaios em que as massas são iguais, $m_1 = m_2$, que valor se espera para T_f (em função dos valores iniciais T_1 e T_2)? Os resultados confirmam esta expectativa?
 - (b) Quando se misturam duas massas diferentes, qual delas tem maior variação de temperatura, em valor absoluto? A maior ou a menor massa?

- (c) Que relação há entre as massas e as variações de temperatura? São proporcionais ou inversamente proporcionais?
- (d) Verificar se os resultados experimentais são compatíveis com a seguinte relação:

$$\frac{T_f - T_1}{T_f - T_2} = -\frac{m_2}{m_1} \quad (4)$$

2. Se as variações de temperatura de cada massa são diferentes, serão diferentes as respectivas variações de energia (em valor absoluto)?
3. A Eq. 4 pode escrever-se na forma:

$$m_1\Delta T_1 + m_2\Delta T_2 = 0.$$

Mostrar que esta relação exprime a lei de conservação de energia, se admitirmos que a variação de energia de uma massa de água é dada por

$$\Delta E = cm\Delta T, \quad (5)$$

em que c é uma constante que não depende, nem da massa, m , nem da variação de temperatura, ΔT .

Admitindo os resultados das Eqs. 4 e 5, responder às seguintes questões:

4. A temperatura de uma massa de água colocada num disco de aquecimento, durante 20 minutos, sobe de 40 K. Qual será a variação de temperatura de uma massa dupla da inicial, no mesmo disco, no mesmo tempo? E se a massa for metade da inicial?
5. Uma massa m de água é aquecida da temperatura ambiente 20 °C até 80 °C. Uma massa dupla da anterior ($2m$) é aquecida de 20 °C até 60 °C. Em qual dos casos foi maior a energia recebida? Porquê? A que temperatura estará a massa $2m$, quando tiver recebido a mesma quantidade de energia que a massa m ?

Actividade A11	Capacidade térmica mássica de dois metais		
<i>Descrição</i>	Determinação da capacidade térmica de dois cilindros de Cu e Al por imersão em água.	<i>Versão</i>	1.0
<i>Autores</i>	Projecto FARADAY	<i>Data</i>	20/09/2003

Objectivo

Nesta experiência põe-se em evidência um argumento de balanço energético e consolida-se a distinção entre energia e temperatura através da introdução do conceito de capacidade térmica.

Material

- Dois gobelés de vidro de 250 ml;
- um disco de aquecimento;
- dois cilindros maciços de cobre e alumínio de igual massa;
- um termómetro de resolução 0,1 K;
- uma balança.

Explicação

Ao mergulhar um cilindro metálico quente em água à temperatura ambiente, obtém-se um aumento de temperatura da água, resultante de uma transferência de energia do cilindro para a água. Ao fim de algum tempo a temperatura

fica quase estacionária, o que significa que o cilindro e a água estão à mesma temperatura. A variação de energia do cilindro, ΔE_c , pode então ser calculada, medindo a variação de energia da água, ΔE_a . Deverão ser simétricas, se não houver trocas de energia com o ambiente. Porquê?

Usando dois cilindros de materiais diferentes com a mesma massa, pretende-se investigar em que medida a variação de energia depende, não apenas da massa e da variação de temperatura, mas também do material.

Descrição

É colocada num gobelé uma massa de água suficiente para cobrir completamente cada um dos cilindros. Essa massa, m_a , é medida com a balança. É registada a temperatura (ambiente) correspondente, T_1 . No outro gobelé é aquecida uma massa de água também suficiente para imergir cada um dos cilindros. O cilindro, de massa m_c , é colocado na água quente e a respectiva temperatura, T_2 , registada depois de a temperatura do sistema estabilizar (convém retirar o gobelé do disco ou desligar este). O cilindro é, então, transferido rapidamente para o outro gobelé e é registada a temperatura final da água, T_f , depois de estabilizada.

Questões Prévias

Antes de realizar esta experiência é conveniente reflectir nas seguintes questões:

1. Supondo que todos os parâmetros (massas e temperaturas T_1 e T_2) são idênticos para os dois cilindros, serão idênticas as temperaturas finais?
2. Que significado terá obter um T_f maior para um dos cilindros, na situação da alínea anterior?
 - (a) A sua temperatura variou mais ou menos que a do outro cilindro?
 - (b) Passou mais ou menos energia para a água?

- (c) A mesma variação de temperatura para os dois cilindros corresponderá à mesma variação de energia?

3. A variação de energia de cada cilindro tem a forma

$$\Delta E = cm\Delta T$$

em que c é a capacidade térmica mássica, m a massa e ΔT a variação de temperatura. Para o mesmo valor dos outros parâmetros, um c maior implica uma temperatura final maior ou menor?

4. Se, em vez dos cilindros, usássemos uma massa de água idêntica, à mesma temperatura T_2 , como poderia ser calculada a temperatura final?

Procedimento

1. Planear a experiência com base na descrição acima:
 - (a) Que massas de água são suficientes para imergir os cilindros?
 - (b) Até que temperatura será aquecida a água?
 - (c) Quantos ensaios serão feitos para cada cilindro? Será útil variar a temperatura inicial da água quente, de ensaio para ensaio?
 - (d) Como será medida a massa de água onde vão ser imersos os cilindros? Será necessário conhecer a massa da água quente?
 - (e) Como serão transferidos os cilindros? Tê-los suspensos por uma linha de costura é uma técnica eficaz para os movimentar rapidamente sem lhes tocar.
2. Aplicando o princípio de conservação de energia à interacção entre cada cilindro e a água obter a relação

$$c_c m_c (T_f - T_2) = -c_a m_a (T_f - T_1)$$

em que c_c e c_a são as capacidades térmicas do cilindro e da água, respectivamente. Obter a seguinte expressão

$$\frac{c_c}{c_a} = \frac{m_a}{m_c} \times \frac{T_f - T_1}{T_2 - T_f}.$$

3. Medir e registar a massa dos cilindros e da água.
4. Realizar a experiência de acordo com o planeado. Registar as temperaturas dos cilindros na água quente e a temperatura final do sistema (com o cilindro imerso em água à temperatura ambiente). Determinar as capacidades térmicas mássicas dos dois cilindros em $\text{cal g}^{-1} \text{K}^{-1}$.

Questões

1. Por que é importante ser rápido a transferir o cilindro da água quente para a fria?
2. Se o fizermos muito lentamente, que parâmetro da experiência terá sido medido, muito provavelmente, com um erro elevado?
3. Este erro dará origem a um erro na medição da capacidade térmica mássica do cilindro por excesso ou por defeito?
4. Se usarmos água muito quente (70 ou 80 °C), os resultados serão idênticos? Obteremos a mesma capacidade térmica mássica, para os cilindros?
5. Será melhor inverter o processo? Transferir o cilindro à temperatura ambiente para a água quente?

Actividade A12	Calor latente de fusão do gelo		
<i>Descrição</i>	Determina-se o calor latente de fusão do gelo pelo método de misturas.	<i>Versão</i>	1.0
<i>Autores</i>	Projecto Faraday	<i>Data</i>	08/02/2003

Objectivo

Após o estudo da mistura de massas de água líquida a diferentes temperaturas, considera-se, nesta actividade, o balanço energético na mistura de duas massas de água que se encontram em estados físicos diferentes. Por comparação com o caso anterior, obtém-se o valor do calor latente de fusão do gelo como o termo em falta no balanço energético.

Material

- Sensor de temperatura (ou termómetro), resolução 0,1 K;
- um calorímetro (ou uma garrafa térmica);
- uma rolha perfurada para permitir inserir a ponta de prova do sensor ou do termómetro digital no interior da garrafa;
- balança.

Problema

Temos uma tina com água e gelo em contacto. Retiramos uma certa massa m_1 de água e juntamos a uma massa m_2 de água, noutra recipiente, à temperatura

ambiente. A mistura arrefece até uma temperatura T_f , que aprendemos a calcular na Actividade A10.

Se, em vez de água, retirarmos da tina uma massa igual de gelo, e a juntarmos à mesma quantidade de água no segundo recipiente, a temperatura final é muito menor que no caso anterior. Porquê? Será que o gelo está a uma temperatura inferior à da água em que estava mergulhado? Ou haverá outra razão?

Temperatura do gelo fundente

Nesta primeira parte, vamos verificar que a água e o gelo podem coexistir à mesma temperatura de $0\text{ }^\circ\text{C}$.

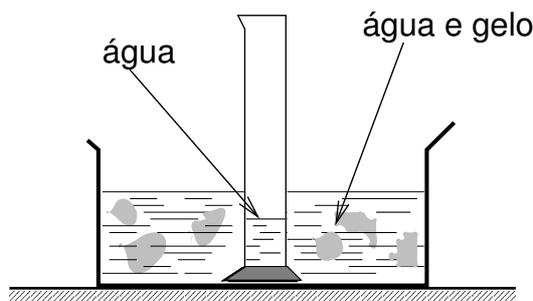


Figura 14: Qual das temperaturas será menor? T_1 , água líquida, ou T_2 , água e gelo?

1. Colocar algum gelo com água numa tina durante alguns minutos.
2. Retirar da tina um pouco de água, para um tubo de ensaio ou proveta.
3. Mergulhar o tubo na tina, de modo a que a água no interior do tubo fique alguns centímetros abaixo do nível da água na tina. Esperar alguns minutos.
4. Com um termómetro, medir a temperatura da mistura de água e gelo na tina e da água no interior do tubo de ensaio.

A que temperatura está a água no interior do tubo de ensaio? Serão diferentes a temperatura da água e do gelo na tina?

Mistura de água e gelo

Na segunda parte da experiência veremos que é necessário fornecer energia para mudar o estado físico da água, de sólido para líquido, apesar de a temperatura não variar.

Procedimento

1. Preparar numa tina uma mistura de alguns cubos de gelo com água. Esperar pelo menos 10 minutos para a temperatura estabilizar, a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$.
2. Verter para uma garrafa térmica cerca 200 g de água à temperatura ambiente. Medir a massa de água m_1 e inserir o termómetro para registar a temperatura. Esperar até esta estabilizar e registá-la (T_a).
3. Retirar da tina dois ou três cubos de gelo. Secá-los em papel e medir a respectiva massa, m_2 . Inserir na garrafa térmica e tapá-la, deixando a ponta de prova do termómetro digital em contacto com a mistura de água e gelo. Registar a temperatura de 10 em 10 segundos, até esta estabilizar. Registar a temperatura final, T_f .

Questões

Consideremos as duas situações da Fig. 15. O caso *A* corresponde à experiência realizada. O caso *B* é semelhante à experiência realizada na Actividade A10. Supõe-se que a garrafa térmica tem a mesma quantidade inicial de água, à mesma temperatura, e que a massa de água introduzida é igual à massa de gelo e está também a uma temperatura de $0\text{ }^{\circ}\text{C}$.

1. Para o caso *B*, qual teria sido a temperatura final, T_2 ? Seria maior ou menor do que a obtida nesta experiência?
2. Qual é a diferença de energia entre as duas situações finais, *A* e *B*? (Usar os valores da experiência para o caso *A* e o valor de T_2 , da alínea anterior, no caso *B*).

3. Se os sistemas puderem ser considerados isolados, qual é a diferença de energia entre os *estados iniciais*, nos casos *A* e *B*? A que se deve essa diferença?
4. Calcular a energia necessária para passar a massa m_1 de gelo para o estado líquido a 0°C .
5. Chama-se calor de fusão do gelo, e_F , à energia necessária para fundir a unidade de massa de gelo. Dos resultados desta experiência, que valor se obtém para e_F em cal g^{-1} ?
6. Por que é importante secar o gelo, antes de medir a respectiva massa? Que erro se comete na medição de e_F , se o gelo estiver molhado?

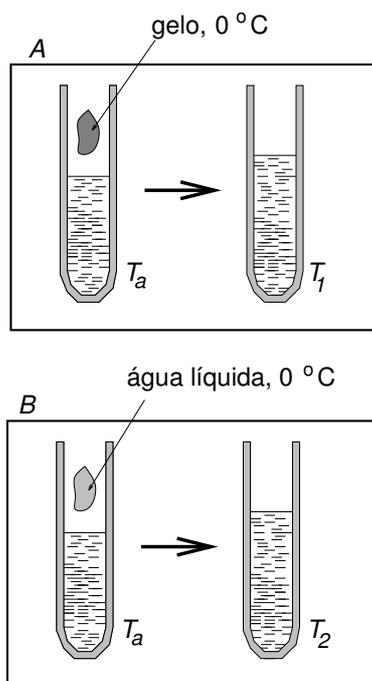


Figura 15: Se o gelo, (A), e a água, (B), introduzidos na garrafa térmica, têm a mesma massa e temperatura, como se explica que as temperaturas finais sejam diferentes?

Actividade A13	Proporcionalidade directa		
<i>Descrição</i>	Reflexão sobre a relação de proporcionalidade directa e suas consequências.	Versão	1.0
<i>Autores</i>	Projecto FARADAY	<i>Data</i>	8/4/2004

Objectivo

Fazer uma reflexão sobre o conceito de proporcionalidade directa e as consequências da existência de uma tal relação entre grandezas físicas. Fazer uma chamada de atenção ao significado e limitações da chamada “regra de três”.

O Problema

Quantas vezes não encontramos já, em Física e em todas as disciplinas, frases como:

- A massa de um corpo de uma dada substância é proporcional ao seu volume.
- A energia consumida numa lâmpada é proporcional ao tempo em que está ligada.
- A variação de energia de um determinado corpo é proporcional à sua variação de temperatura.

E quantas vezes, também, encontramos definições como:

- Massa volúmica de uma substância é a sua massa por unidade de volume.
- A potência é a energia consumida por unidade de tempo.

- A capacidade térmica de um corpo é a sua variação de energia por grau kelvin.

O que querem dizer estas afirmações e que consequências podemos retirar delas? São todas muito parecidas. Será possível tirar conclusões gerais que se apliquem em todos os casos? São questões como esta que vamos discutir nesta actividade.

Exemplo

Usar uma regra de três para responder à questão seguinte:

A massa de um bloco de cobre de 5 cm^3 de volume é de 44,5 g. Qual é a massa de 2 cm^3 ?

Qual foi o valor obtido?

Considerar agora a mesma questão com uma ligeira modificação:

A massa de um bloco de cobre de 5 cm^3 de volume é de 44,5 g. Qual é a massa de $V \text{ cm}^3$?

Tudo o que há a fazer é repetir a “regra de três” com 2 substituído por V :

$$\begin{array}{l} 5 \longleftrightarrow 44,5 \\ V \longleftrightarrow x \end{array} \quad (6)$$

de onde tiramos

$$x = \frac{V \times 44,5}{5}. \quad (7)$$

O valor 44,5 g é a massa de 5 cm^3 . A incógnita x é a massa de um volume V . Isto é, a massa é uma função do volume. Então, por que não usar a notação

matemática usual para funções e designar por $m(V)$ a massa de um volume V ? Assim sendo:

$$\begin{aligned}x &= m(V) \\44,5 &= m(5).\end{aligned}\tag{8}$$

O que nos diz a regra de três? Fazendo a substituição $x = m(V)$ e $44,5 = m(5)$ na Eq. 7

$$m(V) = \frac{V \times m(5)}{5} = V \times \frac{m(5)}{5}.\tag{9}$$

Ou seja

$$m(V) = V \times \frac{44,5}{5} = 8,9 \times V\tag{10}$$

ou, ainda,

$$\frac{m(V)}{V} = 8,9.\tag{11}$$

Mas não dissemos quanto era V . Pode tomar qualquer valor. Podemos, pois, concluir que a relação acima indicada define a função $m(V)$

$$m(V) = 8,9 \times V.\tag{12}$$

O valor de 8,9 foi obtido da razão $m(5)/5$ porque foi a massa de um volume de 5 cm^3 que foi especificada nos dados do problema. Quaisquer outros valores de volume e da massa correspondente, $m(8)/8$, $m(0.1)/0.1$, etc., dariam exactamente a mesma constante, pois a Eq. 11 implica, precisamente, que a razão é a mesma qualquer que seja o volume, V .

Resolução sem regra de três

Vejamos um método alternativo à regra de três. Como massa e volume são proporcionais, podemos escrever imediatamente a relação correspondente:

$$m(V) = \text{const} \times V = k \times V.$$

O enunciado do problema apresenta o valor de m para $V = 5$. Isto é:

$$m(5) = 44,5 = k \times 5.$$

Esta relação fixa o valor da constante k :

$$k = \frac{44,5}{5} = 8,9.$$

Voltamos a obter a Eq. 12, que nos permite determinar a massa correspondente a qualquer volume e vice-versa. Este método de solução pode facilmente ser adaptado para problemas semelhantes, mas em que as grandezas não estejam relacionadas por uma proporcionalidade directa.

Exercícios 1

Para as seguintes perguntas identificar a variável independente (equivalente a V , no exemplo acima), a variável dependente (equivalente a m) e escrever a relação funcional correspondente (equivalente à Eq. 12). Calcular a resposta às perguntas, usando essa relação e o método habitual da “regra de três”.

1. Uma lâmpada ligada 2 horas gasta uma energia de 7×10^5 J. Quanto gasta em hora e meia?
2. Uma torneira verteu, para um tanque, de 250 litros de capacidade, 2,4 litros no primeiro minuto. Quanto tempo demorou a encher o tanque?
3. São necessárias 50 cal para subir de 10 K a temperatura de 25 g de cobre. Que energia é necessária para uma variação de temperatura de 3,5 K?
4. A Terra demora um ano a descrever um ângulo de 360° , na sua órbita em torno do Sol. Que ângulo descreve num dia?

A constante de proporcionalidade

Vimos acima que a proporcionalidade entre massa e volume de um corpo de uma dada substância significa que a razão $m(V)/V$ é uma constante indepen-

dente do valor de V :

$$\frac{m(V)}{V} = \text{const.}$$

O valor da constante é o mesmo para todos os corpos feitos de cobre; ou seja, caracteriza a substância “cobre”. Chama-se a massa volúmica do cobre. Para a representar é costume usar a letra ρ . Então a relação entre a massa e o volume de um corpo de uma dada substância é

$$m(V) = \rho V$$

em que ρ é a massa volúmica da *substância*. Há dois pontos importantes a salientar:

- a) Os valores numéricos de V e m dependem das unidades usadas. Logo o valor da constante $\rho = m(V)/V$ também depende. Se as unidades de m são kg e de V m^3 , a unidade de ρ é o kg m^{-3} .
- b) A constante de proporcionalidade tem um valor numérico igual ao da massa de um volume unitário ($V = 1$):

$$m(1) = \rho \times 1 = \rho.$$

Por isso a designamos por massa por unidade de volume.

Exercícios 2

5. Para as questões da secção **Exercícios 1**, determinar os valores e unidades das constantes de proporcionalidade. Como são habitualmente designadas as constantes de proporcionalidade nas questões 1 e 3?
6. A intensidade de corrente eléctrica que passa numa resistência é a carga por unidade de tempo que a atravessa. A unidade SI de carga é o coulomb e de corrente o $\text{ampere} = \text{coulomb s}^{-1}$. Que carga passa em um minuto numa resistência em que a corrente é de 1 mA ?

7. Fazer um gráfico de $m(V)$ em função de V para diferentes corpos de cobre. Usar como valores para $V = 1, 2, 3, 4 \text{ cm}^3$ e representar a massa em g. Que aspecto tem o gráfico? A origem $(0, 0)$ faz parte do gráfico de $m(V)$ em função de V ? Que relação tem o declive com a massa volúmica?

Um aviso

Antes de prosseguir, responder à pergunta:

Um corpo com uma velocidade de 5 m s^{-1} tem uma energia cinética de 125 J. Com uma velocidade de 10 m s^{-1} , qual é a respectiva energia cinética?

a) 250 J

b) 500 J

(virar a página só depois de responder)

Quem deu resposta **a)** provavelmente usou a regra de três. A resposta correcta é **b)**. Por que está errada a resposta dada pela regra de três?

Consideremos a expressão de energia cinética

$$E = \frac{1}{2}mv^2.$$

Como temos o mesmo carro nas duas situações, a massa não varia. Podemos considerar a energia como função da velocidade:

$$E(v) = \frac{1}{2}m \times v^2.$$

Esta função tem a forma

$$E(v) = \text{const} \times v^2.$$

Não é uma relação de proporcionalidade directa. A razão $E(v)/v$ não é constante, depende da velocidade v .

$$\frac{E(v)}{v} = \text{const} \times v$$

A “regra de três”, aplicada a E e v , não é válida, pois, como vimos acima, ela é equivalente a afirmar que a razão $E(v)/v$ é constante, o que não é verdade. Por isso vale a pena gravar este aviso:

A regra de três simples só pode ser aplicada a pares de grandezas x, y que tenham uma relação de proporcionalidade directa da forma

$$y = \text{const} \times x$$

Eis um raciocínio possível e correcto que dá a resposta **b)**.

$$E(5) = \text{const} \times 5^2 = 125$$

$$E(10) = \text{const} \times 10^2.$$

Como $10 = 2 \times 5$,

$$E(10) = \text{const} \times (2 \times 5)^2 = \text{const} \times 2^2 \times 5^2 = 4 \times \text{const} \times 5^2.$$

Mas $E(5) = \text{const} \times 5^2$ e, portanto,

$$E(10) = 4 \times E(5) = 500 \text{ J}.$$

Embora pudéssemos calcular a constante (vale $125/5^2$), isso não foi necessário.

Actividade A14	Trabalho eléctrico e fusão do gelo		
<i>Descrição</i>	Interpreta-se a variação de temperatura de uma mistura de água e gelo aquecida electricamente.	<i>Versão</i>	1.0
<i>Autores</i>	Projecto FARADAY	<i>Data</i>	9/04/2004

Objectivo

Partindo dos resultados de uma experiência de aquecimento eléctrico de uma mistura de água e gelo, determina-se o calor de fusão do gelo e a capacidade térmica mássica da água.

Descrição

A experiência cujos resultados se pretendem interpretar nesta actividade foi feita do seguinte modo:

Numa garrafa térmica, previamente arrefecida, colocaram-se:

- 203 g de água líquida a uma temperatura de 0 °C (tirada de uma tina com água e gelo).
- 54 g de gelo.

Na garrafa estava colocada uma resistência eléctrica, ligada a uma fonte de alimentação, e um sensor de temperatura.

Durante cerca de três horas passou-se uma corrente de $I = 0,49 \text{ A}$, com uma diferença de potencial (ddp) $V = 4,95 \text{ V}$, na resistência. Os valores de corrente e ddp foram mantidos constantes durante toda a experiência. O registo de temperatura da mistura está representado no gráfico da Fig. 16⁴.

⁴Experiência realizada por Manuel Joaquim Marques

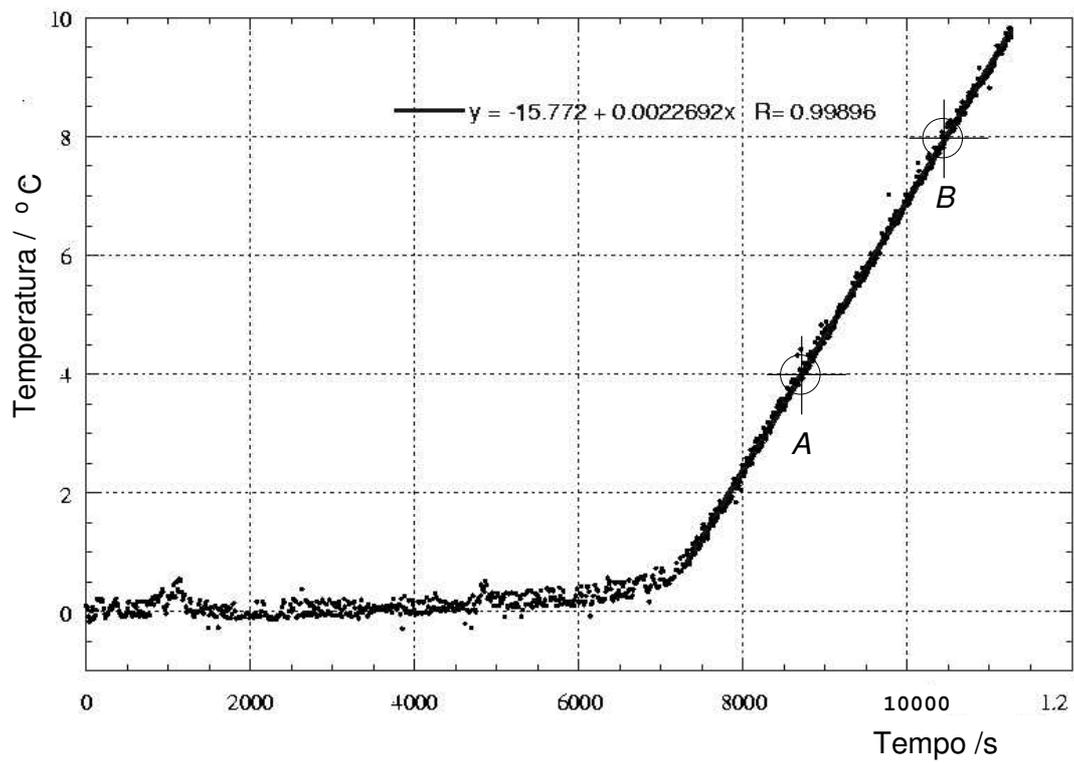


Figura 16: Resultados de uma experiência de aquecimento eléctrico de uma mistura de água e gelo.

Questões

1. Qual é o valor de potência eléctrica dissipada na resistência?
2. Nos resultados são visíveis dois regimes: até cerca de $t = 7000 \text{ s}$, a temperatura quase não varia. Depois a temperatura sobe no tempo de forma linear (o gráfico é uma linha recta).
 - (a) O que poderá explicar esta observação? Qual deverá ser a temperatura da mistura enquanto houver gelo?
 - (b) A temperatura não aumentou nos primeiros 7000 s; o que aconteceu à energia que foi fornecida ao sistema?
 - (c) Usando o valor de potência calculada na questão 1, determinar a energia fornecida pelo gerador nos primeiros 7000 s da experiência.
 - (d) Determinar o calor de fusão por unidade de massa do gelo.
3. Na segunda parte da experiência, a temperatura da água aumenta no tempo. No gráfico estão marcados dois pontos sobre a recta de aquecimento com coordenadas (**tempo**, **temperatura**) dadas por:

$$A \rightarrow (8,75 \times 10^3, 4,0); \quad B \rightarrow (10,5 \times 10^3, 8,0).$$

- (a) Qual foi a energia fornecida pelo gerador ao sistema no intervalo de tempo entre A e B ?
 - (b) A temperatura da água no mesmo intervalo de tempo variou de $\Delta T = 8 - 4 = 4^\circ\text{C}$. Quanto vale a capacidade térmica mássica da água em $\text{J kg}^{-1}\text{K}^{-1}$?
 - (c) Quanto vale uma caloria em joule?
4. Durante a experiência há algumas trocas de energia com o exterior, pois a garrafa térmica não oferece um isolamento perfeito. A temperatura ambiente foi sempre superior à da água.

- (a) Que sinal tem a troca de energia com o exterior? É o sistema que cede energia ao exterior ou ao contrário?
- (b) A energia recebida pela água é maior ou menor do que a que calculámos nas questões 2 e 3? Os valores obtidos para o calor de fusão do gelo e capacidade térmica mássica da água têm um erro por defeito ou por excesso?

Actividade A15	Rendimento de uma lâmpada de incandescência		
<i>Descrição</i>	Quantifica-se um termo de balanço energético correspondente à radiação, num sistema com uma lâmpada imersa em água.	Versão	1.0
<i>Autores</i>	Projecto Faraday	<i>Data</i>	13/04/2003

Objectivo

Nesta experiência usa-se o aquecimento de uma massa de água para comparar a energia transferida para a água por uma lâmpada imersa em duas situações: **A)** luz emitida pela lâmpada sai do sistema; **B)** a luz é retida no sistema. Esta comparação permite medir o rendimento da lâmpada.

Material

- Um calorímetro transparente com lâmpada (gobelé de vidro e tampa com uma lâmpada);
- uma balança;
- uma fonte de alimentação (12 V, 2 A);
- um termómetro;
- um cronómetro;
- dois multímetros;
- um interruptor e fios de ligação;
- papel de alumínio;
- água.

Descrição

O calorímetro transparente, usado nesta experiência, está representado na Fig. 17. Faz-se passar uma corrente pela lâmpada imersa em água, durante um tempo determinado, em duas situações diferentes:

- A. Com a lâmpada envolvida em papel de alumínio.
- B. Com a lâmpada descoberta.

Na situação **B**, como o calorímetro é transparente, uma parte importante da luz emitida pela lâmpada sai para o ambiente circundante. Na situação **A**, com a lâmpada tapada, isso não acontece (ou acontece em muito menor grau). A pergunta a que se quer responder é se conseguimos medir a quantidade de energia correspondente à radiação que fica retida no calorímetro na situação **A**.

Procedimento

A montagem está esquematizada na Fig. 17.

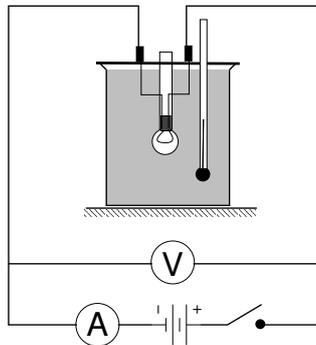


Figura 17: Calorímetro com lâmpada de incandescência.

- a) Colocar no gobelé uma ou duas pedras de gelo e água suficiente para cobrir completamente a lâmpada.

- b) Introduzir o termómetro na tampa e mergulhar a lâmpada, previamente envolvida numa película de folha de alumínio, na água (situação **A**).
- c) Aguardar o tempo necessário para fundir o gelo *completamente* e ter uma temperatura de cerca de 2°C a 3°C inferior à temperatura ambiente. Registrar o valor da temperatura da água, T_i .
- d) Após se ter controlado a potência eléctrica a debitar pela fonte (d.d.p. $\approx 12,0\text{ V}$), fechar o circuito, até a água atingir uma temperatura de 2 a 3°C acima da ambiente. Convém agitar a água durante o aquecimento para que toda a água tenha a mesma temperatura (temperatura uniforme). Registrar a corrente I e diferença de potencial V , de modo a poder determinar a energia fornecida pela fonte de alimentação⁵. Registrar o tempo decorrido, Δt , e interromper a passagem de corrente.
- e) Aguardar o tempo necessário para que a temperatura da água estabilize (pode continuar a subir ligeiramente, se a temperatura não for uniforme) e registar o seu valor, T_f .
- f) Finalmente, mantendo as mesmas condições, repetir todo o procedimento descrito, mas sem envolver a lâmpada com a folha de alumínio. Deve ter-se o cuidado de deixar o papel de alumínio dentro da água, para não variar o conteúdo do calorímetro (situação **B**).

Questões

1. Calcular a potência eléctrica fornecida à lâmpada durante a experiência, $P = VI$. Se os valores de V e I variaram ligeiramente, a potência média pode ser calculada fazendo a média dos valores de potência registados de minuto a minuto.
2. Registrar os resultados num quadro como a Tabela 3.

⁵Se estes valores variarem ligeiramente durante a experiência, pode ser necessário registar os respectivos valores de minuto a minuto.

		P/W	$m_{\text{água}}/g$	$\Delta t/s$	$T_0/^{\circ}C$	$T_f/^{\circ}C$	$\Delta T/K$
A	c/ alum.						
B	s/ alum.						

Tabela 3: Quadro de registo de resultados desta experiência.

3. Calcular, para as duas situações **A** e **B**, as seguintes energias:

(a) A energia cedida pela fonte de alimentação durante o aquecimento:

$$\Delta E_t = P \Delta t$$

(b) A energia correspondente à variação de temperatura da água

$$\Delta E_a = c_a m_a \Delta T$$

$$(c_a = 4,18 \times 10^3 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}).$$

4. Calcular, nas duas situações **A** e **B**, a energia transferida para o ambiente.

Questões

1. Em qual das situações, **A** ou **B**, foi superior a quantidade de energia cedida para o exterior? O que poderá explicar essa diferença?

2. Designemos por E_{rad} a energia transferida para o exterior como radiação visível e E_{perdas} a restante. Calcular o termo E_{rad} para o caso **B**, supondo que:

(a) E_{perdas} tem o mesmo valor nas situações **A** e **B**;

(b) na situação **A**, em que a lâmpada está coberta, $E_{\text{rad}} = 0$.

3. Calcular o rendimento da lâmpada, η ,

$$\eta = \frac{E_{\text{rad}}}{P\Delta t},$$

isto é, a fracção de energia fornecida à lâmpada que aparece como radiação visível (luz).

4. Por que é que se teve o cuidado de baixar a temperatura inicial da água, de cerca de metade da variação total, introduzindo um pouco de gelo?
5. Por que é que o papel de alumínio deve ficar no calorímetro, no segundo aquecimento?
6. Se o papel de alumínio retiver radiação infravermelha, o cálculo feito acima estima o rendimento de produção de radiação visível por excesso ou por defeito?
7. A hipótese que E_{perdas} tem o mesmo valor em **A** e **B** não é razoável, se as potências eléctricas tiverem sido diferentes nas duas experiências. Nesse caso é mais razoável supor que a razão

$$\frac{E_{\text{perdas}}}{P\Delta t}$$

tem o mesmo valor, nas duas situações. Corresponde a dizer que a *fracção* de energia total que passa para o ambiente, sem ser em radiação visível, é a mesma. Como se poderia calcular o rendimento nesse caso?

Actividade A16	Espectro de uma lâmpada de incandescência		
<i>Descrição</i>	Faz-se uma observação qualitativa da variação com a temperatura da radiação emitida por uma lâmpada.	<i>Versão</i>	1.0
<i>Autores</i>	Projecto Faraday	<i>Data</i>	20/10/2003

Objectivo

Esta actividade permite uma abordagem introdutória da relação existente entre a temperatura do corpo emissor e o espectro da radiação emitida, através de uma observação qualitativa do espectro de uma lâmpada de incandescência sujeita a uma diferença de potencial (d.d.p.) variável.

Material

- Uma fonte de alimentação de tensão variável;
- uma lâmpada de incandescência, de 12 V (farol de automóvel, por exemplo);
- uma rede de difracção (≈ 600 linhas/mm) ou um espectrómetro de bolso;
- fios de ligação.

Descrição

O dispositivo experimental está representado na Fig. 18.

A lâmpada deve ser montada numa caixa fechada, com um pequeno orifício de observação, para reduzir a luminosidade ambiente. Observando o filamento da

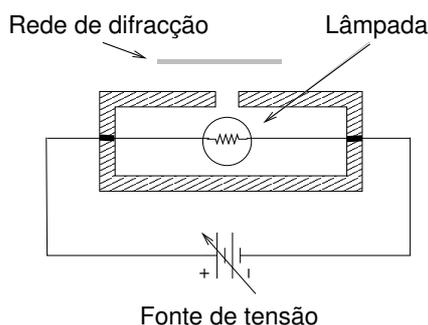


Figura 18: Dispositivo experimental para estudo do espectro visível de uma lâmpada de incandescência.

lâmpada através do espectrómetro ou da rede de difracção, varia-se lentamente a tensão da fonte (até 12 V). Com o aumento da d.d.p. aplicada à lâmpada, verifica-se não só um aumento nítido da intensidade total de radiação emitida, como um deslocamento do espectro para o lado do azul e violeta. Foi fornecida a cada escola uma caixa pré-montada por E. Pinheiro na oficina de electrónica do DFUP.

Explicação

Aumentado a partir de 0 V a diferença de potencial aplicada, a temperatura do filamento aumenta. Porquê?

A fonte de alimentação dissipa uma potência $P = VI$ na resistência. A temperatura de equilíbrio (para uma dada potência) é atingida quando a potência que passa para o ambiente, pelo facto de o filamento estar a uma temperatura mais elevada, for igual à potência fornecida à lâmpada. Quanto maior for esta, maior tem que ser a diferença de temperatura entre o filamento e o ambiente, para que seja maior a potência que passa para o ambiente.

O que faz a rede de difracção?

A rede de difracção é um dispositivo que, tal como um prisma, separa os diferentes comprimentos de onda da radiação. Funciona com base num fenómeno, chamado difracção, que também pode ser observado olhando para um lampião

distante através de um tecido de cortinado fino ou de um guarda-chuva aberto. Surgem várias imagens coloridas ligeiramente desviadas da imagem principal. A rede de difracção tem um conjunto de linhas paralelas muito próximas, tal como um tecido.

Como aumenta a energia radiada com a temperatura?

A energia radiada por um corpo a uma certa temperatura, distribui-se pelos diferentes comprimentos de onda, de acordo com um conjunto de leis descobertas no final do século XIX por Kirchhoff, Stefan, Boltzmann, Wien, Rayleigh, Jeans, finalmente resumidas por Planck num único resultado. A variação da potência total radiada, com a temperatura, é dada pela lei de Stefan-Boltzmann, que diz:

A potência total radiada por um corpo é proporcional à quarta potência da temperatura em kelvin:

$$P_{\text{rad}} \propto T^4 \quad (\text{Lei de Stefan – Boltzmann}).$$

Por que varia a cor da luz emitida pela lâmpada com a temperatura?

A lei de Planck estabelece a maneira como a energia radiada se distribui pelos diferentes comprimentos de onda do espectro. A máxima energia é radiada para um comprimento de onda que é inversamente proporcional à temperatura (lei de Wien),

$$\lambda_T = \frac{b}{T} \quad (\text{Lei de Wien}),$$

em que $b = 2.9 \times 10^{-3} \text{ m K}$ é uma constante universal (não depende do corpo ou da substância que o compoe). Assim quanto maior for T , menor é o comprimento de onda dominante da radiação. O comprimento de onda da radiação diminui do vermelho para o amarelo, verde, azul e violeta. A Fig. 20 ilustra a lei de Planck.

Quando a temperatura do filamento é cerca de 800 K, o filamento torna-se rubro, isto é, a radiação visível é emitida, predominantemente, no vermelho. Com o aumento de temperatura o espectro começa a ter uma parte importante

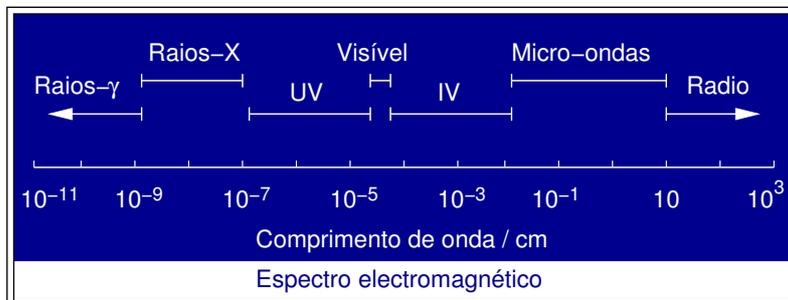


Figura 19: Espectro electromagnético.

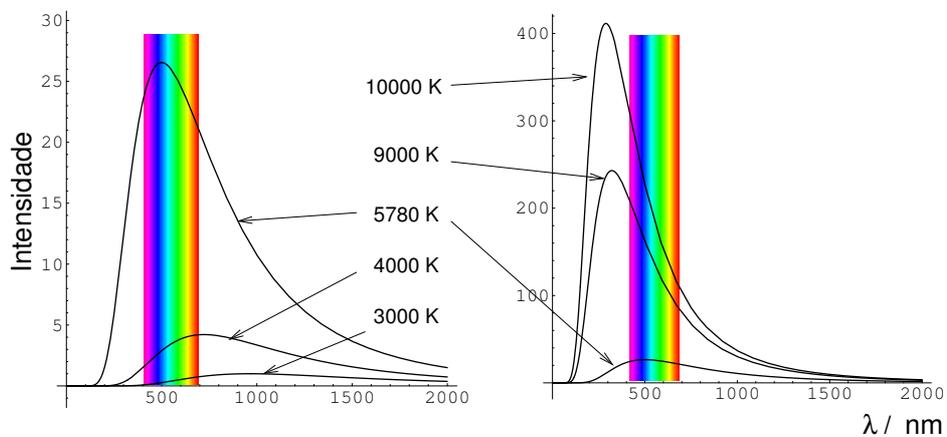


Figura 20: Variação da distribuição espectral da radiação de corpo negro com o comprimento de onda, a diferentes temperaturas: à esquerda, 3000 K, 4000 K, 5780 K, (temperatura da superfície do Sol); à direita noutra escala, 5780 K, 9000 K, 10000 K.

no verde, no azul e no violeta. Quando o comprimento de onda dominante se aproxima do centro da gama de radiação visível, a luz é percebida como luz branca.

O que acontece para temperaturas mais baixas? Não há radiação emitida?

A lei de Planck aplica-se a qualquer temperatura. O que acontece a temperaturas mais baixas é que quase não há radiação emitida no visível. A maior parte será no infravermelho. Os nossos órgãos de visão não detectam este tipo de radiação; mas o sentido do tacto pode detectá-la como um aumento de temperatura na pele.

Todos os corpos emitem radiação a temperaturas acima de 0 K (Zero absoluto, $-273\text{ }^{\circ}\text{C}$). Os soldados dos exércitos dos países mais ricos estão equipados com sensores de infravermelhos, que geram imagens no visível a partir da radiação de infravermelha de fontes com uma temperatura superior à do ambiente (como o corpo de um soldado inimigo ou o motor de um veículo).

Qual é a temperatura da luz do Sol?

A superfície do Sol está a cerca de 5780 K. O espectro solar tem o máximo de potência a um comprimento de onda de cerca de

$$\lambda_T \approx 509\text{ nm} = 5090\text{ \AA}$$

Radiação deste comprimento de onda é percebida como verde. Este comprimento de onda está próximo do centro da gama de luz visível⁶. Por isso, no arco-íris, que é luz solar separada nas suas componentes por refração em gotas de água da atmosfera, as diferentes cores do espectro visível têm intensidades semelhantes.

Os corpos também emitem a comprimentos de onda inferiores ao do visível?

Certamente. A luz do Sol, por exemplo, tem uma parte importante da energia na zona do ultravioleta. Felizmente, a camada de ozono da atmosfera reflecte

⁶Provavelmente não se trata de uma coincidência. Este ajuste da visão ao espectro da luz do Sol traz vantagens evolucionárias às espécies da Terra.

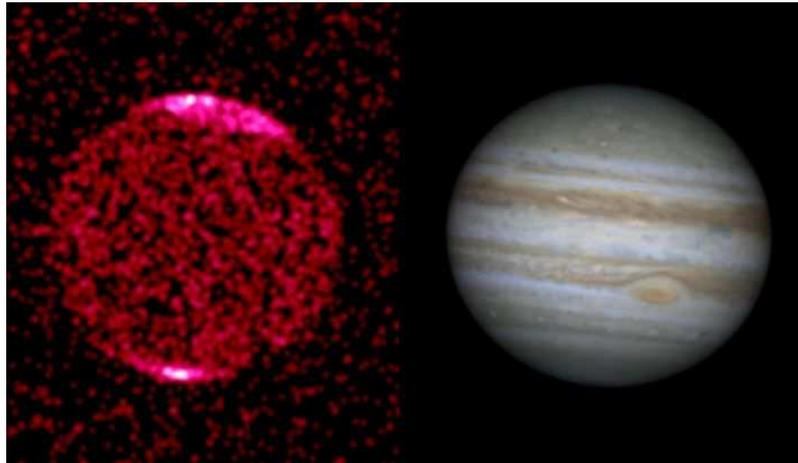


Figura 21: Duas imagens de Júpiter: à direita uma imagem de luz visível; à esquerda uma imagem (falsa cor) de raios-X que mostra a existência de duas fontes de grande intensidade nos pólos (créditos: imagem de raios-X: R. Gladstone (SwRI), et al.; imagem óptica: Cassini Imaging Team, NASA[5]).

uma parte importante dessa radiação. A radiação ultravioleta pode ter efeitos bastante nocivos nos animais e plantas.

Em astronomia, há objectos que são fontes muito intensas de radiação com comprimentos de onda muito baixos, raios-X, por exemplo. A astronomia de raios-X consiste em obter mapas de intensidade da radiação emitida nestes comprimentos de onda. Na Fig. 21, mostra-se um exemplo: duas “imagens” de Júpiter, uma na gama do visível e outra na gama de Raios-X.

Actividade A17	Movimento browniano		
<i>Descrição</i>	Observação do movimento browniano de gotículas de leite em água.	<i>Versão</i>	1.0
<i>Autores</i>	Projecto Faraday	<i>Data</i>	20/10/2003

Objectivo

A observação do movimento browniano. Relação com o movimento térmico atómico e molecular.

Material

- Microscópico óptico, com ampliação de $300\times$, pelo menos;
- lâminas (escavadas, se possível) e lamelas;
- clip (ou outro objecto de ponta fina);
- água (10 ml);
- leite (5 ml).

Descrição

São reportados na literatura e na Internet, vários modos possíveis de observação do movimento browniano. Uma das que se mostrou mais conveniente envolve uma suspensão muito diluída de uma gordura, como o leite, em água [7].

Numa lâmina de microscópio é colocada uma gota de água. Molha-se a ponta do clip no leite e toca-se na gota de água, mexendo um pouco para ajudar a

diluição do leite e a espalhar a gota pela superfície da lâmina. Em seguida coloca-se a lamela (para proteger as objectivas do microscópio). Põe-se a lâmina no suporte do microscópio e faz-se uma primeira focagem com a objectiva de menor ampliação. O aumento da ampliação deve ser gradual, ajustando em cada etapa a focagem com o parafuso de focagem fina. Com uma ampliação de $400\times$ as gotículas são facilmente visíveis como pequenas bolas escuras (ou claras, se estiverem fora do plano de focagem). Na Fig. 22, mostra-se um fotograma de um vídeo produzido no âmbito deste projecto (disponível no portal do Projecto, <http://www.fc.up.pt/faraday>).

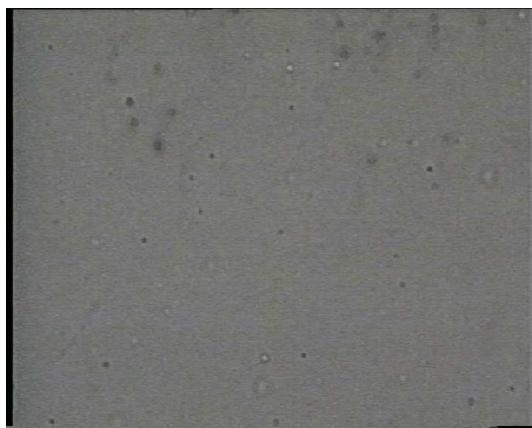


Figura 22: Imagem de microscópio de uma suspensão de leite em água (ampliação $\approx 500\times$). As manchas claras e escuras são gotas de leite em diferentes planos.

O movimento das gotículas, numa primeira observação, pode parecer uma vibração em torno de uma posição fixa. Mas com maior atenção, verifica-se que se trata de um movimento desordenado, que pode levar uma gotícula a afastar-se, significativamente, da posição em que se inicia a sua observação.

Para ampliações menores que $400\times$, a observação é possível mas exige maior atenção e paciência. Para ampliações superiores, a distância de focagem é menor e os movimentos das gotas de leite na direcção vertical fazem com que entrem e saiam do plano de focagem.

Dependendo do tipo de microscópio disponível, há variáveis que poderão facilitar a observação. Na nossa experiência, o uso do diafragma quase fechado per-

mite aumentar o contraste da imagem; o uso de filtros de cor poderá também dar algumas melhorias. Dada a impossibilidade de prever as características do equipamento disponível, aconselha-se alguma experimentação prévia para permitir a familiarização com o aparelho. Uma preparação pode ser utilizada por várias horas. Eventualmente a água evapora-se e a lâmina seca.

Explicação

É conhecido de todos (ou pelo menos daqueles que já lavaram a louça a seguir a uma refeição) que a gordura (constituída por moléculas apolares) não se dissolve em água (molécula polar). Quando dissolvemos o leite na gota de água, a gordura do leite agrupa-se em gotículas com um diâmetro de aproximadamente $1\mu\text{m}$ (10^{-6} m).

A observação acima referida, mostra que estas gotas têm um movimento sem um padrão que se possa perceber e que não mostra sinais de querer parar. Pode observar-se a mesma preparação durante várias horas e, enquanto a água não se evaporar, não se nota qualquer alteração na agitação das gotículas de leite.

Sabemos hoje, graças aos trabalhos de Einstein e Perrin, que o movimento das gotículas de leite resulta da agitação de partículas mais pequenas, as próprias moléculas de água. Embora as gotas de leite nos possam parecer pequenas (um milésimo de milímetro de diâmetro), são, no entanto, enormes comparadas com um molécula de água.

Mesmo assim, o número de colisões de moléculas de água com as gotas de gordura é tão elevado (as moléculas são muitas) que daí resulta o movimento da gota que podemos observar ao microscópio.

O movimento da gotas de leite é, precisamente, resultante das *flutuações estatísticas* das colisões com moléculas de água. Por isso, a progressão das gotículas é aleatória [3].

Questão

Quantas moléculas de água há numa gota de diâmetro $1\mu\text{m}$?

1. Qual é o volume de uma gota de água de diâmetro $1\mu\text{m} = 10^{-6}\text{ m}$?
2. A massa volúmica da água é $\rho = 10^3\text{ kg m}^{-3}$. Qual é a massa da molécula da alínea anterior?
3. Qual é a massa molar da água, H_2O ? Qual é a massa de uma molécula?
4. Quantas moléculas há numa gota de $1\mu\text{m}$ de diâmetro?

Referências

- [1] Internacional Atomic Energy Agency. Energy, electricity and nuclear power estimates for the period up to 2020. Technical report, IAEA, <http://www.iaea.org>, 2001.
- [2] Marshall Brain. How much coal is required to run a 100 W light bulb, 24 hours a day for a year? URL: <http://science.howstuffworks.com/question481.htm>.
- [3] Projecto Faraday. Textos para 10º ano. Projecto FARADAY, Departamento de Física, Faculdade de Ciências, Universidade do Porto, 2002.
- [4] Uri Ganiel. Elastic and inelastic collisions: a model. *The Physics Teacher*, (30):18, 1992.
- [5] NASA. Astronomy picture of the day. URL: <http://antwrp.gsfc.nasa.gov/apod/archivepix.html>, 2002.
- [6] REN. Rede eléctrica nacional, informação técnica. <http://www.ren.pt/sections/tecnica/maparen/default.asp>.
- [7] Dave Walker. Url: <http://www.microscopy-uk.org.uk/dww/home/hombrown.htm>.