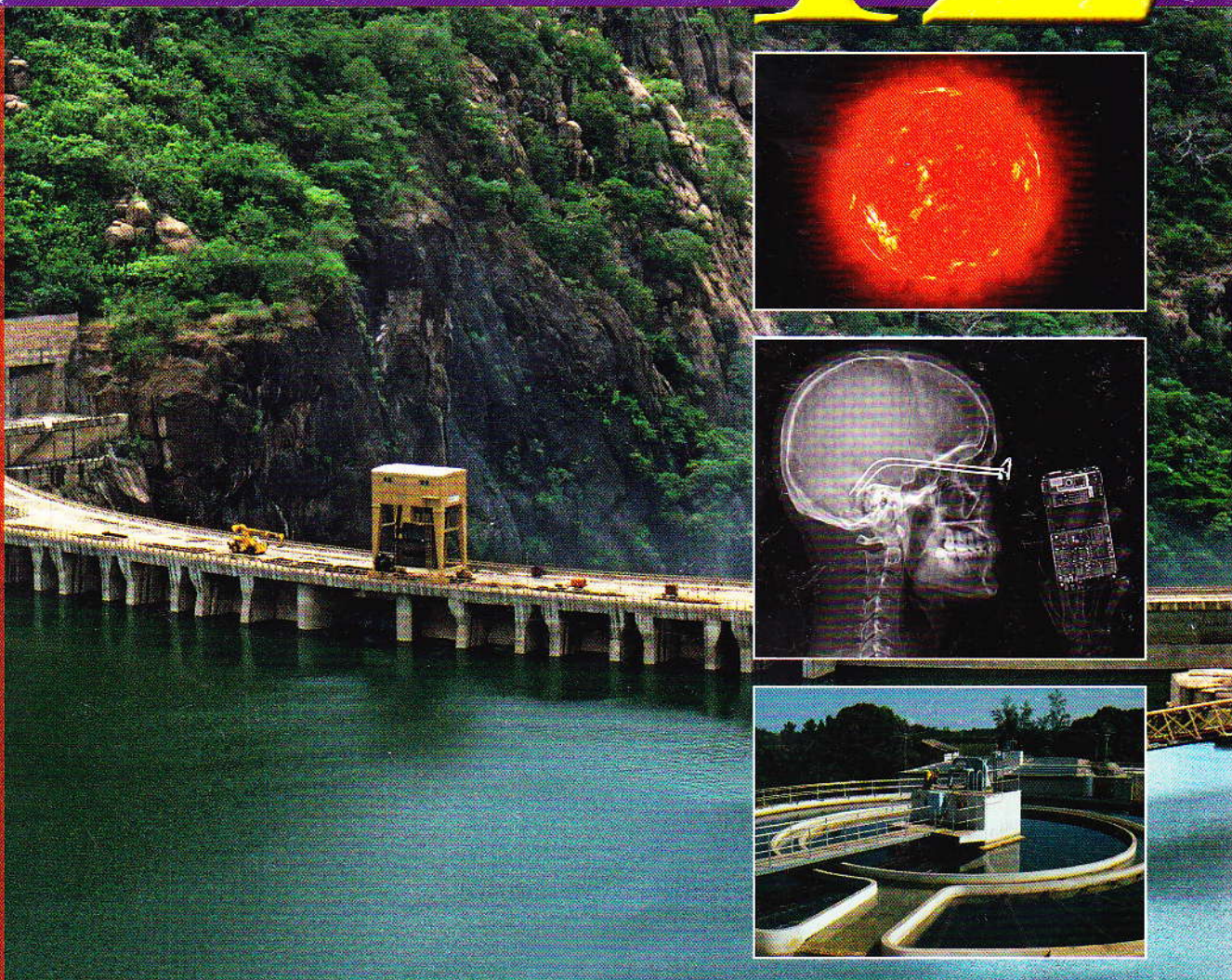


NOVO CURRÍCULO
DO ENSINO SECUNDÁRIO

FÍSICA

12

PRÉ-UNIVERSITÁRIO



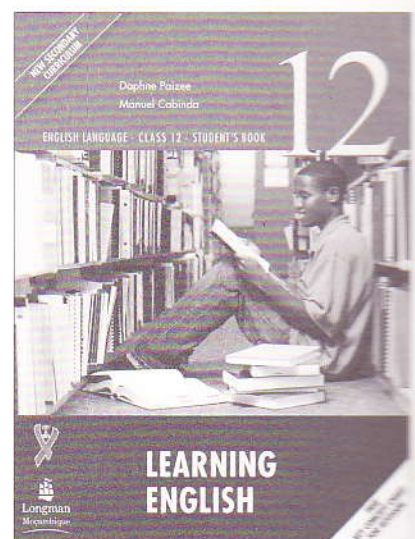
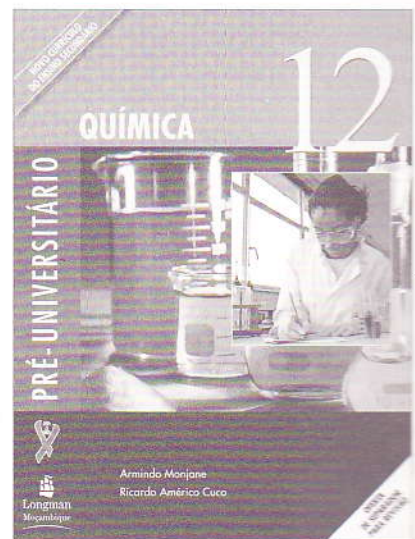
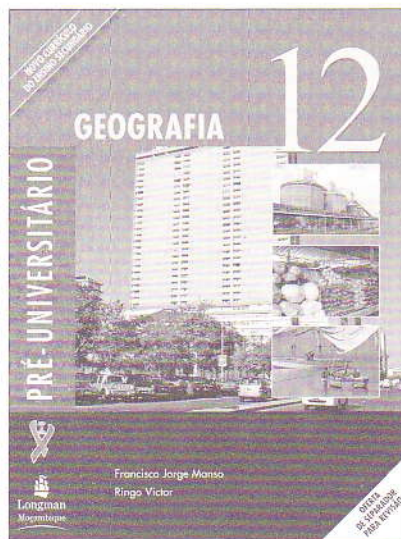
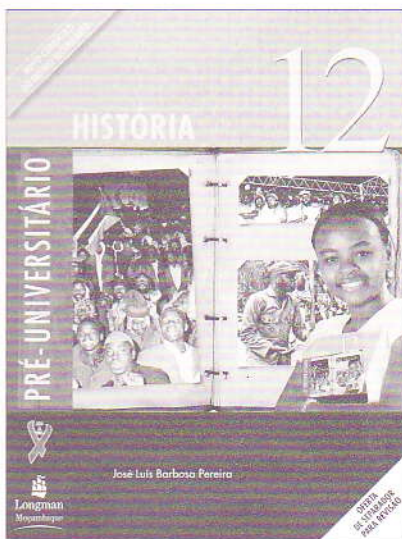
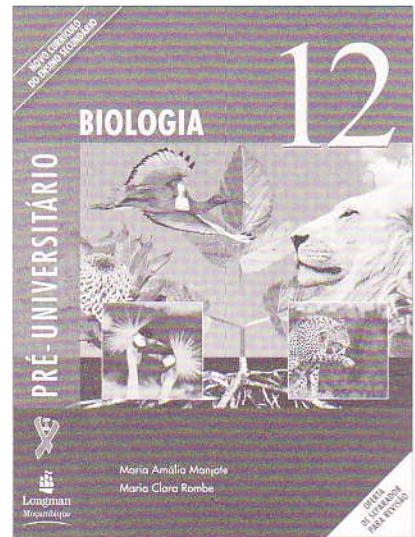
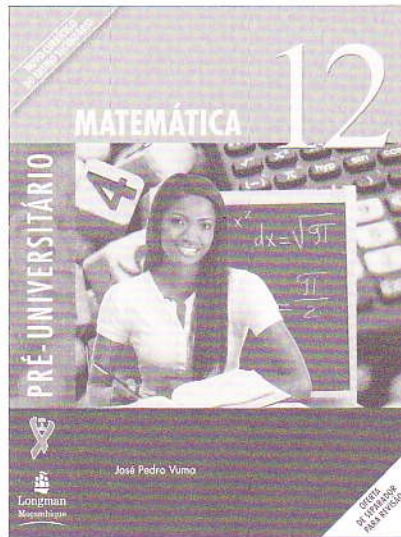
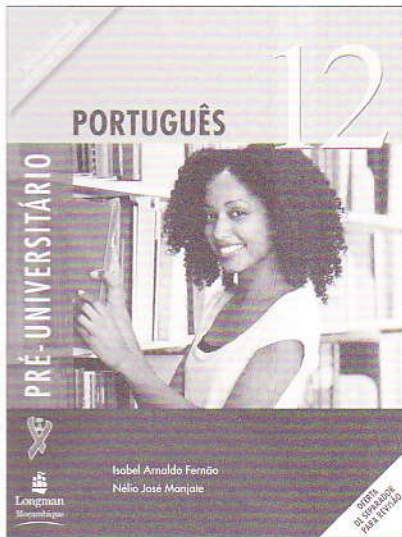
Estevão Manuel João



Longman
Moçambique

OFERTA
DE SEPARADOR
PARA REVISÃO

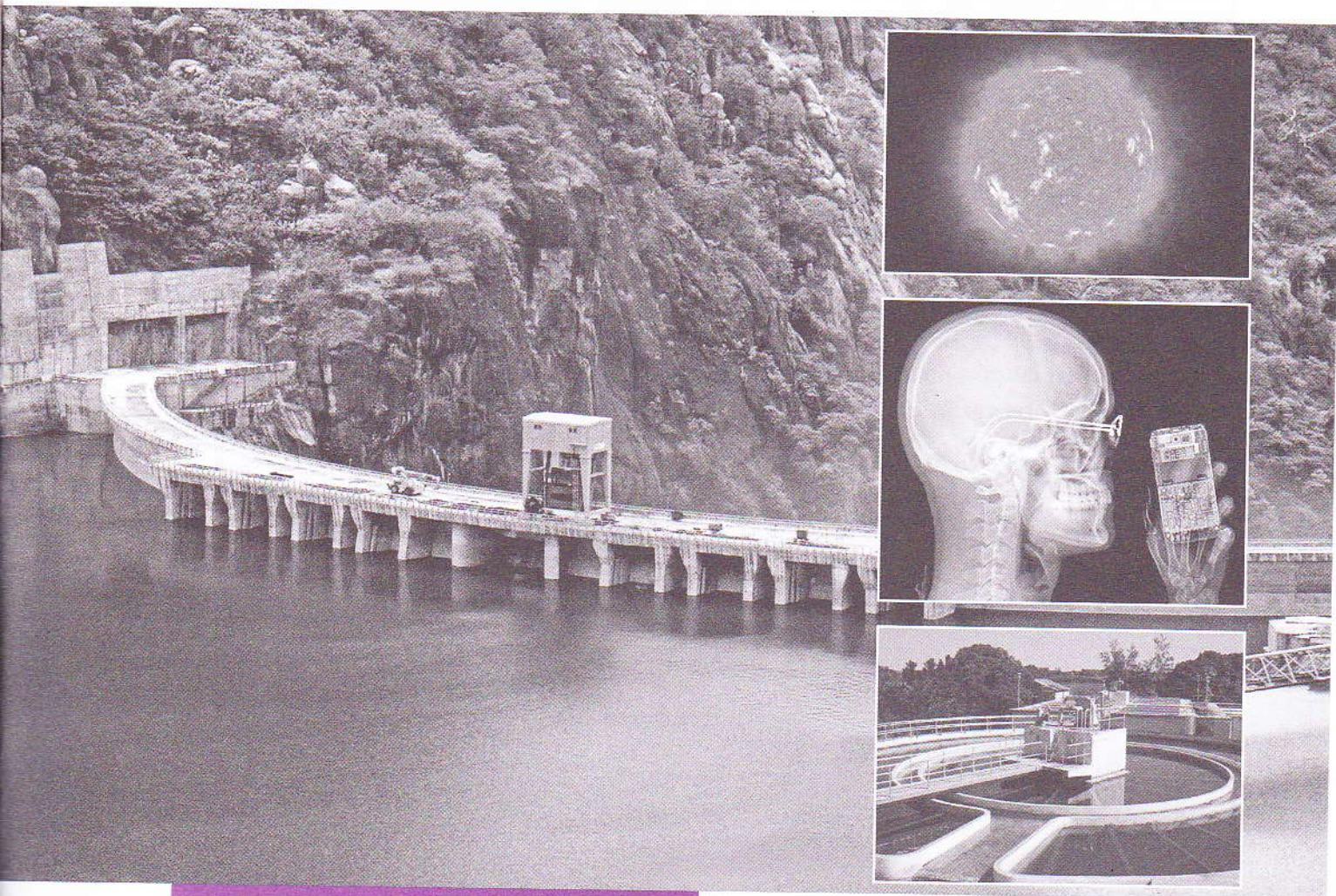
Títulos disponíveis para a 12.ª Classe



Estevão Manuel João

FÍSICA

12



PRÉ-UNIVERSITÁRIO



Longman
Moçambique

Introdução

Caro Aluno e caro Professor,

Nos dias de hoje, a Física originou modificações profundas em todos os domínios da ciência e da técnica. Por essa razão, elaborámos o presente manual, que permitirá tirar pleno proveito dos conhecimentos desta ciência. Este livro irá ser um companheiro no seu dia-a-dia e um auxiliar didáctico para os alunos e professores.

O livro *Pré-Universitário Física 12* foi concebido de acordo com o novo currículo do programa de Física, vigente em Moçambique, para a 12.^a classe.

Neste livro, as matérias são expostas de forma clara e didáctica, verificando-se um equilíbrio entre a componente teórica explicativa e a matemática. Ao apresentar cada tema, procurámos sempre fazer referência aos assuntos abordados nas classes anteriores de modo a permitir uma melhor consolidação dos novos conteúdos. Merecem especial destaque as experiências para a verificação prática dos assuntos estudados, os exercícios resolvidos e, ainda, numerosos exercícios de múltipla escolha, com vista a melhor preparar o aluno para o exame final.

O presente livro encontra-se dividido em seis unidades. No fim de cada unidade são apresentados conceitos básicos, exercícios resolvidos, exercícios não resolvidos (de escolha múltipla) e actividades experimentais. No fim do livro encontram-se as respostas de todos os exercícios não resolvidos. Apelamos aos alunos para que usem regularmente o livro lendo a teoria, resolvendo os exercícios e realizando as actividades experimentais nele propostas, de modo a garantir o sucesso na disciplina de Física.

Esperamos que este livro possa contribuir para o êxito do trabalho académico ao longo do ano lectivo e fazemos votos de que, nesse trabalho, sejam alcançados os objectivos desejados.

O Autor

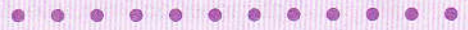
Índice

	Pág.
Unidade 1 Ondas electromagnéticas. Radiação do corpo negro	10
1. Ondas mecânicas e electromagnéticas	11
1.1 Natureza e modalidade de propagação	11
1.2 Características de uma onda	12
1.3 Diferença entre ondas mecânicas e electromagnéticas	13
1.4 Ondas mecânicas	13
1.5 Ondas electromagnéticas	13
1.5.1 Espectro das ondas electromagnéticas	14
1.5.2 Espectro óptico	15
1.5.2.1 Classificação dos espectros ópticos	16
1.5.3 Análise espectral na indústria	17
1.5.4 Propriedades e aplicações das ondas electromagnéticas	18
1.5.4.1 Propriedades das ondas electromagnéticas	18
1.5.4.2 Aplicações das ondas electromagnéticas	18
2. Formas de transmissão de calor (condução, convecção e radiação)	23
2.1 Calor e temperatura	23
2.2 Transmissão de calor por condução	23
2.3 Transmissão de calor por convecção	24
2.4 Transmissão de calor por radiação	24
2.5 Fenómenos naturais relacionados com o calor	25
2.6 Poluição ambiental	26
2.7 Efeito de estufa, aquecimento global e alterações climáticas	26
2.7.1 Consequências do efeito de estufa, aquecimento global e alterações climáticas	27
3. Troca de calor entre os corpos. Princípio fundamental da calorimetria	28
3.1 Troca de calor entre os corpos	28
3.1.1 Capacidade térmica de um corpo	28
3.1.2 Calor específico ou capacidade térmica mássica de um corpo	29
3.2 Princípio fundamental da calorimetria	29
4. Leis da radiação do corpo negro (Lei de Wien e Lei de Stefan-Boltzmann)	30
4.1 Radiação térmica	30
4.2 Lei de Wien	32
4.3 Lei de Stefan-Boltzmann	32
4.4 Métodos para estimar a temperatura dos astros	32
Unidade 2 Física atómica	48
1. Raios catódicos, suas propriedades e aplicações físico-atómicas. A emissão termoelétrica e fotoelétrica	49
1.1 Física atómica	49
1.2 Raios catódicos	49
1.2.1 Propriedades dos raios catódicos	50
1.2.2 Aplicações físico-atómicas dos raios catódicos	50

	Pág.	
1.2.2.1	Funcionamento de um televisor.....	50
1.3	A emissão termoelétrica e a emissão fotoelétrica.....	51
1.3.1	Emissão termoelétrica	52
1.3.2	Emissão fotoelétrica.....	52
1.3.2.1	Leis do fenómeno fotoelétrico	53
1.3.2.2	Interpretação da emissão fotoelétrica com base na teoria quântica.....	54
1.3.3	Gráfico da energia cinética em função da frequência	55
1.3.4	Gráfico do potencial em função da frequência	55
1.3.5	Funcionamento de um painel solar	56
2.	Raios X: produção, propriedades e aplicações	57
2.1	Produção dos raios X	57
2.2	Propriedades dos raios X	58
2.3	Aplicações dos raios X	58
2.4	Espectro de raios X	59
2.5	Lei de Moseley	59
3.	Níveis de energia no átomo de hidrogénio	60
<hr/>		
Unidade 3 Física nuclear		76
1.	Partículas nucleares e sua representação	77
2.	Elementos isótopos e isóbaros	77
2.1	Aplicação dos isótopos na medicina e na agricultura	78
3.	Reacções nucleares	78
4.	Reacções de desintegração (alfa, beta, gama e captura electrónica)	79
4.1	Desintegração alfa	79
4.2	Desintegração beta	79
4.2.1	Desintegração β^-	79
4.2.2	Desintegração β^+	80
4.2.3	Captura electrónica	80
4.3	Desintegração gama	80
5.	Reacções de fissão	80
6.	Reacções de fusão	81
7.	Energia de ligação dos núcleos atómicos e defeito de massa	82
8.	Leis da Desintegração Radioactiva	82
9.	Reactores nucleares e sua aplicação	84
10.	Bomba atómica	85
<hr/>		
Unidade 4 Mecânica dos fluidos (Hidrodinâmica)		98
1.	Vazão volumétrica (caudal)	99
2.	Viscosidade	100
3.	Fluido ideal	101

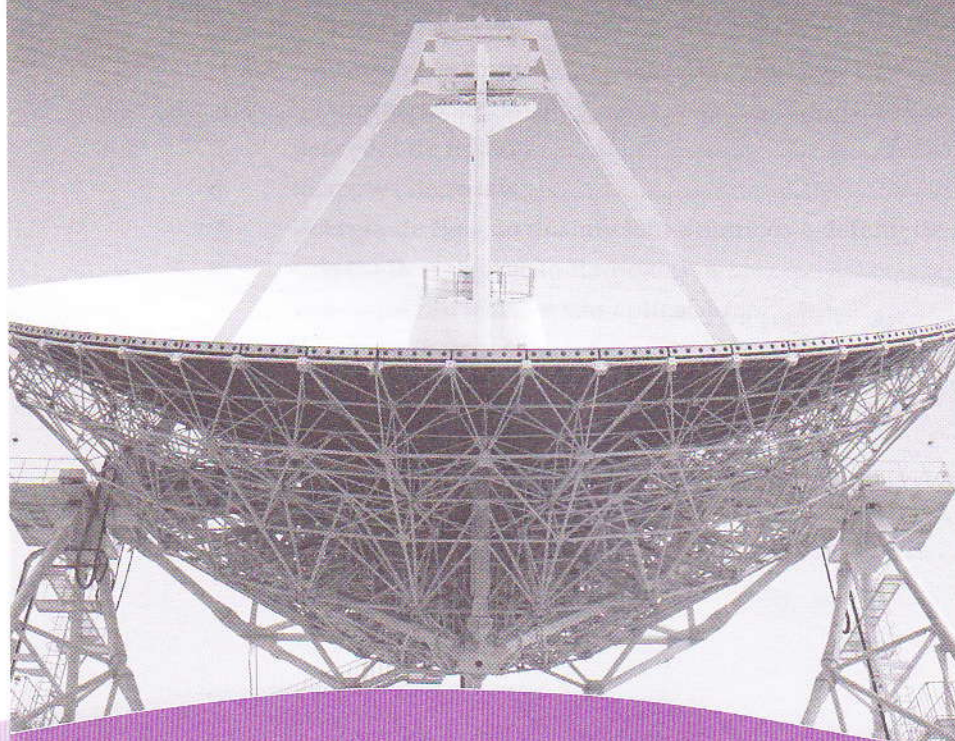
	Pág.
4. Princípio da continuidade	101
4.1 Aplicações do Princípio da Continuidade	102
5. Princípio de Bernoulli	102
5.1 Aplicações do Princípio de Bernoulli	104
<hr/>	
Unidade 5 Gases. Termodinâmica	114
1. Parâmetros de estado. Gás perfeito ou ideal	115
2. Equação de estado do gás perfeito ou ideal	115
3. Isoprocessos. Diagramas dos isoprocessos (isotérmico, isobárico e isovolúmico)	116
3.1 Processo isotérmico (Lei de Boyle-Mariotte)	116
3.2 Processo isobárico (Lei de Gay-Lussac)	117
3.3 Processo isovolúmico (Lei de Charles)	118
4. Trabalho termodinâmico	118
5. Primeira Lei da Termodinâmica	119
5.1 Aplicação da 1.ª Lei da Termodinâmica aos isoprocessos	120
<hr/>	
Unidade 6 Oscilações mecânicas	134
1. Características das oscilações mecânicas	135
2. Equação e gráfico da elongação em função do tempo	136
3. Equação e gráfico da velocidade em função do tempo.....	136
3.1 Equação e gráfico da aceleração em função do tempo	137
4. Equações de Thompson	138
<hr/>	
Soluções	151

Ondas electromagnéticas. Radiação do corpo negro



No final desta unidade, deverás ser capaz de:

- explicar a diferença entre ondas mecânicas e electromagnéticas;
- explicar fenómenos da Natureza com base nas propriedades gerais e específicas das ondas electromagnéticas;
- explicar fenómenos da Natureza com base nas formas de transmissão de calor;
- aplicar o princípio fundamental da calorimetria na resolução de exercícios concretos;
- interpretar os gráficos da emissividade em função da frequência e do comprimento de onda.



1. Ondas mecânicas e electromagnéticas

1.1 Natureza e modalidade de propagação

Vivemos rodeados de fenómenos ondulatórios que estimulam os nossos órgãos sensoriais, tais como a luz do Sol que entra pela janela da nossa casa ou o cantar do galo. Os fenómenos ondulatórios são processos que acontecem com muita frequência na Natureza. Tais fenómenos têm diferentes origens. Por exemplo, conseguimos ler o texto deste livro através das ondas luminosas que chegam até aos nossos olhos; quando o professor fala durante a aula, a sua explicação chega até aos nossos ouvidos através das ondas sonoras que se propagam através do ar. É sobre fenómenos ondulatórios que iremos falar nesta unidade.

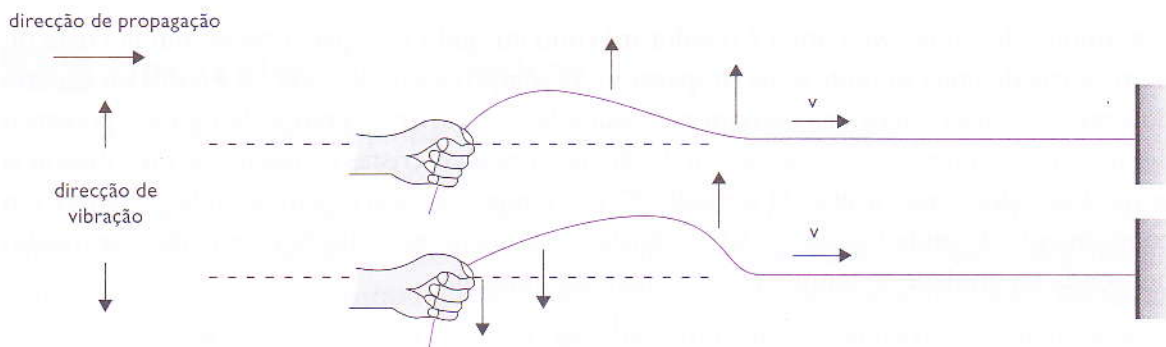


..... Figura 1: Propagação das ondas mecânicas sobre a superfície livre da água.

Certamente que já verificaste a formação de círculos quando lançamos uma pedra sobre a superfície livre da água em repouso (figura 1). Com o decorrer do tempo, tais círculos tornam-se cada vez maiores atingindo regiões da vizinhança da sua origem. Repare-se que esses círculos são pequenas elevações que têm origem no ponto de impacto entre a pedra e a superfície livre da água. Se colocarmos um corpo flutuante, por exemplo um pedaço de cortiça, na região de formação desses círculos, nota-se que o pedaço de cortiça sobe e desce em função da perturbação sem que seja arrastado, efectuando, deste modo, pequenas oscilações. Isto leva-nos a crer que durante a propagação de uma oscilação não ocorre transporte de matéria, mas sim de energia que provém da fonte das oscilações. É por isso que durante a propagação de uma oscilação se produz a transmissão do movimento de um ponto para outro.

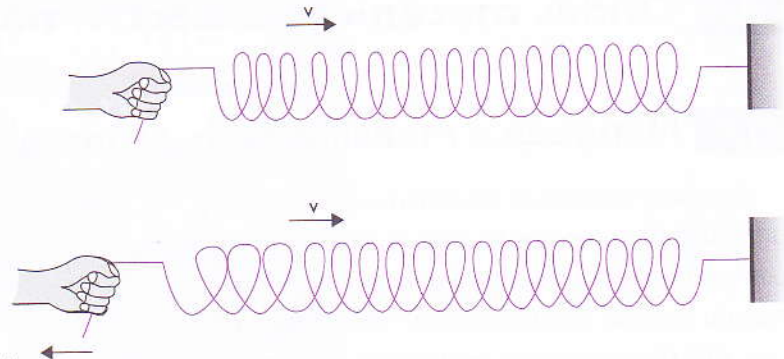
À propagação das oscilações no espaço no decorrer do tempo chama-se *onda*.

Quanto à sua natureza, as ondas podem ser mecânicas ou electromagnéticas. Quanto à modalidade de propagação, as ondas podem ser longitudinais ou transversais.



..... Figura 2: As ondas que se propagam numa corda são transversais.

Ondas transversais são aquelas em que a direcção da perturbação é perpendicular à direcção da propagação (figura 2). Quando a direcção da perturbação coincide com a direcção da propagação, a onda diz-se longitudinal (figura 3).

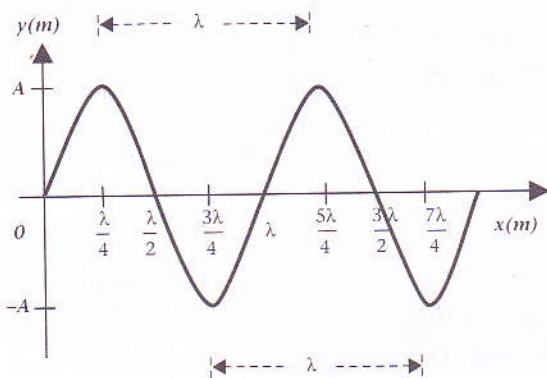


..... Figura 3: As ondas que se propagam numa mola elástica são longitudinais.

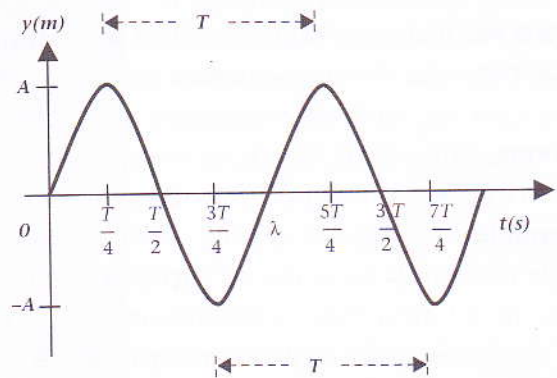
1.2 Características de uma onda

As características de uma onda, seja mecânica ou electromagnética são:

- a amplitude;
- o comprimento;
- o período;
- a frequência;
- a velocidade de propagação.



..... Figura 4: O comprimento de onda é a distância entre dois pontos consecutivos que oscilam na mesma fase.



..... Figura 5: O período é o tempo necessário para percorrer a distância entre dois pontos consecutivos que oscilam na mesma fase.

A amplitude (A) de uma onda é o valor máximo atingido pela perturbação numa crista ou num ventre de onda durante a sua propagação. O comprimento de onda (λ) é a distância entre dois pontos consecutivos que oscilam na mesma fase. A partir do gráfico da figura 4 podemos definir o comprimento de onda como a distância entre duas cristas consecutivas ou a distância entre dois vales consecutivos. O período (T) é o tempo necessário para a onda percorrer um comprimento de onda (figura 5). A frequência é o número de oscilações completas efectuadas pela onda na unidade de tempo; ou seja, matematicamente:

$$f = \frac{n}{\Delta t}$$

Onde: n é o número de oscilações completas; Δt é o tempo.

No Sistema Internacional de Unidades, SI, a unidade de frequência chama-se Hertz (Hz).

Existe uma relação entre a frequência e o período. O período é o inverso da frequência e vice-versa:

$$T = \frac{1}{f}$$

A unidade de período é a mesma que a unidade do tempo, isto é, o segundo (s).

A velocidade de propagação da onda é o produto entre o comprimento de onda e a sua frequência.

$$v = \lambda \cdot f$$

Esta característica, a velocidade, é a mais importante e é finita. A unidade de velocidade no Sistema Internacional de Unidades chama-se metro por segundo (m/s). A velocidade de propagação de uma determinada onda depende do meio material onde se move. Por exemplo, a tabela à direita apresenta os valores da

Meio	Velocidade (m/s)
Água (293 K)	1482
Ar (273 K; 10 ⁵ Pa)	331
Hidrogénio (273 K; 10 ⁵ Pa)	1284

..... Tabela 1: Velocidade de propagação do som em alguns meios.

velocidade de propagação do som nalguns meios. Repare-se que a velocidade de propagação do som é maior na água do que no ar e no hidrogénio.

1.3 Diferença entre ondas mecânicas e electromagnéticas

As ondas mecânicas diferem das ondas electromagnéticas quanto à sua origem e quanto aos meios de propagação. As ondas mecânicas são originadas por oscilações mecânicas enquanto as ondas electromagnéticas são originadas por oscilações eléctricas. As oscilações eléctricas dão origem a um campo magnético variável e este, por sua vez, dá origem a um campo eléctrico também variável. Portanto, a onda electromagnética é o resultado da variação, no espaço no decorrer do tempo, dos campos eléctrico e magnético.

As ondas mecânicas precisam de um meio material para se propagarem, enquanto as ondas electromagnéticas se propagam tanto nos meios materiais como no vácuo.

1.4 Ondas mecânicas

Onda mecânica é a propagação das oscilações através de um meio material (seja sólido, líquido ou gás). Exemplos: as ondas que se propagam numa mola, as ondas que se propagam na água, as ondas sonoras que se propagam através do ar (som) e de outros meios materiais.

1.5 Ondas electromagnéticas

Onda electromagnética é a propagação, em qualquer meio, da variação dos campos eléctrico e magnético. Exemplos: a luz, as ondas de rádio, etc.

A existência de ondas electromagnéticas foi, primeiramente, prevista por James Clerk Maxwell tendo revelado a sua natureza. Mais tarde foram confirmadas graças aos notáveis trabalhos de Heinrich Hertz. Maxwell mostrou que a emissão de uma onda electromagnética era devida às oscilações eléctricas de uma carga eléctrica que criava um campo eléctrico rotacional variável responsável pela origem de um campo magnético rotacional também variável da mesma frequência que a do campo eléctrico. As ondas electromagnéticas são ondas transversais (figura 6).

A velocidade de propagação das ondas electromagnéticas não é a mesma em diferentes meios. Ela depende das propriedades eléctricas e magnéticas do meio onde se propagam. É por isso que escrevemos a dependência da velocidade das propriedades eléctricas e magnéticas do meio de modo:

$$v = \frac{1}{\sqrt{\mu_m \cdot \epsilon_m}} \quad (1)$$

Onde: v é a velocidade; μ_m é a permeabilidade magnética do meio e ϵ_m é a constante dieléctrica do meio. Substituindo as igualdades $\mu_m = \mu\mu_0$ e $\epsilon_m = \epsilon\epsilon_0$ na expressão (1) teremos o seguinte resultado:

$$v = \frac{1}{\sqrt{\mu\mu_0\epsilon\epsilon_0}} \quad (2)$$

Em (2), repare-se que, para o caso em que as ondas se propagam no vácuo, os valores da permeabilidade magnética μ e da constante dieléctrica ϵ tornam-se iguais à unidade. Deste modo, escrevemos a expressão da velocidade das ondas electromagnéticas que se propagam no vácuo através da relação:

$$c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0\epsilon_0}} \quad (3)$$

Onde c é a velocidade da luz no vácuo. Os valores de μ_0 e ϵ_0 no vácuo são respectivamente:

$$\mu_0 = 4\pi \cdot \frac{10^{-7} \text{ H}}{\text{m}} \text{ e } \epsilon_0 = 8,85 \cdot \frac{10^{-12} \text{ C}^2}{\text{Nm}^2}.$$

Substituindo os valores de μ_0 e ϵ_0 na expressão (3), encontraremos o valor da constante c que é a velocidade de uma onda electromagnética no vácuo:

$$c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0\epsilon_0}} = \frac{1}{\sqrt{4\pi \cdot \frac{10^{-7} \text{ H}}{\text{m}} \cdot 8,85 \cdot \frac{10^{-12} \text{ C}^2}{\text{Nm}^2}}} = \frac{1}{\sqrt{1,112 \cdot \frac{10^{-17} \text{ s}^2}{\text{m}^2}}} = 2,988 \cdot \frac{10^8 \text{ m}}{\text{s}} \Rightarrow c = 3 \cdot \frac{10^8 \text{ m}}{\text{s}}$$

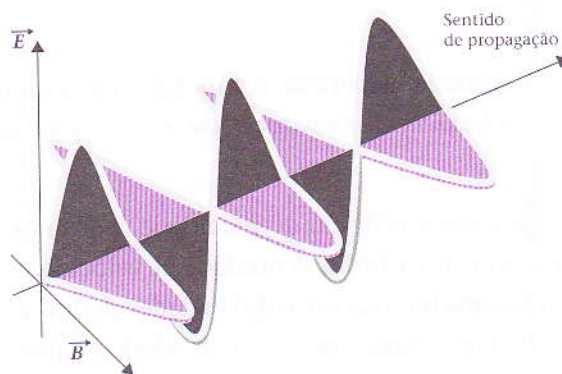
Relacionando (2) e (3) teremos: $v = \frac{c}{\sqrt{\mu\epsilon}}$. A razão $\sqrt{\mu\epsilon} = \frac{c}{v}$ chama-se *índice de refração* do meio e designa-se por:

$$n = \frac{c}{v} \quad (4)$$

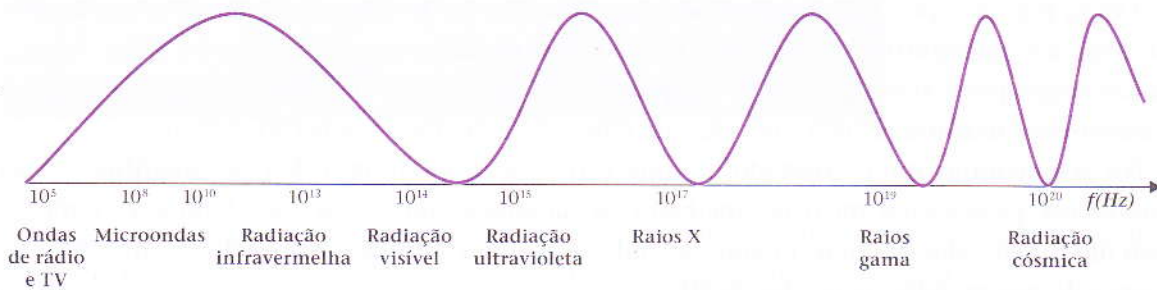
De (4) concluímos que a velocidade de propagação das ondas electromagnéticas é maior no vácuo do que num meio material. Quer dizer, num meio material a velocidade de propagação de uma onda depende do índice de refração do meio por onde ela se propaga.

1.5.1 Espectro das ondas electromagnéticas

Visto que a velocidade das ondas electromagnéticas no vácuo é constante e que ela se relaciona com o comprimento de onda e com a frequência por $c = \lambda \cdot f$, podemos ordenar ou dispor diversos grupos de ondas electromagnéticas em função da frequência ou do comprimento de onda. A essa separação em grupos de comprimento de onda ou de frequência chamamos espectro electromagnético (figura 7).



..... Figura 6: Representação esquemática de uma onda electromagnética.



..... Figura 7: Espectro das ondas electromagnéticas.

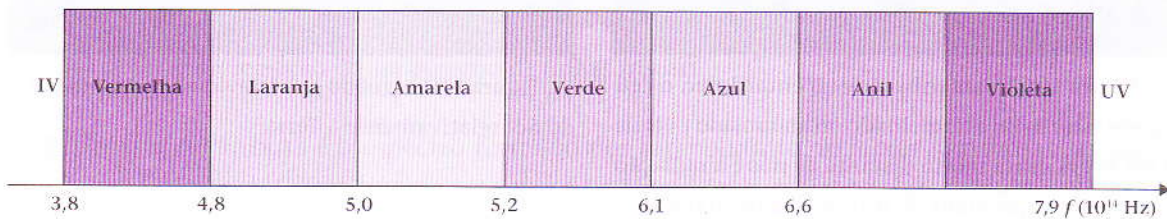
Espectro das ondas electromagnéticas é o conjunto das ondas electromagnéticas disposto em função do seu comprimento de onda ou da sua frequência.

1.5.2 Espectro óptico

A radiação luminosa ou, simplesmente, luz visível é constituída por ondas electromagnéticas. Ora, isso não significa que todas as ondas electromagnéticas são luminosas. Radiação luminosa é aquela que cria uma sensação de visão nos nossos olhos.

Espectro óptico é uma parte do espectro electromagnético constituído pelo grupo das radiações visíveis em função do seu comprimento de onda ou da sua frequência.

O espectro óptico (figura 8) localiza-se no intervalo entre $4 \cdot 10^{14}$ Hz e $7,5 \cdot 10^{14}$ Hz. Repare-se que *cada frequência (ou comprimento de onda), no espectro óptico, corresponde a uma cor.*



..... Figura 8: Espectro óptico das ondas electromagnéticas.

Em 1666, o cientista inglês Isaac Newton estabeleceu que a luz branca era constituída pelas sete cores do arco-íris em ordem decrescente do seu comprimento de onda desde a cor vermelha à cor violeta. A sobreposição de todas as cores do espectro óptico resulta na cor branca – fenómeno que é conhecido por *síntese da luz*. O arco-íris resulta devido à dispersão da luz branca (figura 9).

Dado que as cores do espectro óptico podem ser obtidas pela dispersão da luz branca, a cor dos objectos depende da luz que sobre eles incidir.



..... Figura 9: O arco-íris é devido à dispersão da luz branca proveniente do Sol.

Assim, por exemplo, se sobre um corpo azul incide a luz branca significa que este reflecte a luz azul (daí conseguirmos ver a sua cor) e absorve as restantes cores provenientes da luz branca. Já um corpo preto absorve todas as radiações que sobre si incidem. É por isso que no Verão é aconselhável usar roupa clara uma vez que esta reflecte melhor a radiação visível.

Por se encontrar muito afastado de uma certa região da Terra, o Sol, ao amanhecer e ao entardecer, parece estar meio avermelhado ou alaranjado, porque as cores laranja e vermelha tem um maior valor de comprimento de onda, o que lhes confere maior poder de atravessar os corpos do que as outras cores (figura 10).

Durante o dia o céu apresenta-se azul numa certa região da Terra porque o Sol está mais próximo dessa região tendo em conta que a luz azul é uma das que apresenta menor comprimento de onda e, daí o seu maior poder de se espalhar. Podemos concluir, então, que, se fizermos incidir num corpo uma luz da mesma cor que este apresenta, ele se torna escuro. Assim, a cor não é uma característica dos corpos, mas depende da luz que sobre eles incide.



..... Figura 10: Ao amanhecer e ao entardecer, o céu parece estar meio avermelhado ou alaranjado porque o Sol se encontra muito distante de nós e a radiação com maior capacidade de difusão é a de maior λ .



..... Figura 11: O azul do céu é devido à proximidade do Sol relativamente à Terra.

1.5.2.1 Classificação dos espectros ópticos

Os espectros ópticos classificam-se em espectros de emissão e de absorção. Tanto os espectros de emissão como os de absorção podem ser contínuos ou descontínuos. Os espectros descontínuos subdividem-se em espectros de linhas (espectro de riscas) ou de faixas (espectro de bandas). Para a obtenção de espectros ópticos usam-se instrumentos espectrais.

Instrumentos espectrais são instrumentos constituídos principalmente por um prisma ou por uma rede de difracção que decompõem muito bem ondas de diferentes comprimentos de onda não permitindo a sobreposição de zonas diferentes do espectro.

São exemplos de instrumentos espectrais o *espectrógrafo* e o *espectroscópio*.

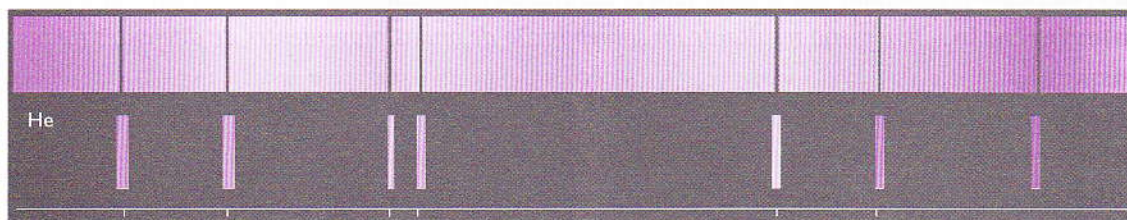
Espectro contínuo é aquele que não apresenta rupturas ou seja, inclui todos os comprimentos de onda. Este tipo de espectro é dado por corpos que se encontram no estado sólido ou líquido bem como pelo plasma quando se encontram a altas temperaturas. Através de um espectrógrafo podemos visualizar um espectro contínuo como uma linha contínua multicolor (figura 12).



..... Figura 12: Representação de um espectro de emissão contínuo.

O espectro contínuo não é característico de algum elemento químico, mas, como mais adiante veremos, é característico da radiação do corpo negro, ou da radiação térmica.

Espectro de linhas é o espectro constituído por um determinado número de linhas de diversas cores separadas nitidamente por zonas escuras (figura 13). Tais linhas, nitidamente separadas, correspondem cada uma a um determinado comprimento de onda. Num espectro de emissão temos riscas coloridas sobre um fundo negro, ao contrário, o espectro de absorção surge com um fundo colorido com riscas negras. As riscas correspondem a uma determinada radiação que é absorvida ou emitida por um determinado elemento no processo de excitação e desexcitação electrónica. Quando sobrepostos os dois espectros do mesmo elemento, as riscas coincidem. Este tipo de espectro é produzido por gases monoatômicos (por exemplo, o hidrogénio) ou vapores incandescentes (por exemplo, vapores de sódio).



..... Figura 13: Representação de um espectro de linhas (riscas).

Espectro de faixas é o espectro formado por um conjunto de faixas luminosas separadas por intervalos escuros. Este tipo de espectro é produzido por radiações luminosas emitidas por moléculas.



..... Figura 14: Representação de um espectro de faixas (bandas).

1.5.3 Análise espectral na indústria

A análise espectral é um método usado para definir a composição química de uma substância através do seu espectro.

A análise espectral é um método muito sensível pois apresenta características particulares. O espectro está para a identificação de um dado elemento como as impressões digitais de uma pessoa. Foi graças à análise espectral que se ficou a conhecer a composição química do Sol e das estrelas e ainda a descoberta de certos elementos químicos como, por exemplo, o rubídio.

Na indústria metalúrgica, a análise espectral é empregue no controlo da composição dos materiais para a construção de máquinas. Na indústria mineira é aplicada para determinar a composição química bem como a pureza dos minérios e dos minerais. A composição de misturas complexas é feita segundo os seus espectros moleculares.

1.5.4 Propriedades e aplicações das ondas electromagnéticas

No nosso dia-a-dia deparamo-nos com várias situações que se encontram associadas às ondas electromagnéticas. Por exemplo, o sinal de rádio chega até à nossa casa através das ondas electromagnéticas que se propagam no espaço. As propriedades das ondas electromagnéticas permitem diversas aplicações no quotidiano.

1.5.4.1 Propriedades das ondas electromagnéticas

As ondas electromagnéticas possuem as seguintes propriedades:

- **Reflexão** – retorno da onda ao meio de proveniência. Os metais reflectem muito bem as ondas electromagnéticas;
- **Refracção** – propriedade que a onda tem de atravessar os obstáculos;
- **Interferência** – fenómeno resultante da sobreposição de ondas provenientes de diferentes fontes;
- **Dispersão** – variação da velocidade de propagação das ondas num meio em função do seu comprimento de onda ou da sua frequência;
- **Difracção** – propriedade que as ondas têm de contornar os obstáculos;
- **Polarização** – ordenamento da direcção das oscilações de uma onda electromagnética segundo uma certa maneira;
- Provocam o aumento da temperatura dos corpos que atravessam;
- São invisíveis, excepto a luz visível.

1.5.4.2 Aplicações das ondas electromagnéticas

Sabemos que as ondas electromagnéticas são usadas na iluminação e visualização: é com base na radiação electromagnética visível que conseguimos ver as cores e todas as maravilhas que o mundo nos oferece.

As ondas electromagnéticas são usadas nas comunicações a longa distância; por exemplo, na telefonia móvel, na emissão do sinal de rádio ou de TV que chega até ao nosso receptor, para a Internet, satélites, etc. Através dos radares é possível determinar a altura do voo de um



..... Figura 15: A iluminação pública é um exemplo de aplicação das ondas electromagnéticas.

avião bem como a sua localização exacta (para este fim, também se emprega na área militar para detectar a presença de um avião inimigo), permitindo fazer aterragens em condições de má visibilidade.

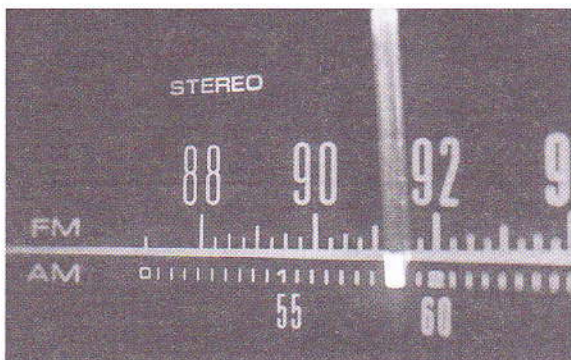
A radiação electromagnética na região de microondas é empregue no processamento de alimentos.

A região do infravermelho é usada para a fotografia e visualização no escuro: esta técnica é muito usada na área militar para identificar o inimigo à noite com o auxílio de binóculos que funcionam na região do infravermelho. É usada para a secagem de revestimentos de vernizes, tintas, frutas, etc.

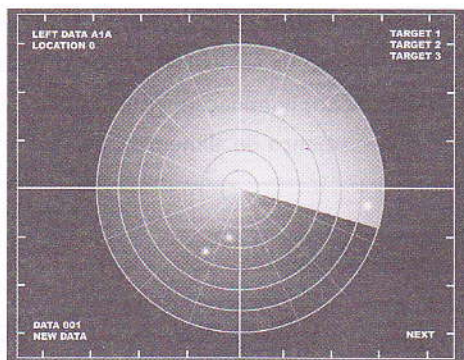
Para fazer uma radiografia, na medicina, é usada a radiação electromagnética na região dos raios X para identificar fracturas no organismo humano bem como para diagnosticar doenças. Na indústria, os raios X também são usados para verificar a imperfeição em peças. Nas investigações científicas usam-se os raios X para verificar a estrutura dos cristais, das ligações orgânicas e das diferentes formas em que a matéria se organiza.



..... Figura 16: Conseguimos comunicar na rua ou em qualquer lugar com pessoas distantes através de ondas electromagnéticas.



..... Figura 17: Acompanhamos as notícias através do nosso rádio porque a sua antena recebe ondas electromagnéticas da estação emissora.



..... Figura 18: Na área militar, para detectar a presença de um avião inimigo, usam-se radares.

Porque a radiação ultravioleta é ionizante, é usada como agente bactericida na medicina para destruir bactérias prejudiciais ao organismo humano. Quando as crianças se expõem ao Sol de forma moderada, aproveitam a radiação ultravioleta para o desenvolvimento do seu organismo (vitamina D_2). A radiação ultravioleta é também usada para aumentar o brilho de tintas e detergentes de lavar roupa.

Para a melhoria de polímeros e fibras empregam-se os raios γ .

Na cosmologia e na astrofísica usam-se os raios cósmicos para fazer estudos.



..... Figura 19: Uma exposição moderada ao sol ajuda no desenvolvimento do organismo.

Conceitos básicos

1. **Características de uma onda:** amplitude, comprimento, período, frequência e velocidade de propagação.
2. **Onda mecânica:** é a propagação das oscilações através de um meio material.
3. **Onda electromagnética:** é a propagação, em qualquer meio, da variação dos campos eléctrico e magnético.
4. **Diferença entre ondas mecânicas e electromagnéticas**
 - Origem: as ondas mecânicas são originadas por oscilações mecânicas; as ondas electromagnéticas são originadas por oscilações eléctricas.
 - Meios de propagação: as ondas mecânicas propagam-se nos meios materiais; as ondas electromagnéticas propagam-se nos meios materiais e no vácuo.
5. **Análise espectral:** método usado para definir a composição química de uma substância através do seu espectro.
6. **Onda electromagnéticas**
 - 6.1 **Espectro das ondas electromagnéticas:** conjunto das ondas electromagnéticas disposto em função do seu comprimento de onda ou da sua frequência.
 - 6.2 **Espectro óptico:** parte do espectro electromagnético constituído pelo grupo das radiações visíveis disposto em função do seu comprimento de onda ou da sua frequência.
 - 6.3 **Propriedades:** reflexão, refacção, interferência, dispersão, difracção, polarização, influenciam no aumento da temperatura dos corpos que atravessam, são invisíveis, excepto a luz visível.
 - 6.4 **Aplicação:** iluminação, visualização, comunicação a longa distância, diagnóstico de doenças, processamento de alimentos, etc.

Exercícios não resolvidos

I. Assinala, com X, a opção correcta:

- I.1 Durante a propagação de uma onda ocorre necessariamente transporte de:
 - a) matéria e energia.
 - b) matéria.
 - c) energia.
 - d) nenhuma das opções anteriores está correcta.
- I.2 Ondas longitudinais são aquelas em que a direcção de propagação é:
 - a) perpendicular à direcção da perturbação.
 - b) paralela à direcção da perturbação.
 - c) nenhuma das opções anteriores está correcta.
- I.3 Ondas transversais são aquelas em que a direcção de propagação é:
 - a) perpendicular à direcção da perturbação.
 - b) paralela à direcção da perturbação.
 - c) nenhuma das opções anteriores está correcta.
- I.4 A luz é uma:
 - a) onda mecânica.
 - b) onda electromagnética.
 - c) onda longitudinal.
 - d) onda que necessita de um meio material para se propagar.

- I.5 Ondas mecânicas são:
- a) aquelas que necessitam de um meio material para se propagarem.
 - b) aquelas que se propagam no vácuo.
 - c) necessariamente ondas transversais.
 - d) aquelas que não precisam de um meio material para se propagarem.
- I.6 Ondas electromagnéticas são:
- a) aquelas que necessitam de um meio material para se propagarem.
 - b) aquelas que não precisam de um meio material para se propagarem.
 - c) necessariamente ondas transversais.
 - d) nenhuma das opções anteriores está correcta.
- I.7 A velocidade de propagação de uma onda:
- a) depende do comprimento de onda, da frequência e do meio em que a onda se propaga.
 - b) depende unicamente do meio em que se propaga.
 - c) é a mesma em qualquer meio em que se propaga.
 - d) mecânica no ar é sempre igual a 3×10^3 m/s.
- I.8 A diferença entre as ondas mecânicas e electromagnéticas reside:
- a) na sua origem e nos meios de propagação.
 - b) unicamente na sua origem.
 - c) unicamente nos meios de propagação, pois as ondas mecânicas precisam de um meio material para se propagarem, enquanto as ondas electromagnéticas se propagam em meios materiais e no vácuo.
 - d) nenhuma das opções anteriores está correcta.
- I.9 Uma onda electromagnética resulta da variação:
- a) do campo eléctrico no decorrer do tempo.
 - b) do campo magnético no decorrer do tempo.
 - c) dos campos eléctrico e magnético no decorrer do tempo.
 - d) de uma onda mecânica no decorrer do tempo.
- I.10 A velocidade de propagação das ondas electromagnéticas:
- a) é maior no vácuo do que num meio qualquer.
 - b) é maior em qualquer meio do que no vácuo.
 - c) é a mesma em qualquer meio.
 - d) nenhuma das opções anteriores está correcta.
- I.11 Espectro das ondas electromagnéticas é o ordenamento das ondas electromagnéticas dispostas em função:
- a) dos meios de propagação.
 - b) da velocidade de onda ou da frequência.
 - c) do comprimento de onda ou da velocidade.
 - d) do comprimento de onda ou da frequência.
- I.12 No vácuo, as ondas electromagnéticas têm em comum:
- a) o período.
 - b) a frequência.
 - c) a velocidade.
 - d) a amplitude.

- I.13 Espectro óptico é o ordenamento das ondas electromagnéticas na região da luz visível dispostas em função:
- a) do comprimento de onda ou da frequência.
 - b) dos meios de propagação.
 - c) da velocidade de onda ou da frequência.
 - d) do comprimento de onda ou da velocidade.
- I.14 No espectro óptico das ondas electromagnéticas:
- a) os valores do comprimento de onda variam entre $7,8 \times 10^{-7}$ m e $4,55 \times 10^{-7}$ m.
 - b) as cores variam do vermelho ao azul.
 - c) cada cor corresponde a uma determinada frequência ou comprimento de onda.
 - d) nenhuma das opções anteriores está correcta.
- I.15 No Verão é aconselhável usar roupa clara porque esta:
- a) absorve bem a radiação.
 - b) reflecte bem a luz.
 - c) não emite radiação.
 - d) nenhuma das opções anteriores está correcta.
- I.16 As cores do arco-íris:
- a) são as mesmas que as do espectro óptico.
 - b) apresentam o mesmo valor de comprimento de onda, pois nunca se apresentam separadas.
 - c) apresentam o mesmo valor de frequência, pois nunca se apresentam separadas.
 - d) são sete estando dispostas na seguinte ordem: azul, anil, verde, amarela, laranja, violeta e vermelha.
- I.17 O azul do céu pode explicar-se com base:
- a) no comprimento de onda da radiação electromagnética emitida pelo Sol.
 - b) no comprimento de onda das águas do mar.
 - c) na quantidade de calor que a Terra absorve.
 - d) nenhuma das opções anteriores está correcta.
- I.18 Análise espectral é um método usado para definir:
- a) as quantidades de partículas que uma determinada substância apresenta.
 - b) a composição química de uma substância através do seu espectro.
 - c) a composição química de uma substância através do seu estado de agregação.
 - d) nenhuma das opções anteriores está correcta.
- I.19 As ondas electromagnéticas:
- a) são usadas na iluminação pública, no processamento dos alimentos, na comunicação a longa distância e no diagnóstico de doenças.
 - b) na região do espectro óptico aplicam-se na iluminação pública e no aumento do brilho de tintas.
 - c) são usadas, na área militar, como substituto de armamento.
 - d) aproveitam-se para o desenvolvimento dos organismos humanos porque são necessariamente quentes.
-

2. Formas de transmissão de calor (condução, convecção e radiação)

2.1 Calor e temperatura

Na 9.^a classe já vimos que o calor é uma forma de transmissão de energia que passa de um corpo para outro unicamente devido à diferença de temperatura entre esses corpos, ocorrendo do corpo de mais alta temperatura para o corpo de mais baixa temperatura.

A temperatura indica o estado de agitação das partículas que constituem uma dada substância, o que se traduz em estados de aquecimento ou de arrefecimento de um corpo. Está relacionada com a velocidade média de agitação das partículas constituintes de uma dada substância.

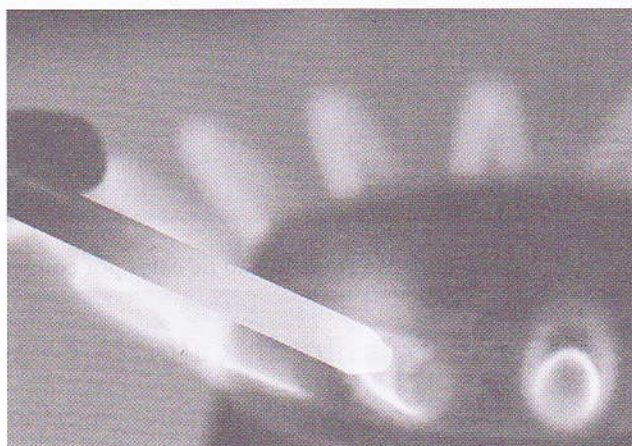
Recorda-te que a temperatura é expressa na escala absoluta Kelvin. A sua relação com a escala Celsius é dada como se segue: $T = t_{\text{C}} + 273$, onde: T é a temperatura na escala Kelvin e t_{C} é a temperatura na escala Celsius.

A escala Fahrenheit também é muito usada. A sua relação com a escala Celsius é: $\frac{t_{\text{C}}}{100} = \frac{t_{\text{F}} - 32}{180}$, onde: t_{C} é a temperatura em graus Celsius e t_{F} é a temperatura em graus Fahrenheit.

Vimos ainda que o calor pode ser transmitido por condução, por convecção e por radiação.

2.2 Transmissão de calor por condução

Ao aproximar uma colher metálica da chama de uma vela, segurando-a com a nossa mão numa das extremidades, sentiremos que a extremidade por onde seguramos a colher começa a aquecer. Isso acontece porque a energia interna das partículas da colher, da extremidade mais próxima da chama da vela, aumenta. Esse aumento provoca uma maior agitação das partículas, fazendo com que parte dessa mesma energia seja transferida para a outra extremidade da colher. Essa transferência de energia dá-se até as extremidades da colher estarem à mesma temperatura.



..... Figura 20: Transmissão de calor por condução.

Esta transmissão de calor chama-se transmissão de calor por condução.

A condutibilidade térmica de um determinado corpo é grande caso este se encontre no estado sólido, média se ele se encontrar no estado líquido e pequena caso esteja no estado gasoso.

Os metais, em geral, são os corpos que maior condutibilidade térmica possuem, pois são portadores de uma grande quantidade de electrões livres.

Constituem maus condutores de calor os corpos não metálicos tais como: a cortiça, a madeira, o papel e a lã. É por isso que os corpos não metálicos são usados como isoladores térmicos.

2.3 Transmissão de calor por convecção

Quando se coloca uma panela com água ao lume, verifica-se que, aos poucos, há a formação de correntes no interior da água. Essas correntes são designadas por correntes de convecção. A camada de líquido no fundo da panela recebe calor da sua superfície inferior aquecida e, conseqüentemente, sofre um aumento de volume. O aumento do volume da água irá implicar a diminuição da sua densidade.

Sendo a densidade da camada inferior do líquido menor do que a densidade das suas camadas superiores, as camadas mais densas descem para o fundo da panela e a camada menos densa sobe até à superfície do líquido originando as correntes de convecção.

As correntes de convecção surgem nos líquidos e nos gases.



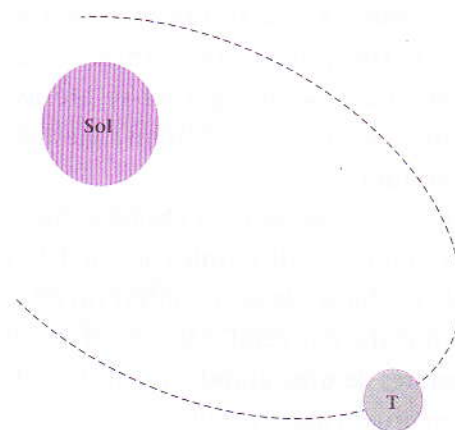
..... Figura 21: Transmissão de calor por convecção.

2.4 Transmissão de calor por radiação

Sabe-se que a Terra recebe o calor enviado pelo Sol.

A luz do Sol transporta consigo vários tipos de radiação – radiação visível, radiação infravermelha, etc. – sem precisar de um meio material para tal. É a radiação infravermelha que traz consigo o calor que chega até nós.

Os corpos sólidos, quando são sujeitos a aquecimento, também transmitem calor por radiação para o espaço à sua volta.



..... Figura 22: Radiação solar.

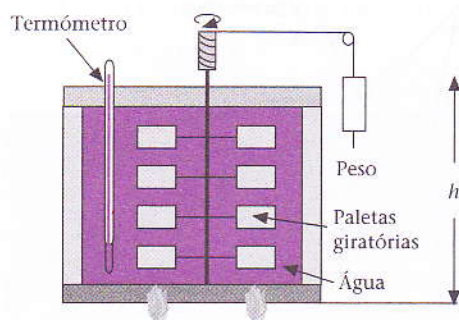
2.5 Fenómenos naturais relacionados com o calor

O calor é a parte da energia interna que um determinado corpo perde ou recebe durante a transferência de calor (aquecimento ou arrefecimento).

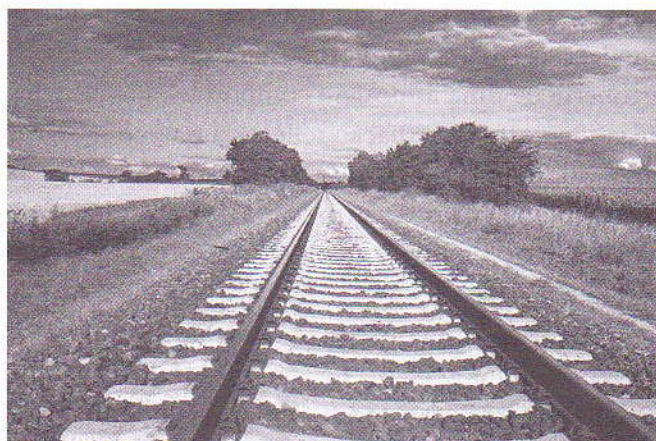
Sendo o calor uma energia em trânsito, podemos afirmar que o calor caracteriza o processo de transferência, enquanto a energia interna caracteriza o estado do corpo.

Nas investigações científicas, as trocas de calor são efectuadas num calorímetro. O uso do calorímetro permite determinar a quantidade de calor cedida ou recebida com maior exactidão.

O conhecimento sobre os fenómenos da dilatação térmica permitem-nos evitar muitos acidentes que poderiam ceifar vidas, além de avultados danos materiais. Por exemplo, nos carris de uma linha férrea existem espaços livres para que os carris, no Verão, possam dilatar livremente evitando que se encurvem, facto que provocaria o descarrilamento dos comboios (figura 24).

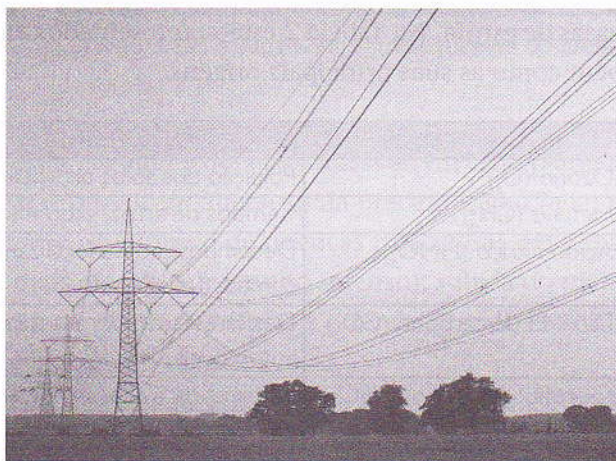


..... Figura 23: Calorímetro.



..... Figura 24: Entre os carris de uma linha férrea existem espaços vazios para permitir a sua dilatação.

A variação do comprimento com a temperatura é sempre tida em conta na colocação das linhas de alta tensão. Estas linhas de transporte de energia eléctrica apresentam uma curva porque os fios ao contraírem diminuem de comprimento (figura 25). Na construção de edifícios, estradas, pontes, etc., deixa-se um espaço a intervalos regulares de forma a permitir a livre dilatação dos materiais quando a temperatura ambiente aumenta.



..... Figura 25: As linhas de alta tensão apresentam uma curva para permitir a sua contracção.

2.6 Poluição ambiental

Poluição ambiental é a introdução de substâncias ou energia no meio ambiente provocando efeitos negativos no Homem, nos seres vivos e no ecossistema.

Deste modo, é poluição ambiental quando se contaminam as águas, os solos e o ar devido à deposição de lixo industrial, lixo orgânico, gases poluentes, entre outros. Os principais poluentes do meio ambiente são: o chumbo (Pb), o mercúrio (Hg), o enxofre (S), o monóxido de carbono (CO), os pesticidas e o gás carbónico (CO₂).

2.7 Efeito de estufa, aquecimento global e alterações climáticas

Sabe-se que o calor que chega até nós é devido à radiação solar. Parte dessa radiação é absorvida pela Terra e outra é reflectida (figura 26). Porque a Terra é coberta de uma atmosfera composta de gases, parte da radiação reflectida é absorvida por esses gases. Ora, a radiação retida pelos gases da atmosfera faz aumentar a temperatura nesta, dando origem ao efeito de estufa.

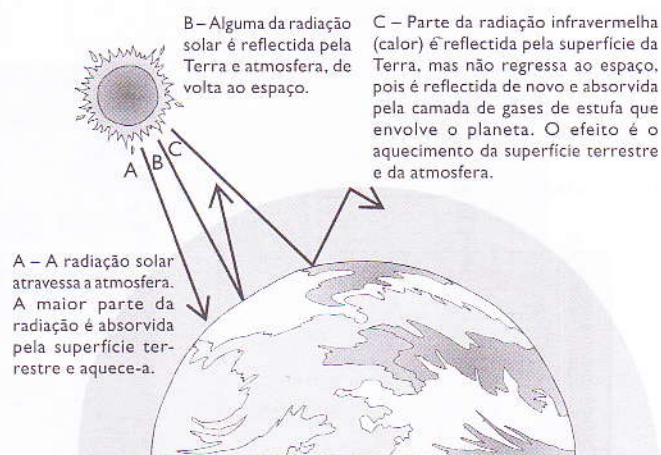
O efeito de estufa é um fenómeno descoberto por Joseph Fourier, em 1824, e ocorre devido à absorção, por gases existentes na atmosfera, de parte da radiação solar reflectida pela superfície da Terra.

A maior parte do aquecimento dos últimos anos é, provavelmente, devido ao aumento dos gases de estufa. Na Tabela 2 estão representados alguns gases responsáveis pelo efeito de estufa, bem como as suas principais origens.

Gases de estufa	Origem
Ozono (O ₃)	Poluição dos solos provocada por fábricas, refinarias de petróleo, automóveis.
Metano (CH ₄)	Campos de arroz, gado e lixeiras.
Ácido nítrico (HNO ₃)	Decomposição de fertilizantes químicos, combustão da madeira e de combustíveis fósseis.
Dióxido de carbono (CO ₂)	Desflorestação, combustão de carvão, de gás natural, de petróleo e veículos automóveis.
Clorofluorcarbono (CFC)	Motores de avião, uso de <i>sprays</i> , plásticos e solventes usados na indústria electrónica.

..... Tabela 2: Origem de alguns gases responsáveis pelo efeito de estufa.

O efeito de estufa tem como benefício manter a Terra aquecida e, deste modo, garantir boas condições para a manutenção de vida.



..... Figura 26: Parte da radiação solar é absorvida e outra é reflectida pela superfície da Terra.

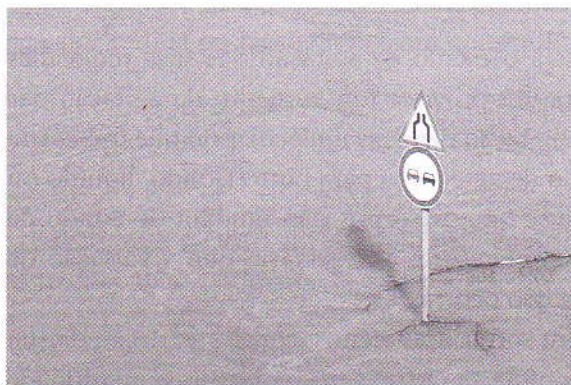
Se o efeito de estufa for em excesso, torna-se prejudicial à vida, provocando outro fenómeno, o *aquecimento global*.

Actualmente, a sociedade está preocupada com o aumento dos gases de estufa e com o aquecimento global. Como sabemos, o Homem é o grande responsável pela poluição. Na procura de maior conforto utiliza a tecnologia com efeitos perversos. É o caso do recurso exaustivo aos combustíveis fósseis que, entre outros efeitos, contribui para a subida dos níveis de CO_2 , o principal responsável pelo aumento do efeito de estufa. Devido a um aumento constante da população mundial, verifica-se um alto nível de desflorestação (o que provoca o desaparecimento de espécies animais e vegetais), de queima de combustíveis fósseis, do aumento do número de indústrias.



..... Figura 27: A desflorestação é uma das causas do efeito de estufa.

2.7.1 Consequências do efeito de estufa, aquecimento global e alterações climáticas



..... Figura 28: As cheias são uma consequência do efeito de estufa.



..... Figura 29: A seca é uma consequência do efeito de estufa.

As consequências do efeito de estufa irão resultar em alterações desastrosas ao nível do planeta Terra, nomeadamente alterações climáticas. Estas provocam alteração da precipitação (cheias e secas, o que afecta a produção agrícola), aumento do número de doenças infecciosas devido à proliferação de pestes, ondas de calor (haverá mais dias de calor muito intenso), subida do nível dos oceanos. O caso mais recente, consequente do efeito de estufa, é o fenómeno de El Niño (onda quente originada pelo aumento da temperatura do oceano).

As regiões pobres são as que mais impactos negativos do aquecimento global irão sofrer, embora as suas emissões sejam desprezáveis em relação às emissões dos países desenvolvidos. ♣

Existe um protocolo ractificado por muitos países com objectivos vinculativos e quantificados de limitação e redução dos gases com efeito de estufa. Esse protocolo é um passo importante na luta contra o aquecimento global e alterações climáticas.

3. Troca de calor entre os corpos. Princípio fundamental da calorimetria

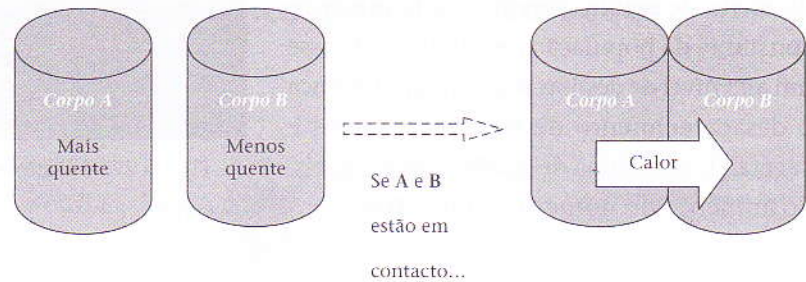
A troca de calor acontece entre corpos que se encontram a diferentes temperaturas. O calor recebido ou cedido durante uma troca de calor pode ser medido quantitativamente.

Calorimetria é um ramo da Física em que se estudam quantitativamente as trocas de calor.

3.1 Troca de calor entre os corpos

A troca de calor entre corpos ocorre sempre do corpo de mais elevada temperatura para o corpo de temperatura mais baixa (figura 30).

Durante a troca de calor ocorre variação da temperatura dos corpos que participam na interação. O corpo que cede calor sofre uma diminuição da sua temperatura e o corpo que recebe calor regista um aumento desta.



..... Figura 30: Transferência de calor entre corpos.

A variação da temperatura dos corpos influencia o estado de agitação das suas moléculas (movimento browniano). O aumento da temperatura provoca um aumento da agitação das partículas. Assim, um corpo quente regista maior agitação das suas moléculas do que um corpo frio. É por isso que os corpos passam de um estado de agregação para outro (sólido, líquido ou gasoso) em função da sua temperatura. Sublinhe-se que os corpos não mudam de estado de agregação sempre que ocorre uma variação da temperatura; é necessário que a variação de temperatura seja suficientemente grande para que isso ocorra.

Assim, durante a troca de calor os corpos podem sofrer dois efeitos, como a variação da sua temperatura ou a mudança de fase. Deste modo, define-se **calor sensível** como a quantidade de calor que um corpo recebe ou cede sem mudar de fase e **calor latente** como a quantidade de calor recebida ou cedida no decorrer do processo de mudança de fase. Uma vez que o calor é a energia em trânsito, tomamos como unidade de medida de calor a unidade de energia. Essa unidade no Sistema Internacional de Unidades, SI, é o *joule* (J). No entanto, existe uma outra unidade de calor muito usada chamada *caloria* (cal) e a sua relação com a unidade joule é:

$$1 \text{ cal} = 4,186 \text{ J}$$

Sendo 1 kcal (quilocaloria) = 1000 cal, o múltiplo da caloria.

3.1.1 Capacidade térmica de um corpo

Capacidade térmica de um corpo é a quantidade de calor que se deve fornecer a um corpo para que a sua temperatura se eleve em um kelvin.

$$C = \frac{Q}{\Delta T}$$

C – capacidade térmica de um corpo; Q – quantidade de calor; ΔT – variação de temperatura.

No Sistema Internacional de Unidades, a unidade de capacidade térmica de um corpo chama-se *joule por kelvin*:

$$[C] = \frac{[Q]}{[\Delta T]} = \frac{\text{Joule}}{\text{Kelvin}} = \frac{\text{J}}{\text{K}}$$

3.1.2 Calor específico ou capacidade térmica mássica de um corpo

Calor específico é a quantidade de calor que se deve fornecer a um corpo de um quilograma para que a sua temperatura se eleve em um kelvin.

$$c = \frac{Q}{m \cdot \Delta T}$$

Onde: c – é o calor específico; Q – é a quantidade de calor; m – é a massa; ΔT – é a variação de temperatura.

No Sistema Internacional de Unidades, a unidade de calor específico chama-se *joule por quilograma vezes kelvin*:

$$[c] = \frac{[Q]}{[m] \cdot [\Delta T]} = \frac{\text{Joule}}{\text{quilograma} \cdot \text{Kelvin}} = \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

Outra unidade muito usada para o calor específico é a *caloria por grama vezes grau centígrado*:

$$[c] = \frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot ^\circ\text{C}}$$

Da expressão de cálculo do calor específico chegamos à expressão de cálculo da quantidade de calor cedida ou recebida por um determinado corpo, dada pela expressão:

$$Q = c \cdot m \cdot \Delta T$$

A unidade de calor no Sistema Internacional de Unidades chama-se *joule (J)*.

$$[Q] = [c] \cdot [m] \cdot [\Delta T] = \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot (\text{K} \cdot \text{kg}) \Rightarrow [Q] = \text{J (joule)}$$

Existe uma relação entre a potência calorífica de uma fonte e a quantidade de calor por si fornecida, dada na forma:

$$P = \frac{Q}{\Delta t'}$$

onde: P – é a potência calorífica; Q – é a quantidade de calor; $\Delta t'$ – é o tempo.

3.2 Princípio fundamental da calorimetria

Sabe-se que, quando dois corpos que se encontram a temperaturas diferentes, são colocados em contacto, realizam trocas de calor até que estes se encontrem à mesma temperatura. Diz-se que os corpos atingem o equilíbrio térmico.

O princípio fundamental da calorimetria tem o seguinte enunciado: *Numa troca de calor entre corpos, o calor recebido é igual ao calor cedido.*

$$Q_{\text{cedido}} = Q_{\text{recebido}}$$

Assim, para dois corpos A e B que realizam trocas de calor, sendo $T_A < T_B$, teremos a seguinte igualdade:

$$c_A \cdot m_A \cdot \Delta T_A = c_B \cdot m_B \cdot \Delta T_B$$

Repare-se que: $\Delta T_A = T_e - T_A$ e $\Delta T_B = T_B - T_e$, onde T_e é a temperatura de equilíbrio.

4. Leis da radiação do corpo negro (Lei de Wien e Lei de Stefan-Boltzmann)

4.1 Radiação térmica

Sabe-se que todos os corpos emitem radiação infravermelha devido à sua temperatura que causa a excitação das partículas constituintes (à custa da energia interna) acompanhada dum movimento desordenado. É por isso que a radiação infravermelha também se chama radiação quente ou radiação térmica. A luz solar é um exemplo de radiação térmica.

Radiação térmica é a radiação electromagnética emitida por um corpo devido à sua energia interna.

O espectro da radiação térmica é um espectro contínuo sendo que a radiação maioritariamente emitida por um corpo depende da sua temperatura. Note-se que os corpos muito quentes emitem pouca radiação infravermelha porque o seu comprimento de onda é pequeno; ao contrário, os corpos pouco quentes emitem mais radiação infravermelha pois o seu comprimento de onda é grande.

A radiação térmica de um corpo depende da sua temperatura, do material de que o corpo é feito e da sua emissividade. Sublinhe-se que diferentes corpos à mesma temperatura não emitem a mesma radiação térmica.

A emissividade, e , é um factor numérico compreendido entre 0 e 1, que depende da constituição do corpo emissor. Assim, a intensidade da radiação emitida por um determinado corpo na unidade de tempo e superfície, é dada por: $I = e\sigma T^4$, onde: e – é a emissividade; σ – é a constante de Stefan-Boltzmann e T , a temperatura absoluta, de acordo com a Lei de Stefan-Boltzmann, como mais adiante veremos.

A intensidade de radiação emitida é energia, E , emitida por unidade de tempo, Δt , e por unidade de área, A . Assim, a unidade de intensidade de radiação emitida no Sistema Internacional de Unidades é o *Watt (W) por metro ao quadrado (m^2)*:

$$[I] = \frac{[E]}{[S][\Delta t]} = \frac{J}{m^2 \cdot s} = \frac{W}{m^2}$$

Repare-se que a razão $\frac{E}{\Delta t} = P$ é a potência luminosa, pelo que a intensidade da radiação emitida pode ser dada em potência emitida pela área de emissão.

A energia absorvida por um corpo transforma-se na sua energia interna, e tal depende do seu *poder absorvente*. O poder absorvente de um determinado corpo depende do comprimento de onda da radiação que sobre si incide, do material de que o corpo é feito e do estado da superfície do corpo.

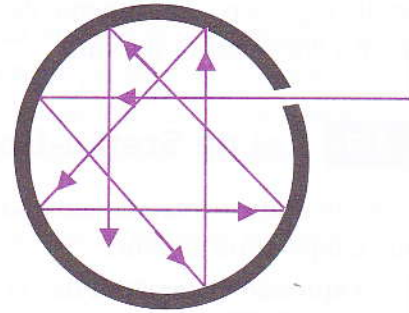
Um corpo real não se comporta como um corpo negro. A radiação que um corpo real emite é inferior à emitida pelo corpo negro. O mesmo ocorre com a radiação absorvida, que no corpo real é inferior à absorvida pelo corpo negro.

Corpo negro é um corpo ideal com as seguintes características:

- Absorve toda a radiação que sobre si incide (é um absorvedor perfeito);
- A radiação que emite depende da sua temperatura e é o corpo que mais radiação emite a uma dada temperatura (é um emissor perfeito);
- A intensidade da sua emissão tende para zero para comprimentos de onda baixos e para comprimentos de onda elevados.

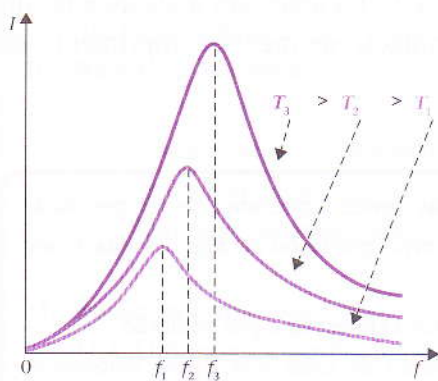
O poder absorvente, ou seja, a emissividade de um corpo negro é igual à unidade. Um corpo que reflecte toda a radiação que sobre si incide (espelho ideal) possui poder absorvente nulo. Deste modo, é evidente que corpos de grande poder absorvente mais rapidamente se aquecem com a radiação térmica do que os corpos de reduzido poder absorvente. A emissividade de um corpo é um factor numérico compreendido entre 0 e 1 e depende da constituição do corpo emissor. Um emissor perfeito tem emissividade 1 e um reflector perfeito tem emissividade 0.

Sublinhe-se que um corpo negro é apenas um modelo físico cujo princípio de funcionamento se pode elucidar através de uma cavidade quase completamente fechada provida de um pequeno orifício (figura 31). Na prática, nenhuma superfície absorve toda a radiação que nela incide. Parte da radiação incidente na cavidade através do orifício é absorvida pelas paredes internas e outra sofre sucessivas reflexões das paredes sem, no entanto, muita possibilidade de sair, sendo absorvida praticamente na totalidade. Apenas uma pequena fracção da radiação reflectida é que sai do orifício. A radiação emitida por um corpo negro chama-se radiação do corpo negro. A intensidade da radiação emitida por um corpo negro em função da frequência e em função do comprimento de onda à temperatura constante de diferentes valores está representada nas figuras 32 e 33, respectivamente.

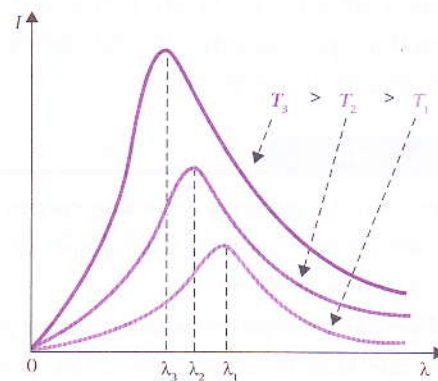


..... Figura 31: Corpo negro.

Repare-se que a radiação emitida pelo corpo negro cresce com o aumento da frequência, mas ultrapassado um determinado valor começa a decrescer aproximando-se do zero. Ao contrário, a radiação decresce com o aumento do comprimento de onda. Tal conclusão vem enunciada na Lei de Wien, lei que abordaremos a seguir. Através dos dois gráficos (figuras 32 e 33) torna-se fácil concluir que quanto maior for a temperatura maior é a intensidade da radiação emitida pelo corpo negro (enunciado da Lei de Stefan-Boltzmann). Para sabermos a intensidade total da radiação emitida, I , por um corpo negro é necessário ter em consideração as intensidades em todos os comprimentos de onda. Assim, a intensidade total da radiação emitida por um corpo negro é dada pelo valor da área definida pela curva da função e o eixo das abcissas.



..... Figura 32: Intensidade da radiação emitida em função da frequência a temperatura constante.



..... Figura 33: Intensidade da radiação emitida em função do comprimento de onda a temperatura constante.

4.2 Lei de Wien

O comprimento de onda máximo da radiação emitida por um corpo negro é inversamente proporcional à sua temperatura.

Escrevemos o enunciado da Lei de Wien pela seguinte expressão matemática:

$$\lambda_{\text{máx}} = \frac{b}{T}$$

onde: $\lambda_{\text{máx}}$ – é o comprimento de onda máximo; $b = 2,89 \times 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}$ – é a constante de Wien; T – é a temperatura absoluta.

4.3 Lei de Stefan-Boltzmann

A intensidade total da radiação emitida por um corpo negro varia com a quarta potência da sua temperatura absoluta.

A expressão matemática da Lei de Stefan-Boltzmann é dada pela forma abaixo:

$$I = e\sigma \cdot T^4$$

onde: I – é a intensidade da radiação emitida; $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \frac{\text{W}}{(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)}$ – é a constante de Stefan-Boltzmann; T – é a temperatura absoluta.

Como um corpo negro é um emissor perfeito, a emissividade, e , toma o valor 1, como vimos anteriormente.

4.4 Métodos para estimar a temperatura dos astros

Os astros encontram-se a diferentes temperaturas. Os métodos para estimar a temperatura dos astros baseiam-se nas Leis de Wien e de Stefan-Boltzmann, bastando para tal, tomando como exemplo a Lei de Stefan-Boltzmann, conhecer a superfície de emissão e a energia total de emissão.

Ao olharmos para o céu, numa noite de céu limpo, verifica-se que as estrelas são de diversas cores e, conforme o que já vimos anteriormente, cada cor no espectro óptico do espectro electromagnético corresponde a uma determinada frequência ou comprimento de onda. Em conformidade com a Lei de Wien, torna-se evidente que as estrelas azuis são mais quentes do que as vermelhas, pois as estrelas azuis apresentam uma radiação de menor comprimento de onda do que as estrelas vermelhas.

Conceitos básicos

1. **Calor:** energia transferida entre dois corpos ou dois sistemas devido à diferença de temperaturas entre eles. Parte da energia interna que um determinado corpo perde ou recebe durante o seu aquecimento ou arrefecimento.
 - 1.1 **Formas de transmissão do calor:** por condução, por convecção e por radiação.
É com base no conhecimento das formas de transmissão de calor que alguns fenómenos naturais podem ser explicados: a existência de espaços livres entre os carris de uma linha férrea, a forma encurvada dos fios eléctricos de alta tensão, etc.
2. **Poluição ambiental:** introdução de substâncias ou energia no meio ambiente provocando efeitos negativos no Homem, nos seres vivos e no ecossistema.

- 2.1 Principais poluentes do meio ambiente:** chumbo (Pb), mercúrio (Hg), enxofre (S), monóxido de carbono (CO), pesticidas e gás carbónico (CO₂).
- 3. Efeito de estufa:** fenómeno que ocorre devido à absorção de parte da radiação solar reflectida pela superfície da Terra por gases existentes na atmosfera.
Exemplo de gases responsáveis pelo efeito de estufa: dióxido de carbono (CO₂), ozono (O₃), metano (CH₄), ácido nítrico (HNO₃).
- 3.1 Consequências do efeito de estufa:** alterações climáticas, alteração da precipitação (cheias, seca), aumento de doenças infecciosas devido à proliferação de pestes, ondas de calor (mais dias de calor muito intenso), subida do nível dos oceanos. O efeito de estufa ajuda a garantir boas condições para a manutenção de vida na Terra. O aquecimento global é devido ao excesso do efeito de estufa que se torna prejudicial à vida.
- 4. Calorimetria:** ramo da Física em que se estudam quantitativamente as trocas de energia sob a forma de calor.
O fluxo energético sob a forma de calor entre corpos ocorre sempre do corpo à temperatura mais elevada para o corpo à temperatura mais baixa. O corpo que cede calor sofre uma diminuição da sua temperatura enquanto o corpo que o recebe regista um aumento desta.
- 5. Capacidade térmica:** quantidade de calor (Q) que se deve fornecer a um corpo para que a sua temperatura (ΔT) se eleve em um kelvin: $C = \frac{Q}{\Delta T}$.
- 5.1 Unidade de capacidade térmica no SI:** joule (J) por kelvin (K): $[C] = \frac{J}{K}$.
- 6. Calor específico ou capacidade térmica mássica:** quantidade de calor (Q) que se deve fornecer a um corpo de um quilograma de massa (m) para que a sua temperatura (ΔT) se eleve em um kelvin: $c = \frac{Q}{m \cdot \Delta T}$.
- 6.1 Unidade de calor específico no SI:** joule (J) por quilograma vezes kelvin (K): $[c] = \frac{J}{kg \cdot K}$.
- 7. Quantidade de calor:** $Q = c \cdot m \cdot \Delta T$.
- 7.1 Unidade de quantidade de calor no SI:** joule (J): $[Q] = J$.
- 8. Relação entre a potência calorífica e a quantidade de calor:** $P = \frac{Q}{\Delta t}$.
- 9. Princípio fundamental da calorimetria:** numa troca de calor entre corpos, o calor recebido é igual ao calor cedido: $Q_{\text{cedido}} = Q_{\text{recebido}}$
Para $T_A < T_B$, teremos: $c_A \cdot m_A \cdot \Delta T_A = c_B \cdot m_B \cdot \Delta T_B$
 $\Delta T_A = T_e - T_A$ e $\Delta T_B = T_B - T_e$, onde T_e é a temperatura de equilíbrio.
- 10. Radiação térmica:** radiação electromagnética emitida por um corpo à custa da sua energia interna.
- 10.1 Intensidade da radiação emitida:** energia emitida (E) por um determinado corpo na unidade de tempo (Δt) e área (A): $I = e\sigma T^4$.
- 10.2 Unidade da intensidade da radiação no SI:** Watt (W) por metro ao quadrado (m²):
 $[I] = \frac{W}{m^2}$.
- 11. Potência luminosa:** $P = \frac{E}{\Delta t}$.
- 11.1 Unidade de potência luminosa no SI:** Watt (W): $[P] = W$.
- 12. Poder absorvente:** a energia absorvida por um corpo depende do seu *poder absorvente*. Corpos de grande poder absorvente aquecem-se mais rapidamente com a radiação térmica do que os corpos de reduzido poder absorvente.
- 13. Corpo negro:** corpo que absorve toda a radiação que sobre si incide.

- 14. Lei de Wien:** o comprimento de onda máximo ($\lambda_{\text{máx}}$) da radiação emitida por um corpo negro é inversamente proporcional à sua temperatura (T): $\lambda_{\text{máx}} = \frac{b}{T}$
 $b = 2,89 \times 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}$ – é a constante de Wien.
- 15. Lei de Stefan-Boltzmann:** a intensidade da radiação emitida por um corpo negro varia com a quarta potência da sua temperatura absoluta (T): $I = e\sigma T^4$.
 $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}^4}$ – é a constante de Stefan-Boltzmann.
- 16. Métodos para estimar a temperatura dos astros:** baseiam-se nas Leis de Wien e de Stefan-Boltzmann, bastando para tal conhecer a superfície de emissão, a energia total de emissão ou a frequência (comprimento de onda).

Exercícios resolvidos

1. Uma barra de cobre de 0,1 kg que se encontrava a 283 K foi aquecida até atingir 373 K.

1.1 Determina a quantidade de calor sabendo que o calor específico do cobre vale 390,6 J/kg·K.

Dados

$$m = 0,1 \text{ kg}$$

$$T_1 = 283 \text{ K}$$

$$T_2 = 373 \text{ K}$$

$$Q = ?$$

$$c = 390,6 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$$

Resolução

$$Q = c \cdot m \cdot \Delta T$$

$$Q = c \cdot m \cdot (T_2 - T_1)$$

$$Q = 390,6 \text{ J/kg} \cdot \text{K} \cdot 0,1 \text{ kg} \cdot (373 \text{ K} - 283 \text{ K})$$

$$Q = 39,06 \frac{\text{J}}{\text{K}} \cdot 90 \text{ K}$$

$$Q = 3515,4 \text{ J}$$

Resposta: A quantidade de calor absorvida pelo cobre após o aquecimento foi de 3515,4 joules.

2. Determina o calor específico do chumbo sabendo que um pedaço de 0,1 kg deste a 473 K foi colocado num recipiente contendo 0,5 kg de água a 293 K. A temperatura de equilíbrio foi atingida a 294,1 K.

Dados

$$C_{\text{Pb}} = ?$$

$$m_{\text{Pb}} = 0,1 \text{ kg}$$

$$T_{\text{Pb}} = 473 \text{ K}$$

$$m_{\text{H}_2\text{O}} = 0,5 \text{ kg}$$

$$T_{\text{H}_2\text{O}} = 293 \text{ K}$$

$$T_e = 294,1 \text{ K}$$

Resolução

$$C_{pb} \cdot m_{pb} \cdot \Delta T_{pb} = C_{H_2O} \cdot m_{H_2O} \cdot \Delta T_{H_2O}$$

$$C_{pb} = \frac{C_{H_2O} \cdot m_{H_2O} \cdot \Delta T_{H_2O}}{m_{pb} \cdot \Delta T_{pb}}$$

$$\Delta T_{pb} = T_{pb} - T_e \text{ e } \Delta T_{H_2O} = T_e - T_{H_2O}$$

$$C_{pb} = \frac{C_{H_2O} \cdot m_{H_2O} \cdot (T_e - T_{H_2O})}{m_{pb} \cdot (T_{pb} - T_e)}$$

$$C_{pb} = \frac{4,2 \cdot 10^3 \text{ J/kg} \cdot \text{K} \cdot 0,5 \text{ kg} \cdot (294,1 \text{ K} - 293 \text{ K})}{0,1 \text{ kg} \cdot (473 \text{ K} - 294,1 \text{ K})}$$

$$C_{pb} = \frac{2,1 \cdot 10^3 \text{ J/kg} \cdot \text{K} \cdot 1,1 \text{ K}}{0,1 \cdot 179 \text{ K}} = \frac{2,31 \cdot 10^3 \text{ J/kg} \cdot \text{K}}{17,9}$$

$$C_{pb} = 0,12912 \cdot 10^3 \text{ J/kg} \cdot \text{K} \Leftrightarrow C_{pb} = 129,12 \cdot 10^3 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$$

Resposta: O calor específico do cobre em joule por quilograma vezes kelvin é de 129,12.

3. Uma chaleira eléctrica contendo 500 g de água a 20 °C e cuja potência é de 200 W encontra-se ligada a uma tomada durante 5 minutos.

3.1 Verifica se o tempo de funcionamento da chaleira, supondo um rendimento de 100%, foi suficiente para atingir o ponto de ebulição da água.

Dados

$$m_{H_2O} = 500 \text{ g} = 0,5 \text{ kg}$$

$$T_{H_2O} = 20 \text{ °C} = 293 \text{ K}$$

$$P = 200 \text{ W}$$

$$c_{H_2O} = 4,2 \cdot 10^3 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$$

$$T'_{H_2O} = 373 \text{ K}$$

$$\Delta t = 5 \text{ min} = 5 \cdot 60 \text{ s} = 300 \text{ s}$$

Resolução

Sendo o rendimento 100%, a quantidade de calor relaciona-se com a potência através da expressão:

$$P = \frac{Q_{H_2O}}{\Delta t} \Rightarrow Q_{H_2O} = P \cdot \Delta t = 200 \text{ W} \cdot 300 \text{ s} = 6 \cdot 10^4 \text{ J}$$

$$m_{H_2O} = \frac{Q_{H_2O}}{c_{H_2O} \cdot (T'_{H_2O} - T_{H_2O})}$$

$$m_{H_2O} = \frac{6 \cdot 10^4 \text{ J}}{4,2 \cdot 10^3 \text{ J/kg} \cdot \text{K} \cdot 20 \text{ K}} = \frac{6 \cdot 10^4 \text{ J}}{84 \cdot 10^3 \text{ J/kg}} \Rightarrow m_{H_2O} = 0,07142 \cdot 10^1 \text{ kg} \Leftrightarrow m_{H_2O} = 0,714 \text{ kg}$$

Sabendo a energia transferida para a água sob a forma de calor (acima calculada), determinamos a temperatura atingida pela água da seguinte forma:

$$Q = mc\Delta T \Leftrightarrow \Delta T = \frac{Q}{mc} \Leftrightarrow T_f - 293 = \frac{6 \times 10^4}{0,5 \times 4,2 \cdot 10^3} \Leftrightarrow T_f = 28,6 + 293 = 321,6 \text{ K}$$

Resposta: O tempo de funcionamento da chaleira apenas permitiu que a água atingisse 321,6 K, pelo que não entrou em ebulição. Para tal, teria de atingir 373 K.

4. Calcule a intensidade da radiação emitida por uma estrela cujo comprimento de onda máximo é de 5173 Å.

Dados

$$\lambda_{\text{máx}} = 5173 \text{ \AA} = 5173 \times 10^{-10} \text{ m}$$

$$I = ?$$

Resolução

Repare-se que para encontrarmos o valor da intensidade da radiação é necessário, primeiro, calcular a temperatura a que corresponde o valor do comprimento de onda dado. Assim, recorrendo à equação que traduz a Lei de Wien teremos:

$$\lambda_{\text{máx}} = \frac{b}{T} \Rightarrow T = \frac{b}{\lambda_{\text{máx}}} = \frac{2,89 \times 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}}{5173 \times 10^{-10} \text{ m}} \Leftrightarrow 5,586 \times 10^3 \text{ K}$$

Agora com base na expressão matemática da Lei de Stefan-Boltzmann teremos o valor da intensidade da radiação emitida pela estrela, sendo que a estrela pode ser considerada um corpo negro, pelo que, $e = I$:

$$I = \sigma \cdot T^4 \Rightarrow I = 5,67 \times 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}^4} \cdot (5,586 \times 10^3 \text{ K})^4$$

$$I = 5,67 \times 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}^4} \cdot 9,736 \times 10^{14} \text{ K}^4 \Leftrightarrow I = 5,52 \times \frac{10^7 \text{ W}}{\text{m}^2}$$

Resposta: A intensidade da radiação emitida pela estrela é de $5,52 \times \frac{10^7 \text{ W}}{\text{m}^2}$.

Exercícios não resolvidos

I. Assinala, com X, a opção correcta:

I.1 Existem três formas de transmissão de calor, nomeadamente:

- a) fricção, radiação e condução.
- b) condução, radiação e fricção.
- c) fricção, radiação e convecção.
- d) condução, radiação e convecção.

I.2 A transmissão de calor por condução:

- a) ocorre entre dois corpos que não estejam em contacto um com o outro.
- b) ocorre com a transmissão de energia através das moléculas (ou átomos) de uma extremidade à outra num corpo.
- c) é mais acentuada na madeira do que no alumínio.
- d) nenhuma das opções está correcta.

I.3 As correntes de convecção surgem:

- a) nos sólidos devido ao aumento da sua temperatura.
- b) nos líquidos por causa do aumento da sua temperatura e volume.
- c) nos líquidos e gases quando a sua temperatura aumenta.
- d) nos líquidos e gases por causa da sua temperatura e volume.

I.4 Sempre que o calor for transmitido entre dois corpos, na ausência de um meio material para que tal ocorra, estaremos perante uma transmissão de calor por:

- a) convecção.
- b) radiação.
- c) condução.
- d) fricção.



- 1.5 Diz-se que dois corpos estão em equilíbrio térmico no momento em que:
- fazem a troca de calor.
 - um está quente e o outro frio.
 - ambos estão quentes ou frios.
 - ambos tiverem a mesma temperatura.
- 1.6 A poluição ambiental:
- provoca efeitos positivos no Homem, nos seres vivos e no ecossistema.
 - contribui para um bom desenvolvimento dos ecossistemas.
 - é prejudicial para o Homem, mas benéfica para as plantas e animais.
 - nenhuma das opções está correcta.
- 1.7 É exemplo de poluição ambiental:
- quando se ferve água e quando cultivamos o solo.
 - quando queimamos a lenha para cozer os alimentos.
 - a contaminação das águas e o plantio de árvores.
 - o uso de pesticidas e a queda da chuva.
- 1.8 Parte da radiação proveniente do Sol e que é retida pelos gases da atmosfera faz com que a temperatura, na atmosfera, aumente:
- dando origem ao aquecimento global.
 - originando o efeito de estufa.
 - poluindo o meio ambiente.
 - nenhuma das opções anteriores está correcta.
- 1.9 O efeito de estufa é benéfico pois:
- mantém a Terra aquecida garantindo condições adequadas para a manutenção de vida.
 - contribui para o aquecimento global.
 - não contribui para as alterações climáticas.
 - contribui para um bom crescimento das plantas e dos animais.
- 1.10 Os níveis de CO_2 , um dos gases responsáveis pelo efeito de estufa, têm vindo a aumentar:
- devido ao desaparecimento de espécies animais e vegetais.
 - porque se verifica um crescente uso de energias renováveis.
 - devido à crescente queima de combustíveis fósseis que se verifica actualmente.
 - devido ao aumento da prática de pesca industrial.
- 1.11 Quando o efeito de estufa se torna excessivo tem-se como consequência:
- o aumento da população.
 - as cheias e o aumento da produção agrícola.
 - o aumento de doenças infecciosas, a alteração do clima e a seca.
 - nenhuma das opções anteriores está correcta.
- 1.12 Na calorimetria, um ramo da Física, estudam-se:
- quantitativamente as trocas de calor com o auxílio de uma fita métrica.
 - as quantidades de calor recebidas ou cedidas durante uma transferência de energia entre corpos através da radiação.
 - alterações climáticas e o aquecimento global.
 - nenhuma das opções anteriores está correcta.

- 1.13 Se durante uma troca de calor um corpo mudar de estado de agregação podemos afirmar que tal corpo:
- a) recebeu ou cedeu calor sensível.
 - b) recebeu ou cedeu calor latente.
 - c) arrefeceu.
 - d) aqueceu.
- 1.14 Se durante uma troca de calor um corpo não mudar de estado de agregação podemos afirmar que tal corpo:
- a) recebeu ou cedeu calor latente.
 - b) recebeu ou cedeu calor sensível.
 - c) arrefeceu.
 - d) aqueceu.
- 1.15 Dois corpos diferentes em equilíbrio térmico:
- a) possuem a mesma capacidade térmica.
 - b) têm a mesma quantidade de calor.
 - c) possuem necessariamente o mesmo tamanho.
 - d) nenhuma das opções anteriores está correcta.
- 1.16 Um pedaço de cobre de 500 g encontrando-se a 0 °C foi aquecido até atingir uma temperatura de 373 K. A quantidade de calor, sabendo que o calor específico do cobre é de 390,6 J/kg·K, é de:
- a) $1,953 \times 10^4$ J
 - b) $7,284 \times 10^7$ J
 - c) $1,953 \times 10^7$ J
 - d) $7,284 \times 10^7$ J
- 1.17 O calor específico do chumbo, sabendo que 500 g deste a 500,4 K foram colocados num recipiente contendo 2500 g de água a 47,4 °C e que a temperatura de equilíbrio foi atingida a 321,7 K, é de:
- a) $3,217 \times 10^4$ J/kg·K
 - b) $1,291 \times 10^2$ J/kg·K
 - c) $3,415 \times 10^6$ J/kg·K
 - d) nenhuma das opções está correcta.
- 1.18 Uma panela levada ao lume a 22 °C contém 2,7 litros de água e demora 7 minutos a entrar em ebulição.
- 1.18.1 A quantidade de calor e a potência calorífica são, respectivamente:
- a) $8,845 \times 10^5$ J e $2,1059 \times 10^3$ W
 - b) $3,345 \times 10^6$ J e $7,965 \times 10^3$ W
 - c) $2,494 \times 10^5$ J e $5,9 \times 10^2$ W
 - d) nenhuma das opções anteriores está correcta.
- 1.18.2 A capacidade calorífica da referida quantidade de água equivale a:
- a) $4,02 \times 10^4$ J
 - b) $3,197 \times 10^3$ J
 - c) $1,52045 \times 10^4$ J
 - d) $1,133 \times 10^4$ J

- I.19 A Dúlcia gasta 7,65 litros de água a $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ para fazer o seu banho num chuveiro eléctrico de 2200 W demorando 17 minutos. A massa de água quente usada durante o banho é:
- a) 7650 kg
 - b) 765 kg
 - c) 76,5 kg
 - d) 7,65 kg
- I.20 Uma quantidade de 500 g de água a $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ encontra-se no interior de um calorímetro cuja capacidade térmica é de $110\text{ cal}/^{\circ}\text{C}$. Nele, introduz-se um pedaço de 250 g de alumínio a $293\text{ }^{\circ}\text{F}$. Dado que não haja trocas de calor com o meio externo, o valor da temperatura da mistura é:
- (Usa $c_{\text{H}_2\text{O}} = 1,0\text{ cal/g }^{\circ}\text{C}$ e $c_{\text{Al}} = 0,20\text{ cal/g }^{\circ}\text{C}$.)
- a) $35,9\text{ }^{\circ}\text{C}$
 - b) $49,36\text{ }^{\circ}\text{C}$
 - c) $60,7\text{ }^{\circ}\text{C}$
 - d) $96,6\text{ }^{\circ}\text{C}$
- I.21 A massa de 0,1 kg de água contida num recipiente recebeu $1,26 \times 10^5\text{ J}$. A variação de temperatura, na escala Celsius, não tendo em conta a troca de calor entre o recipiente e o meio ambiente é:
- a) $301\text{ }^{\circ}\text{C}$
 - b) $71,428\text{ }^{\circ}\text{C}$
 - c) $27\text{ }^{\circ}\text{C}$
 - d) $270\text{ }^{\circ}\text{C}$
- I.22 Num recipiente foram misturados 30 g de gelo de água a 273 K e 0,125 kg de água a $50\text{ }^{\circ}\text{C}$. O valor da temperatura de equilíbrio é:
- (Usa $L_{\text{gelo}} = 2000\text{ J/kg} \cdot \text{K}$.)
- a) $317,8\text{ }^{\circ}\text{C}$
 - b) $72,8\text{ }^{\circ}\text{C}$
 - c) $40,2\text{ }^{\circ}\text{C}$
 - d) $48,15\text{ }^{\circ}\text{C}$
- I.23 Dados dois corpos, A e B, feitos de materiais diferentes mas à mesma temperatura, podemos afirmar que:
- a) ambos emitem necessariamente a mesma radiação térmica.
 - b) a radiação emitida por ambos não depende da temperatura mas sim do material de que cada um é feito.
 - c) ambos emitirão muita radiação se estiverem muito quentes ou pouca radiação caso estejam pouco quentes.
 - d) nenhuma das opções está correcta.
- I.24 A intensidade da radiação emitida por um corpo que se encontra a uma determinada temperatura corresponde à energia por si emitida na unidade:
- a) de tempo.
 - b) de tempo e superfície.
 - c) de temperatura.
 - d) de temperatura e superfície.

- 1.25 Quando uma certa radiação incide sobre um corpo, a energia absorvida:
- a) dependerá do estado da superfície do corpo, do material de que ele é feito e do comprimento de onda da radiação incidente.
 - b) transforma-se em energia interna do corpo mas não depende do material de que o corpo é feito.
 - c) enegrece-o sempre, pois qualquer corpo que absorve radiação térmica torna-se um corpo negro.
 - d) nenhuma das opções está correcta.
- 1.26 Um corpo designa-se espelho ideal:
- a) quando absorve toda a radiação que nele incide.
 - b) quando não absorve nem reflecte a radiação que nele incide.
 - c) quando transforma a radiação térmica em radiação luminosa.
 - d) quando reflecte na totalidade a radiação que sobre si incide.
- 1.27 A radiação térmica emitida por uma fonte incide sobre dois corpos, A e B, feitos de materiais diferentes. Passado algum tempo verifica-se que o corpo A se encontra mais quente do que o corpo B. Nessa situação:
- a) o corpo B possui maior poder absorvente do que o corpo A.
 - b) o comprimento de onda da radiação incidente é muito grande, tal que não consegue aquecer os dois corpos com a mesma temperatura.
 - c) o corpo B possui menor poder absorvente do que o corpo A.
 - d) o corpo B é um espelho ideal pois não absorve nenhuma radiação da fonte.
- 1.28 Sobre a radiação térmica de um corpo negro podemos afirmar que:
- a) o comprimento de onda da radiação por si emitida diminui com o aumento da sua temperatura e vice-versa.
 - b) após emitir toda a radiação por si absorvida para o meio exterior à sua volta torna-se num espelho ideal.
 - c) a intensidade da radiação por si emitida diminui com o aumento da sua temperatura e vice-versa.
 - d) nenhuma das opções anteriores está correcta.
- 1.29 A partir da Lei de Wien é possível encontrar o valor da temperatura de uma estrela bastando, para tal, conhecer:
- a) a cor da estrela.
 - b) o tamanho da estrela.
 - c) a distância da estrela até ao ponto de observação.
 - d) nenhuma das opções está correcta.
- 1.30 A intensidade da radiação emitida por um corpo negro em função da sua temperatura é dado por:
- a) $I = \sigma^4 \cdot T$
 - b) $I = \frac{\sigma^4}{T}$
 - c) $I = \sigma \cdot T^4$
 - d) $I = \frac{\sigma}{T^4}$



- I.31 A intensidade da radiação emitida por uma estrela do tipo γ é 81 vezes menor do que a da estrela β . Assim podemos afirmar que a temperatura da estrela β :
- é 9 vezes maior do que a temperatura da estrela γ .
 - é 9 vezes menor do que a temperatura da estrela γ .
 - é 3 vezes maior do que a temperatura da estrela γ .
 - é 3 vezes menor do que a temperatura da estrela γ .
- I.32 Uma fonte emite uma radiação monocromática cujo comprimento de onda é de 500 nm. O valor da temperatura da radiação emitida por tal fonte é:
- $1,73 \times 10^{-4}$ K
 - 5780 K
 - $5,78 \times 10^{-6}$ K
 - 578 K
- I.33 A energia que uma superfície metálica de um corpo com a área de 3 m^2 irradia durante 20 s, a uma temperatura de 4000 K é:
- $4,53 \times 10^{-2} \text{ m}^2$
 - 220,4 m^2
 - 200 m^2
 - nenhuma das opções está correcta.
- I.34 Um corpo negro emite radiação térmica cujo valor máximo de comprimento de onda é 1500 Å. (Usa $1 \text{ Å} = 10^{-10} \text{ m}$.)
- I.34.1 A temperatura a que esse corpo se encontra é de:
- $1,926 \times 10^4$ K
 - $1,927 \times 10^{-6}$ K
 - $5,190 \times 10^{-5}$ K
 - $5,190 \times 10^5$ K
- I.34.2 O valor da intensidade da radiação emitida pelo referido corpo vale:
- $7,802 \times 10^9 \text{ W/m}^2$
 - $7,818 \times 10^{-31} \text{ W/m}^2$
 - $4,113 \times 10^{-25} \text{ W/m}^2$
 - nenhuma das opções está correcta.
- I.35 Três estrelas, A, B e C, emitem radiações. Sendo as temperaturas das estrelas A e B iguais a 5000 K e 10 000 K respectivamente, e dado que o comprimento de onda da estrela C é de 1930 Å:
- I.35.1 a temperatura da estrela C é aproximadamente igual a:
- $1,497 \times 10^{-6}$ K
 - $1,497 \times 10^4$ K
 - $6,678 \times 10^5$ K
 - $1,497 \times 10^4$ K
- I.35.2 os comprimentos de onda das radiações emitidas pela estrela A e pela estrela B são, respectivamente, iguais a:
- $5,78 \times 10^{-7} \text{ m}$ e $2,89 \times 10^{-7} \text{ m}$
 - $1,73 \times 10^6 \text{ m}$ e $3,46 \times 10^6 \text{ m}$
 - $2,89 \times 10^{-7} \text{ m}$ e $5,78 \times 10^{-7} \text{ m}$
 - nenhuma das opções está correcta.

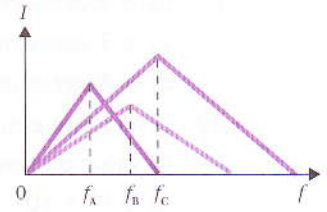
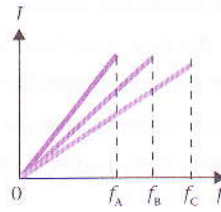
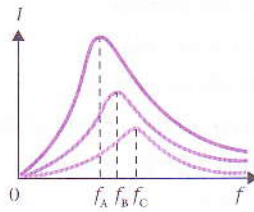
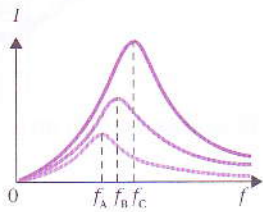
1.35.3 o gráfico da intensidade da radiação em função da frequência das radiações emitidas pelas três estrelas é:

a)

b)

c)

d)



1.36 Sabe-se que a temperatura do Sol é da ordem de 10^7 K. A intensidade da radiação emitida e o comprimento de onda da radiação solar valem, respectivamente:

a) $5,67 \times 10^{27}$ W/m² e $3,46 \times 10^9$ m

b) $5,67 \times 10^{20}$ W/m² e $2,89 \times 10^{-10}$ m

c) $2,89 \times 10^{-10}$ m e $5,67 \times 10^{27}$ W/m²

d) nenhuma das opções está correcta.

1.37 O comprimento de onda máximo $\lambda_{\text{máx}}$ da radiação emitida pela estrela Capella é de 557 mm. Qual a intensidade da radiação emitida pela estrela?

a) $4,109 \times 10^7$ W/m²

b) $7,823 \times 10^1$ W/m²

c) $4,109 \times 10^{-29}$ W/m²

d) $7,823 \times 10^{13}$ W/m²

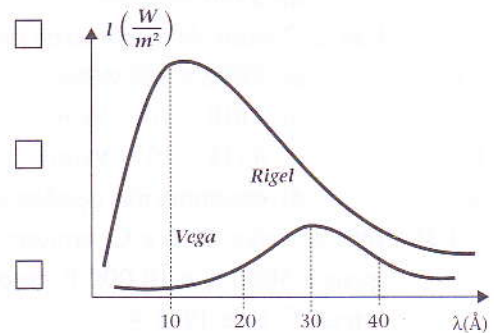
1.38 O gráfico mostra a intensidade da radiação emitida pelas estrelas Vega e Rigel em função do comprimento de onda. A partir do gráfico podemos afirmar que:

a) a estrela Vega é a mais quente, pois apresenta menor emissividade do que a estrela Rigel.

b) a estrela Rigel é a mais quente, pois apresenta maior intensidade de radiação emitida do que a estrela Vega.

c) a estrela Vega é a menos quente, pois apresenta menor comprimento de onda do que a estrela Rigel.

d) a estrela Rigel é a menos quente, pois apresenta maior comprimento de onda do que a estrela Vega.



1.39 No exercício anterior, os valores estimados para as temperaturas das estrelas Rigel e Vega são, respectivamente:

a) $2,89 \times 10^6$ K e $9,633 \times 10^5$ K

b) $3,46 \times 10^{-7}$ K e $1,038 \times 10^{-6}$ K

c) $2,89 \times 10^{-4}$ K e $9,633 \times 10^{-5}$ K

d) $3,46 \times 10^3$ K e $1,038 \times 10^4$ K

Vamos experimentar...

Experiência 1

Dependência da radiação do corpo negro em função da sua temperatura e do comprimento de onda

Objectivos:

- Verificar o efeito da variação da temperatura no deslocamento do equilíbrio.
- Verificar a dependência da radiação do corpo negro em função da temperatura (Lei de Stefan-Boltzmann).
- Verificar a influência da cor (comprimento de onda) de um corpo na radiação por si emitida (Lei de Wien).

Materiais: Duas latas de refresco do mesmo material; tinta preta e tinta branca; uma lâmpada de 100 W; um bocal para a lâmpada; um fio eléctrico, um interruptor; uma tomada de 220 V; um cronómetro; dois termómetros (usa termómetros à base de álcool ou à base de mercúrio ou, ainda, um termómetro digital); duas molas de estender a roupa; uma régua com pequenos orifícios.

Procedimentos:

- Para o sucesso desta experiência, a turma deve organizar-se em grupos de, no mínimo, dois alunos.
- Pinta as duas latas, sendo uma com tinta preta e outra com tinta branca. Deixa a tinta secar bem.
- Liga o fio eléctrico e a lâmpada ao bocal.
- Depois de secas, coloca as duas latas em cima de uma mesa para a experiência.
- Com o apoio das molas, introduz um termómetro em cada lata através dos orifícios da régua e veda-os bem para que não haja trocas de calor pelo orifício.
- Liga o fio à tomada de 220 V e aproxima a lâmpada apagada das duas latas.
- Regista a temperatura inicial lida directamente em cada termómetro.
- Seguidamente, liga o interruptor ao mesmo tempo que ligas o cronómetro. De 2 em 2 minutos, regista os novos valores de temperatura lidos em cada termómetro.



..... Figura 34: Montagem da experiência.

Vamos experimentar...

Tratamento dos resultados da experiência

1. Com base na expressão matemática da Lei de Stefan-Boltzmann $I = \sigma \cdot T^4$ calcula a intensidade (I) da radiação emitida por cada lata em função da temperatura.
2. Calcula os valores do comprimento de onda para cada lata em função da temperatura recorrendo à expressão matemática da Lei de Wien.
3. Repete a experiência quinze vezes registando, para cada lata, todos os dados numa tabela como a seguinte e responde às perguntas de controlo.

N.º da Experiência	t (s)	t (°C)	T (K)	λ (m)	I (W/m ₂)	U (V)
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						

Tabela 3: Tabela para o preenchimento dos dados da experiência.

- 3.1 Qual das latas apresenta maior irradiação?
- 3.2 Qual das latas aquece em menos tempo?
- 3.3 Qual das latas apresenta maior poder absorvente? Justifica.
- 3.4 Qual é a relação entre a cor e o poder de absorção?
- 3.5 Supõe que a experiência tenha sido efectuada usando latas da mesma cor. O que se poderia concluir?

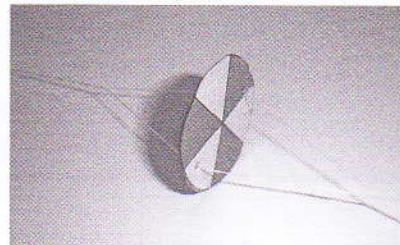
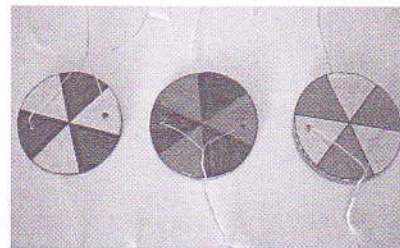
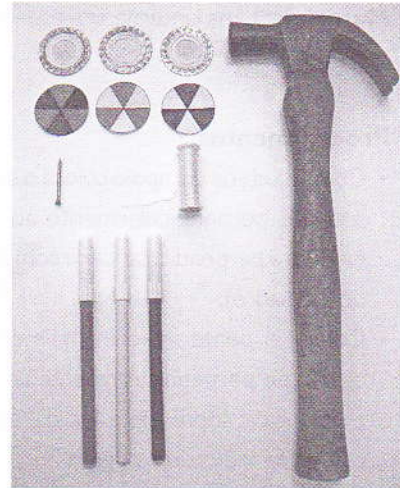
Experiência 2**Síntese da luz****Objectivo:**

- Obtenção de diversas cores a partir de cores primárias RGB (*red* – vermelho; *green* – verde; *blue* – azul).
- Verificar a composição da luz (síntese da luz).

Materiais: Três tampinhas de garrafas de refrigerantes; um martelo; um prego; três linhas de algodão ou de sisal de 60 cm de comprimento cada uma; cola; papel branco; canetas de feltro ou lápis de cor.

Procedimentos:

- Bate com o martelo sobre as tampinhas, uma de cada vez, de modo a torná-las em pequenos discos lisos.
- De seguida, para cada uma das tampinhas, usa o prego e o martelo para criar dois orifícios.
- Coloca cada uma das tampinhas sobre o papel branco e recorta-o do tamanho das tampinhas.
- Divide os recortes de papel em seis partes iguais.
- Pinta o primeiro recorte, alternadamente, com as cores azul e amarela; o segundo com as cores vermelha e amarela; o terceiro com as cores vermelha e azul.
- Depois disso, cola cada recorte de papel em cada uma das tampinhas.
- Faz dois furos nos recortes colados sobre as tampinhas de modo a coincidirem com os furos destes.
- Faz passar a linha num dos orifícios e depois noutro e une as extremidades da linha.
- Agora, coloca os teus dedos indicadores nas extremidades da linha e, com a tampinha no centro, faz movimentos circulares com as tuas mãos de modo a girar a tampinha e a linha. Quando a linha estiver muito enrolada, faz movimentos com as tuas mãos, primeiro no sentido de afastamento da tampinha e depois no sentido de aproximação da tampinha (movimento de vaivém).



..... Figura 35: Esquema de montagem da experiência.

Tratamento dos resultados da experiência

- I. Repete o procedimento acima descrito com as restantes duas tampinhas e responde às questões.
 - I.1 Qual é a cor resultante do movimento das cores azul e amarela?
 - I.2 Qual é a cor resultante do movimento das cores azul e vermelha?
 - I.3 Qual é a cor resultante do movimento das cores vermelha e amarela?

Sugestão: Faz esta experiência com outras cores e anota os resultados.

Vamos experimentar...

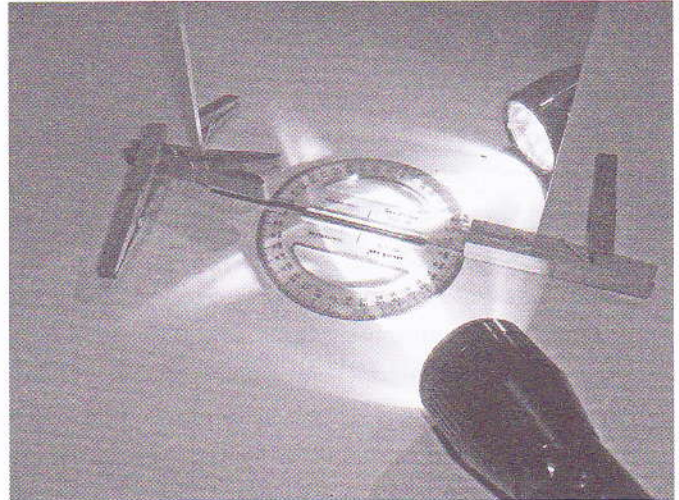
Experiência 3**Reflexão da luz num espelho plano****Objectivo:**

- Verificar o retorno da luz para o meio de incidência (reflexão).

Materiais: Uma lanterna; um espelho plano; uma folha de papel; um transferidor; um esquadro; quatro molas de roupa.

Procedimentos:

- Com a ajuda de um apoio coloca o espelho sobre e perpendicularmente ao papel (verifica a perpendicularidade com a ajuda do esquadro).
- Coloca o pente meio frontalmente ao espelho e perpendicularmente ao papel e faz incidir sobre ele a luz da lanterna conforme indicado na figura 36.



..... Figura 36: Montagem da experiência.

Tratamento dos resultados da experiência

1. Traça pelo menos três raios incidentes, os respectivos raios reflectidos e, com o auxílio do transferidor, mede o ângulo de incidência e o ângulo de reflexão.
2. Responde às questões seguintes:
 - 2.1 Qual é a medida do ângulo de incidência e a medida do respectivo ângulo de reflexão?
 - 2.2 Quais as leis que se verificam nesta experiência? Enuncia-as.

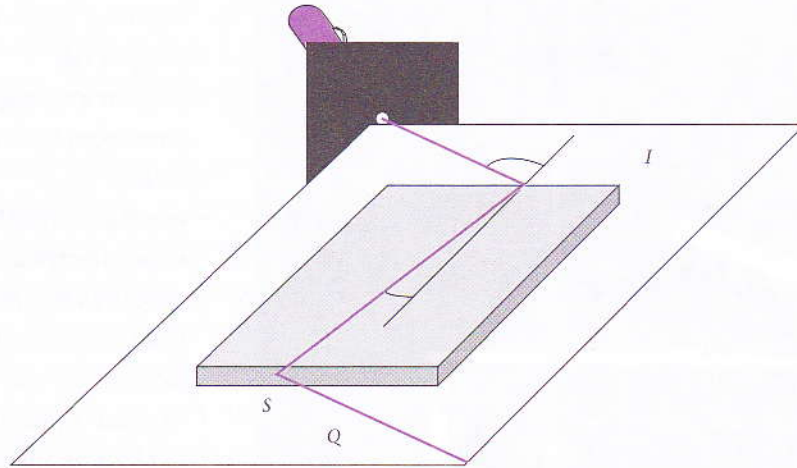
Experiência 4**Determinação da velocidade de propagação de uma onda electromagnética num meio****Objectivo:**

- Verificar a variação da velocidade da luz num meio óptico (refracção).
- Determinar o índice de refração do vidro através de uma placa plana de faces paralelas.

Materiais: Uma lanterna; uma placa de vidro de faces paralelas; papel; um esquadro; um transferidor; um anteparo dotado de um pequeno orifício.

Procedimentos:

- Coloca o anteparo à frente da lanterna acesa de modo a obter um feixe luminoso muito estreito (por aproximação consideremos um raio luminoso); à frente do anteparo coloca o papel.
- Coloca a placa de vidro perpendicularmente à luz.
- Desenha a placa sobre o papel através das suas faces e marca ainda a fonte luminosa, F , o ponto de entrada do raio luminoso, I , o ponto de saída do mesmo, S , e um ponto qualquer, Q , do raio refractado.
- Feito isto, retira a placa de vidro e traça as linhas \overline{FI} , \overline{IS} , e \overline{SQ} .
- Mede o ângulo de incidência \hat{i} e o de refração \hat{r} com o transferidor.



..... Figura 37: Esquema de montagem da experiência.

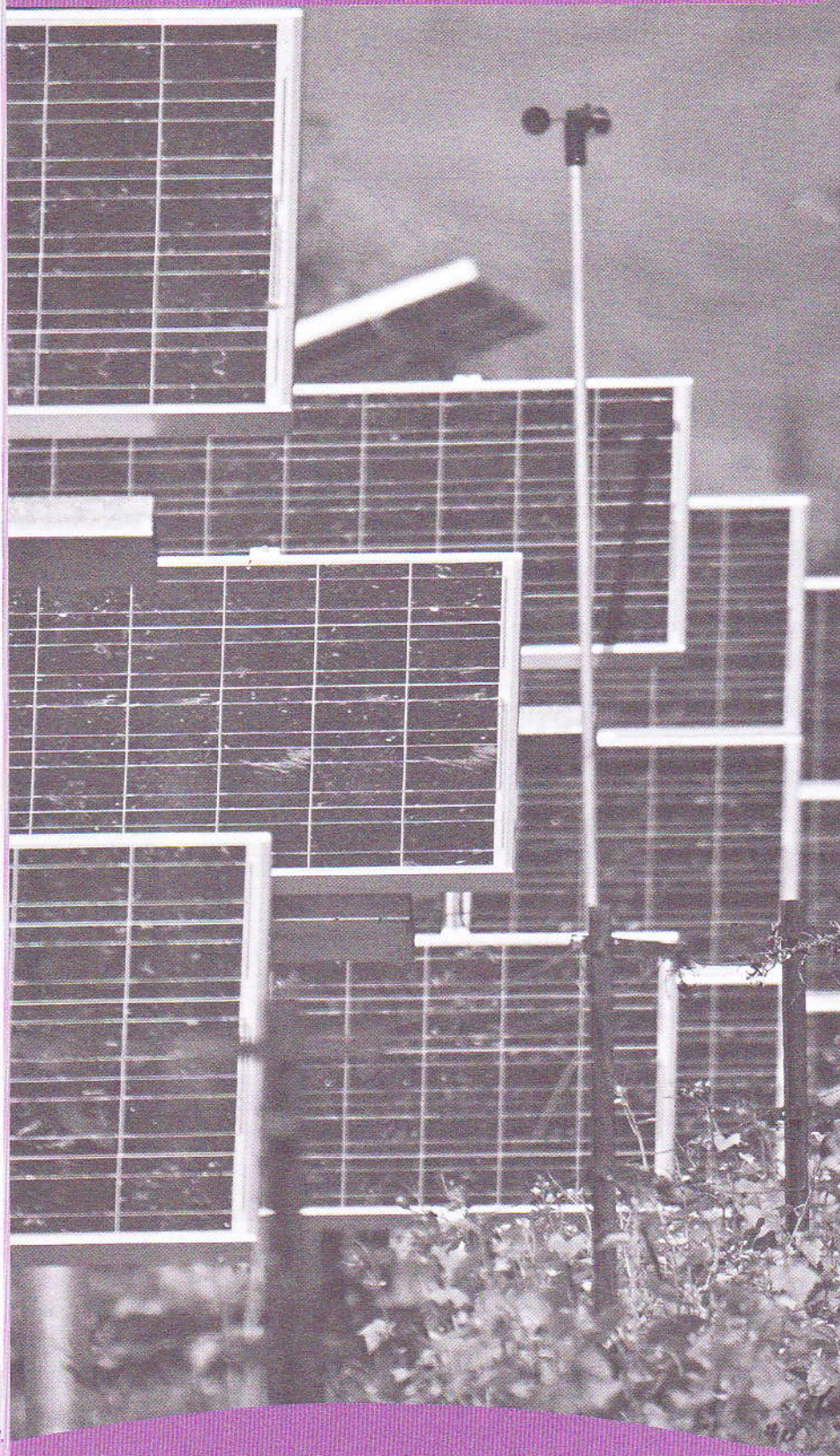
Tratamento dos resultados da experiência

1. Regista o ângulo de incidência \hat{i} e o de refração \hat{r} na tabela abaixo e calcula o índice de refração com base na expressão: $n = \frac{\text{sen } \hat{i}}{\text{sen } \hat{r}}$.
2. Com base na expressão $n = \frac{c}{v}$, calcula a velocidade de propagação da luz no vidro.
3. Repete o procedimento acima descrito fazendo variar o ângulo incidente (por exemplo, 5 ângulos diferentes) e regista os dados na tabela abaixo.

N.º da Experiência	\hat{i} (°)	\hat{r} (°)	$\text{sen } \hat{i}$	$\text{sen } \hat{r}$	n	v (m/s)	c (m/s)
1							3×10^8
2							3×10^8
3							3×10^8
4							3×10^8
5							3×10^8

4. Responde às seguintes questões:
 - 4.1 O que é refração de uma onda electromagnética?
 - 4.2 De que depende a velocidade de propagação de uma onda electromagnética?
5. Compara o valor obtido para a velocidade da luz no vidro com o valor da velocidade da luz no vácuo.

Física atómica



No final desta unidade, deverás ser capaz de:

- explicar a aplicação dos raios catódicos com base nas suas propriedades;
- explicar a emissão termoelétrica e fotoelétrica;
- aplicar as leis do fenómeno fotoelétrico na resolução de exercícios concretos;
- explicar a produção dos raios X;
- explicar as aplicações dos raios X com base nas suas propriedades;
- explicar a transformação e produção dos raios X na resolução de exercícios concretos;
- interpretar o espectro dos raios X na resolução de exercícios concretos;
- explicar a produção dos níveis de energia no átomo de hidrogénio;
- aplicar a equação de Planck na resolução de exercícios concretos relacionados com os níveis de energia no átomo de hidrogénio.

1. Raios catódicos, suas propriedades e aplicações físico-atômicas. A emissão termoelétrica e fotoelétrica

1.1 Física atómica

A descoberta da estrutura do átomo constituiu um grande passo para o desenvolvimento da Física. Assim, hoje sabemos que o átomo possui no seu centro um núcleo que contém prótons e nêutrons. À volta do núcleo encontram-se os electrões numa zona chamada *electrosfera* ou *nuvem electrónica*.

O modelo atómico sofreu uma evolução ao longo do tempo. O modelo que antecede o actual modelo matemático, e que se revela ainda de uma grande importância no estudo da estrutura electrónica, é o modelo de Rutherford-Bohr-Sommerfeld e baseia-se em dois postulados:

1.º postulado: No átomo existem órbitas estacionárias circulares ou elípticas nas quais o electrão não emite energia, ao contrário do que aconteceria segundo as leis da Física clássica. Cada órbita estacionária corresponde a um determinado valor de energia do átomo.

2.º postulado: Quando um átomo passa de um estado estacionário para outro, absorve ou emite energia sob a forma de *quanta*.

Nesta parte da Física, Física atómica, iremos procurar entender o comportamento dos electrões na electrosfera dos átomos.

Física atómica é uma área da Física que estuda as interacções no átomo ao nível da electrosfera.

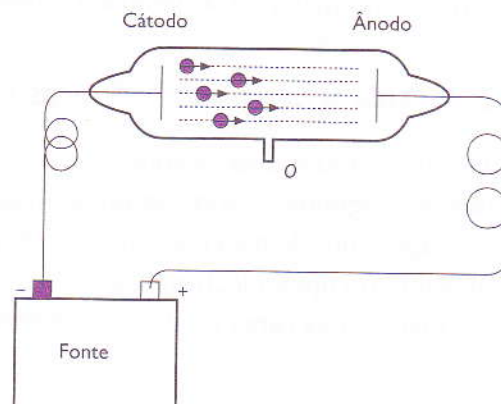
1.2 Raios catódicos

Da condutibilidade eléctrica nos gases sabe-se que *quanto mais rarefeito um gás for, maior será a sua condutibilidade eléctrica*; quer dizer, a resistência eléctrica do gás diminui à medida que o gás se torna cada vez mais rarefeito.

Suponhamos um tubo de vidro dotado de um orifício tendo nas suas extremidades dois electrodos ligados a uma fonte de corrente eléctrica da ordem de 10^3 volts (figura 1). Se retirarmos o ar contido no tubo de vidro (tornar o gás rarefeito), por exemplo, através de uma bomba de vácuo, veri-

fica-se que o tubo passa a ficar iluminado pois tem lugar uma descarga. *Esta descarga surge à custa dos electrões livres formados a partir da colisão dos iões com a superfície do cátodo.*

Se a pressão da ordem de 10^{-3} mmHg, ou abaixo, continuarmos a aumentar a rarefacção do gás, verificaremos que a sua resistência eléctrica também aumenta. Devido ao alto grau de rarefacção do gás (diminuição da quantidade de moléculas do gás), passam a ocorrer poucas colisões entre as moléculas deste e os electrões. É por isso que a luminescência do gás quase se extingue na totalidade ficando apenas alguma luminescência (brilho verde) na região do cátodo.



..... Figura 1: Emissão de raios catódicos.

Cada vez que os iões colidem com a superfície do cátodo, extraem dele electrões que se deslocam em linha recta perpendicularmente ao cátodo (raios catódicos). Tais electrões, porque colidem com as paredes do tubo de vidro, excitam as moléculas que posteriormente emitem luz.

Devemos ter presente a diferença entre uma descarga eléctrica num gás a baixa pressão e uma descarga no vácuo. No gás a baixa pressão há um número relativamente grande de moléculas, pelo que a descarga é formada pelo movimento de iões do gás para o cátodo, e electrões para o ânodo, conforme já referimos. Durante a ionização do gás produz-se luz, e é por este motivo que nessas descargas há um feixe luminoso na direcção da ligação do ânodo ao cátodo.

Mas, na descarga no vácuo, o número de moléculas de gás que restam no interior do tubo é praticamente nulo, pelo que o número de iões formados é reduzido e não chega a formar-se a corrente de iões como no caso anterior. Neste caso, a corrente eléctrica no interior do tubo é constituída somente por electrões que são arrancados do cátodo e atraídos pelo ânodo, isto é, raios catódicos. E como não há formação de iões, não há produção de luz no interior do tubo pelo que não há feixe luminoso entre o cátodo e o ânodo.

Raios catódicos são um feixe de electrões emitidos pelo cátodo deslocando-se em linha recta num tubo de alto vácuo.

1.2.1 Propriedades dos raios catódicos

Sublinhe-se que foi com base no estudo das propriedades dos raios catódicos que se descobriu o electrão. As propriedades dos raios catódicos são as seguintes:

- Propagam-se em linha recta com velocidade próxima à da luz;
- Deflectem-se quando submetidos a um campo eléctrico ou magnético;
- Produzem luminescência nos corpos com que chocam;
- Atravessam materiais de pequena espessura.

1.2.2 Aplicações físico-atómicas dos raios catódicos

Os raios catódicos são usados:

- nos oscilógrafos de raios catódicos (usados nos processos dinâmicos de curta duração);
- nos aparelhos de televisão (na reprodução de imagens no ecrã);
- nos microscópios electrónicos;
- na medição da carga eléctrica do electrão bem como da sua massa.

1.2.2.1 Funcionamento de um televisor

Um televisor é um aparelho receptor do sinal de televisão emitido por uma emissora.

A emissora de televisão emite imagens animadas (sinais luminosos) transformadas em sinais eléctricos emitidos pela antena da emissora através das ondas electromagnéticas. O aparelho receptor desses sinais, o televisor (figura 2), capta-os através de uma antena receptora transformando-os em sinais luminosos (imagens) num tubo de raios catódicos (o iconoscópio).

O tubo de raios catódicos CRT (*Cathode Ray Tube*) surgiu em 1924, ano da invenção do televisor. Hoje em dia, os CTR estão a perder uso devido à popularização cada vez mais crescente dos LCD (*liquid crystal display*) e telas de plasma.

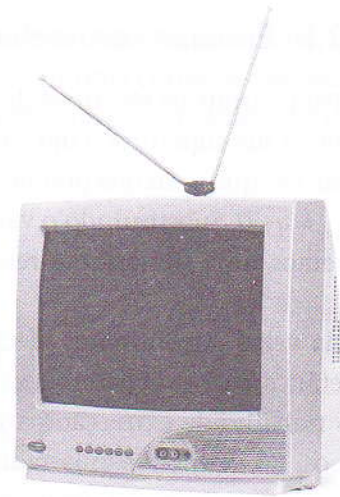
Um CRT (figura 3) é constituído basicamente por um tubo electrónico, um deflector (desvia o feixe de electrões), um condensador de mosaico (possui uma placa fina de mica com uma camada fina de óxido de cézio desempenhando a função de células fotoeléctricas; atrás da placa encontra-se uma outra placa metalizada condutora) e um anel colector.

Ao se produzir uma imagem na camada de mosaico, nas células fotoeléctricas incidem raios luminosos de diferentes intensidades. Deste modo, as células fotoeléctricas adquirem carga eléctrica positiva, enquanto a placa metalizada adquire uma carga eléctrica negativa. Por isso, no condensador de mosaico produz-se uma imagem latente que toma a forma de um conjunto de cargas positivas nas células fotoeléctricas.

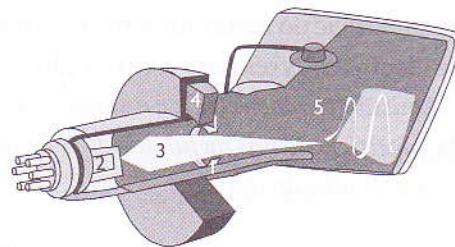
Fazer incidir um feixe de electrões sobre uma célula fotoeléctrica da camada de mosaico irá resultar na neutralização da carga da célula fotoeléctrica. Supondo que o feixe de electrões começa a desviar-se passando de uma extremidade à outra, os impulsos que chegam à grade da válvula amplificadora produzem oscilações da corrente eléctrica no circuito do ânodo da válvula (sinais de vídeo). O anel metálico tem a função de captar os electrões que se afastam das fotocélulas.

O sinal de televisão captado pela antena é amplificado e repartido convenientemente. O sinal de vídeo é enviado para o cinescópio (tubo catódico do televisor). Os sinais de comando do feixe de electrões têm um movimento sincronizado com o feixe do iconoscópio. Uma vez que a colisão dos electrões com a camada da superfície interna produz uma luminescência, forma-se uma imagem no ecrã do cinescópio.

Os CRT dos televisores funcionam com tensões muito elevadas, que podem continuar acumuladas durante vários dias mesmo depois de desligar o televisor da tomada.



..... Figura 2: Televisor.



..... Figura 3: Representação esquemática de um CRT.

1. Canhões de electrões e lentes electrónicas de focalização.
2. Bobinas deflectoras (deflexão electromagnética).
3. Ânodo de alta tensão.
4. Máscara de sombra.
5. Detalhe da matriz de pontos coloridos RGB.

1.3 A emissão termoeléctrica e a emissão fotoeléctrica

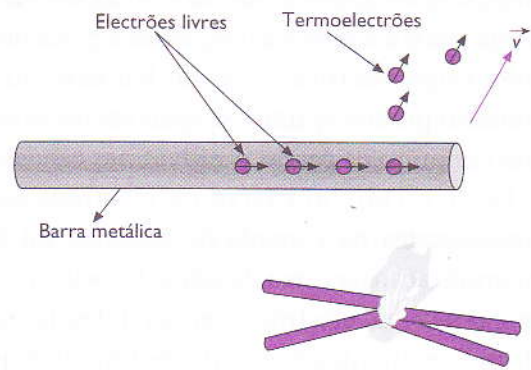
Sabe-se que os corpos metálicos são os que possuem electrões livres. Recorda-te que *electrão livre é aquele que se pode mover livremente*. Ora, a mobilidade dos electrões no interior não é a mesma que na superfície dum metal pois é influenciada pelos iões positivos da rede cristalina que os atrai. Tal força de atracção é responsável pela diminuição da velocidade dos electrões à medida que se aproximam da superfície do metal. Este facto significa que a energia potencial dos electrões cresce à medida que se aproximam da superfície do metal e decresce à medida que vai para o interior. Os electrões da superfície do metal podem ser extraídos, sem hipótese de voltar ao metal, através da incidência de uma radiação térmica ou luminosa na superfície deste.

1.3.1 Emissão termoelétrica

Para extrair os electrões de um metal é necessário realizar um trabalho de extracção (W_{ext}) sobre a sua superfície, cujo valor deve ser igual à energia potencial (E_p) dos electrões: $W_{\text{ext}} = E_p$. Uma vez que a energia potencial é o produto entre a carga (q) e o potencial eléctrico (U) teremos: $W_{\text{ext}} = q \cdot U$. Substituindo o valor da carga (q) pelo valor da carga do electrão ($e^- = -1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$) teremos uma importante relação para a extracção dos electrões na superfície de um metal: $W_{\text{ext}} = e^- \cdot U$.

Às vezes encontramos electrões na superfície metálica cuja energia cinética ultrapassa o valor do trabalho de extracção para os extrair. Nestes casos, faz-se incidir uma radiação térmica sobre a superfície do metal, facto que contribui para o aumento da mobilidade dos electrões. Deste modo, se se aumentar a temperatura da radiação incidente na superfície do metal aumenta também o número de electrões livres para a extracção.

Emissão termoelétrica é a saída de electrões livres da superfície de um metal devido à incidência, nela, de uma radiação térmica.



..... Figura 4: Emissão termoelétrica.

1.3.2 Emissão fotoelétrica

A emissão fotoelétrica é um fenómeno observado pela primeira vez em 1887, por Heinrich Hertz, que verificou que, entre duas esferas metálicas, uma faísca saltava mais facilmente duma esfera para a outra quando as suas superfícies fossem iluminadas.

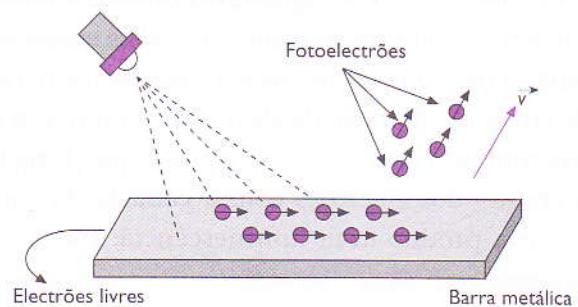
A partir dessa importante observação foi possível verificar que os metais, sob acção da luz, emitem os seus electrões livres, fenómeno conhecido como emissão fotoelétrica.

Emissão fotoelétrica é a saída de electrões livres da superfície de um metal devido à incidência, nela, de uma radiação luminosa.

Para que a radiação luminosa incidente seja suficiente para extrair os electrões livres da superfície do metal, a energia dessa radiação deve superar a função trabalho Φ do metal.

Função trabalho dum metal é a energia mínima necessária para emitir electrões da superfície desse metal sem lhes comunicar energia cinética.

Um electrão ejectado de uma superfície metálica exposta à luz recebe a energia necessária de um único fóton. Quando a intensidade da luz, de uma certa frequência, for aumentada, maior será o número de fótons que atingirão a superfície por unidade de tempo, porém a energia absorvida por um electrão ficará imutável. Assim, escrevemos a energia total (E) dos fotoelectrões de modo: $E = E_c + \Phi$, onde E_c é a energia cinética que depende da velocidade dos fotoelectrões.



..... Figura 5: Emissão fotoelétrica.

Os electrões emitidos da superfície do metal à custa da luz chamam-se fotoelectrões. Uma vez que os fotoelectrões têm uma mobilidade de velocidade \vec{v} , fazem surgir uma corrente eléctrica – a *corrente fotoelétrica*. Sublinhe-se que a quantidade de fotoelectrões cresce na medida em que se aumenta a intensidade da fonte luminosa.

1.3.2.1 Leis do fenómeno fotoelétrico

Para se conseguirem resultados fiáveis no efeito fotoelétrico, devem usar-se eléctrodos feitos de materiais quimicamente puros submetidos a um alto vácuo para o ar não influenciar a corrente dos fotoelectrões.

A figura 6 representa um balão de vidro no qual foram colocados dois eléctrodos, tendo sido retirado o ar nele contido de modo a criar um vázio. O balão de vidro é dotado de uma janela através da qual se faz incidir a radiação luminosa (luz) ou radiação ultravioleta sobre um dos eléctrodos. Ambos os eléctrodos se encontram ligados a uma bateria, sendo um no pólo negativo e outro no pólo positivo.

Faz-se incidir no eléctrodo ligado ao pólo negativo uma radiação luminosa monocromática (de único comprimento de onda) sendo a intensidade da corrente fotoelétrica lida num amperímetro A . A tensão nos eléctrodos é medida num voltímetro V , variando-a através dum potenciómetro P .

Aumentando a tensão nos eléctrodos com a ajuda do potenciómetro, mantendo constante a intensidade da luz incidente no eléctrodo negativo, verifica-se que a intensidade da corrente fotoelétrica aumenta, mas, logo a seguir, torna-se constante (deixa de depender da tensão; observa a figura 7).

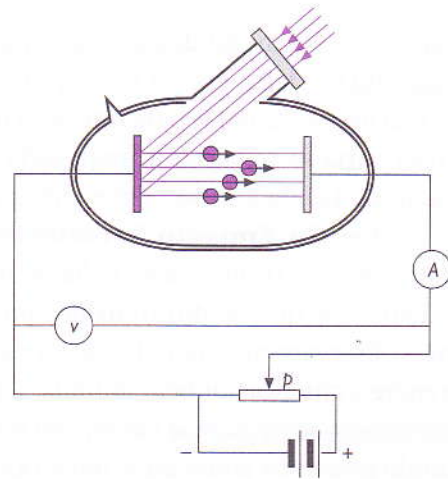
A corrente fotoelétrica de intensidade máxima que surge mantendo constante a luz incidente denomina-se *corrente fotoelétrica de saturação*.

A corrente fotoelétrica de saturação I_s determina-se pela quantidade de electrões emitidos num intervalo de tempo. Sublinhe-se que a quantidade de electrões emitidos num intervalo de tempo é directamente proporcional à energia da onda da radiação luminosa incidente nesse mesmo intervalo de tempo. A intensidade da corrente fotoelétrica de saturação pode ser usada para fazer uma avaliação quantitativa da emissão fotoelétrica.

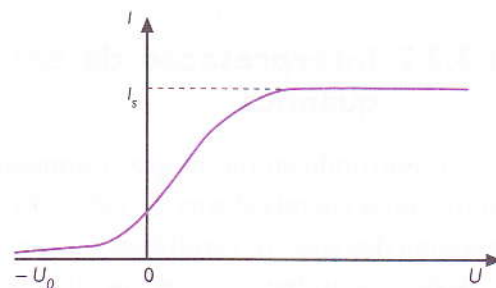
Deste modo, podemos estabelecer a Primeira Lei da Emissão Fotoelétrica:

1.ª Lei da Emissão Fotoelétrica – a intensidade da corrente fotoelétrica de saturação é directamente proporcional ao fluxo luminoso incidente no cátodo.

Visto que o fluxo luminoso de uma fonte é a energia emitida por essa fonte na unidade de tempo, concluímos que a intensidade da corrente fotoelétrica de saturação depende da potência da fonte luminosa (são directamente proporcionais).



..... Figura 6: Emissão de corrente fotoelétrica num tubo de vácuo.



..... Figura 7: A corrente dos fotoelectrões aumenta com o aumento da tensão, mas logo a seguir, torna-se constante.

Já dissemos que, variando a tensão eléctrica em valores relativamente pequenos e mantendo constante o fluxo da radiação incidente, se verifica também uma variação da intensidade da corrente dos fotoelectrões. Ora, isto significa que a radiação incidente no fotocátodo transmite uma energia cinética aos fotoelectrões, cujo valor se relaciona com a tensão de modo:

$$\frac{m \cdot v_{\text{máx}}^2}{2} = e^- \cdot U,$$

onde: m – é a massa dos fotoelectrões; $v_{\text{máx}}$ – é a velocidade máxima dos fotoelectrões; e^- – é a carga do electrão; U – é a tensão eléctrica.

Das medições feitas para um valor da tensão U , verificou-se que a energia cinética dos fotoelectrões varia se se variar a frequência do fluxo luminoso incidente. Isto permitiu estabelecer a Segunda Lei da Emissão Fotoeléctrica, cujo enunciado é:

2.ª Lei da Emissão Fotoeléctrica – a velocidade máxima dos fotoelectrões é directamente proporcional à frequência da radiação incidente.

Repare-se que, se diminuirmos progressivamente a frequência do fluxo luminoso incidente, não observaremos mais fotoelectrões, pois a sua velocidade máxima anula-se. Deste modo, a energia cinética também se anula. A frequência à qual se torna nula a velocidade dos fotoelectrões denomina-se *frequência limite* f_0 ou *limite vermelho do efeito fotoeléctrico* (se $v_{\text{máx}} = 0 \Rightarrow f = f_0$). Deste modo podemos enunciar a Terceira Lei da Emissão Fotoeléctrica:

3.ª Lei da Emissão Fotoeléctrica – existe uma frequência mínima f_0 a partir da qual se dá início à emissão fotoeléctrica, chamada *frequência limite*.

Desta lei é fácil perceber que a emissão fotoeléctrica não ocorre se a frequência do fluxo luminoso incidente for menor que a frequência limite f_0 , mas ocorre se for maior que esta e mesmo se for igual a esta (neste caso, a velocidade máxima dos fotoelectrões emitidos é igual a zero).

1.3.2.2 Interpretação da emissão fotoeléctrica com base na teoria quântica

Na visão ondulatória clássica, o aumento da intensidade de radiação luminosa incidente deveria aumentar a energia absorvida pelos electrões e conseqüentemente aumentar a energia cinética máxima dos electrões emitidos. A experiência demonstrava que não era isso que acontecia.

Assim, os antigos esclarecimentos das características específicas da emissão fotoeléctrica a partir da teoria das ondulações (emissão contínua das radiações) começaram a perder terreno. Em 1900, o físico alemão Max Planck propôs a ideia de que a luz é emitida em pequenos «pacotes»:

Teoria quântica da emissão da luz (teoria de Max Planck) – a emissão da luz é feita sob múltiplos inteiros de igual porção de energia chamados quantum (*fotoões*).

De acordo com Planck, os *quanta* (plural de *quantum*) de energia relacionam-se com a sua frequência da seguinte forma (equação de Planck):

$$E = h \cdot f,$$

onde: E – é a energia dos *quanta*; h – é a constante de Planck ($h = 6,62 \times 10^{-34}$ Js); f – é a frequência.

Do estudo das ondas electromagnéticas sabemos que a frequência com que elas se propagam no vácuo se relaciona com o comprimento de onda através da expressão $c = \lambda \cdot f \Rightarrow f = \frac{c}{\lambda}$ e, por isso:

$$E = \frac{h \cdot c}{\lambda}.$$

Um fóton só existe caso esteja a mover-se com a velocidade da luz no vácuo. Ao colidir com uma substância, pode ser absorvido transferindo-lhe toda a sua energia. Sublinhe-se que um fóton não possui massa de repouso.

Já vimos que, para que a radiação luminosa incidente seja suficiente para extrair os electrões livres da superfície do metal, é preciso que a energia dessa radiação supere a energia mínima Φ necessária para emitir electrões da superfície desse metal (trabalho de extracção ou função trabalho, também designado por energia de ionização). Desenvolvendo a ideia de Planck, em 1905, Albert Einstein escreveu a seguinte equação para a energia total dos fotoelectrões conhecida por equação de Einstein:

$$E = E_{\text{cmáx}} + \Phi$$

Da equação de Planck sabemos que

$$E = h \cdot f.$$

Por isso:

$$h \cdot f = E_{\text{cmáx}} + \Phi$$

Já sabemos, da Terceira Lei da emissão fotoeléctrica, que, na condição em que a frequência do fluxo luminoso incidente se torna igual à frequência limite, a velocidade dos fotoelectrões se anula, anulando, deste modo, a energia cinética máxima dos fotoelectrões:

$$h \cdot f_0 = 0 + \Phi \Leftrightarrow \Phi = h \cdot f_0.$$

Por essa razão,

$$\Phi = h \cdot \frac{c}{\lambda_0},$$

λ_0 – é o comprimento de onda máximo a partir do qual não se verifica a emissão fotoeléctrica.

1.3.3 Gráfico da energia cinética em função da frequência

Isolando a grandeza energia cinética na equação de Einstein

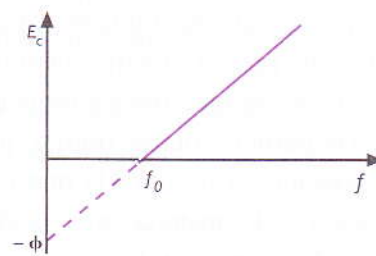
$$h \cdot f = E_{\text{cmáx}} + \Phi,$$

teremos a equação

$$E_{\text{cmáx}} = h \cdot f - \Phi,$$

que é uma equação linear do tipo $y = ax - b$ pois a variável f é do 1.º grau. Resolvendo-a graficamente, obteremos o gráfico da energia cinética em função da frequência (figura 8).

Os valores da frequência para os quais não ocorre a emissão fotoeléctrica localizam-se no intervalo entre zero e f_0 (parte tracejada do gráfico).



..... Figura 8: Gráfico da energia cinética em função da frequência.

1.3.4 Gráfico do potencial em função da frequência

Chama-se potencial de paragem ao potencial mínimo necessário para fazer parar os fotoelectrões durante uma emissão fotoeléctrica através da aplicação de um campo eléctrico uniforme.

Devido à aplicação do campo eléctrico uniforme, a energia cinética dos fotoelectrões transforma-se em energia potencial, isto é,

$$E_c = E_p = e^- \cdot U_p.$$

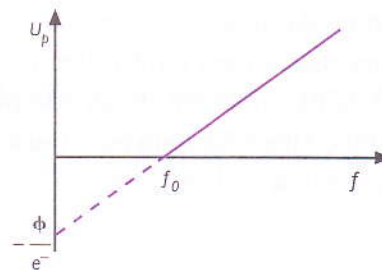
Substituindo esta igualdade na equação de Einstein ficamos com

$$h \cdot f = e^- \cdot U_p + \Phi,$$

a partir da qual, resolvendo-a em ordem ao potencial de paragem, teremos

$$U_p = \frac{h}{e^-} \cdot f - \frac{\Phi}{e^-}$$

que é também uma função linear (figura 9). A constante e^- representa a carga do electrão sendo o seu valor igual a $1,6 \times 10^{-19}$ C.



..... Figura 9: Gráfico do potencial de paragem em função da frequência.

1.3.5 Funcionamento de um painel solar

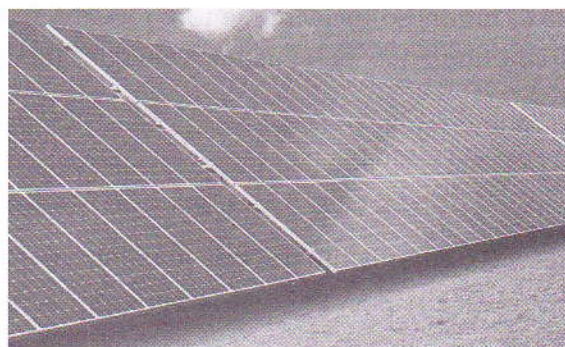
A exploração intensa das reservas esgotáveis de combustíveis fósseis e os danos causados ao meio ambiente obrigam-nos a procurar fontes alternativas de energias renováveis e não poluentes, como as energias solar e eólica.

O crescente uso de painéis solares para a conversão de energia solar em eléctrica que se verifica actualmente tem a ver com as vantagens que esta oferece, como a poupança na conta de energia e o adiamento da construção de novas barragens que geram diversos impactos negativos no meio ambiente, além de esta ser uma fonte de energia limpa e renovável.

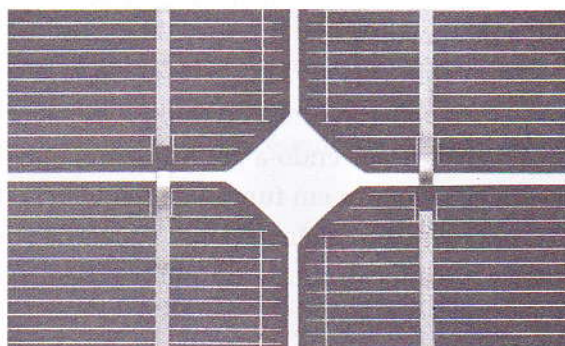
Os painéis solares (figura 10) têm células fotovoltaicas (figura 11) que captam energia solar. Um dos materiais mais usados na produção de células fotovoltaicas é o silício cristalino.

Um painel solar é um dispositivo constituído por várias células fotovoltaicas empregues para a conversão de energia solar em energia eléctrica.

O silício é um semiconductor. Empregando métodos apropriados purifica-se o cristal de silício. Este material é cortado em pequenas placas (células) e para torná-lo condutor de electricidade é necessário dopá-lo (acrescentar-lhe outros elementos) com fósforo (obtendo-se um material com excesso de cargas negativas – silício do tipo N) e com boro (obtendo-se um material com excesso de cargas positivas – silício do tipo P). Para se obter uma célula fotovoltaica é necessário juntar as pequenas placas de silício dopado numa só, sendo a placa de silício do tipo P de maior espessura que a do tipo N (figura 12).



..... Figura 10: Um painel solar é constituído por várias células fotovoltaicas.



..... Figura 11: A célula fotovoltaica capta a energia solar, convertendo-a em eléctrica.

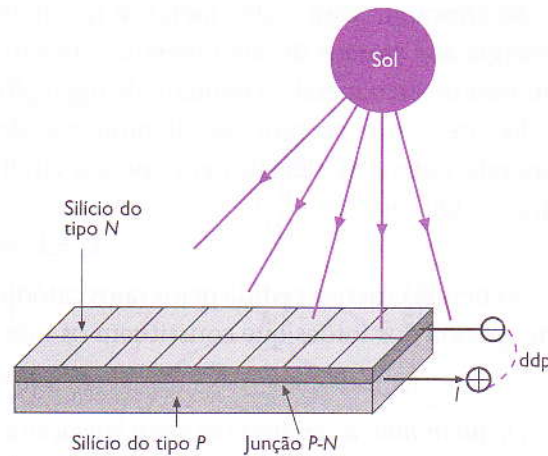
Na zona de junção $P-N$ surge um campo eléctrico, pois os electrões da placa N migram para a placa P .

Expondo a célula fotovoltaica à radiação solar, verifica-se que os fotões emitidos por esta interagem com os electrões da célula fotovoltaica fornecendo-lhes energia. Devido ao campo eléctrico gerado pela junção $P-N$, os electrões executam um movimento de P para N .

Se, através de um fio condutor externo, ligarmos a placa positiva e negativa, teremos uma corrente eléctrica ao longo deste, cuja intensidade depende da intensidade do fluxo da radiação solar.

Cada célula fotovoltaica fornece uma pequena quantidade de energia eléctrica (cada célula gera uma tensão eléctrica da ordem de 0,5 volts) sendo que várias células espalhadas num painel solar podem gerar, em conjunto, uma grande quantidade de energia eléctrica, por exemplo, se associadas em série podem aumentar a tensão eléctrica. Sublinhe-se que para se aproveitar a maior quantidade possível de energia é conveniente direccionar o painel solar para o Sol.

Um exemplo prático de uso de painéis solares em Moçambique é o caso do Hospital Rural de Muchúngo, na província de Sofala, que tem as suas instalações alimentadas por uma fonte de corrente eléctrica gerada a partir de painéis solares fotovoltaicos.



..... Figura 12: Junções $P-N$ de uma célula fotovoltaica.

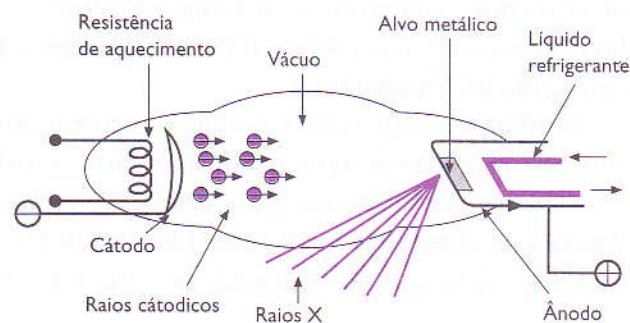
2. Raios X, produção, propriedades e aplicações

O físico alemão Wilhelm Röntgen (1845-1923) descobriu que num tubo de descarga eléctrica a baixas pressões eram emitidos, além dos raios catódicos, raios desconhecidos com o poder de atravessar corpos opacos. Estes raios foram denominados raios X (hoje também são conhecidos por raios Röntgen). A descoberta dos raios X deu um grande impulso ao desenvolvimento da Física.

Raios X são ondas electromagnéticas cujo comprimento de onda se situa entre $0,01 \text{ \AA}$ e 800 \AA que se obtêm pela travagem dos raios catódicos a alta velocidade no impacto com o ânodo.

2.1 Produção dos raios X

Para a produção de raios X usa-se uma ampola como a da figura 13, conhecida por *tubo de raios X*, constituído por dois eléctrodos (o ânodo e o cátodo) submetidos a uma ddp da ordem dos 50 a 200 quilovolts. Entre o ânodo e o cátodo surge um forte campo eléctrico. Os electrões emitidos pelo cátodo (raios catódicos) são acelerados a alta velocidade por meio deste campo eléctrico chocando, assim, com um alvo metálico colocado no ânodo.



..... Figura 13: Tubo de raios X de emissão termoeléctrica.

Ao chocarem com o alvo metálico no ânodo, os electrões provenientes do cátodo cedem a sua energia aos átomos do alvo metálico, penetrando até nas camadas internas destes átomos. Os átomos do alvo metálico emitem, de imediato, a energia por si absorvida sob a forma de raios X.

Repare-se que no processo de produção dos raios X acima descrito ocorre transformação de energia potencial eléctrica em energia cinética devido à migração dos raios catódicos para o ânodo. Ou seja:

$$E_p = E_c \Leftrightarrow e^- \cdot U_p = \frac{m \cdot v^2}{2}$$

A energia cinética cedida pelos raios catódicos aos átomos do alvo metálico é emitida na forma de energia dos fotões que constituem os raios X; isto é:

$$E_c = hf \Leftrightarrow \frac{m \cdot v^2}{2} = hf$$

Daqui tiramos a conclusão de que a produção dos raios X é um processo inverso à emissão fotoeléctrica, pois na emissão fotoeléctrica a energia dos fotões (energia da fonte luminosa) é transformada em energia cinética dos electrões (fotoelectrões), enquanto na produção dos raios X a energia cinética dos electrões (raios catódicos) é transformada em energia dos fotões (raios X).

2.2 Propriedades dos raios X

Os raios Röntgen, ou simplesmente raios X, possuem as seguintes propriedades:

- Propagam-se em linha recta;
- Não sofrem deflexão quando submetidos a um campo eléctrico ou magnético;
- Quase não se refractam ao passarem de um meio para outro, pois o seu índice de refração é aproximadamente igual a um;
- Permitem a gravação de imagens em chapas fotográficas;
- Atravessam corpos opacos devido ao seu grande poder de penetração.

2.3 Aplicações dos raios X

Os raios X têm numerosas aplicações práticas na medicina, na técnica, na arte e noutras áreas do conhecimento.

Na medicina, visto que permitem a gravação de imagens em chapas fotográficas, os raios X são usados para diagnosticar doenças (por exemplo a tuberculose), detectar a presença de objectos estranhos no corpo (por exemplo balas), bem como para identificar fracturas no organismo humano através da radiografia.

Devido ao quadro de difracção que apresentam, os raios X são empregues para verificar a estrutura dos cristais (ordem de ligação dos átomos dos cristais) e ainda para verificar a estrutura das ligações orgânicas (por exemplo as proteínas) – foi com o uso dos raios X que se determinou a estrutura da hemoglobina.

Sublinhe-se que os raios X podem destruir tecidos vivos, razão pela qual se deve evitar que uma pessoa esteja constantemente a ser radiografada.

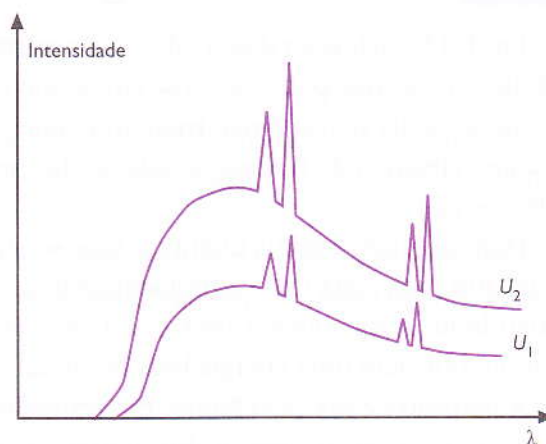
Na técnica, devido ao seu grande poder de atravessar corpos opacos, os raios X são usados na detecção de imperfeições em peças (defeitos de fabrico).

Na arte, os raios X são aplicados na verificação de imagens ocultas em pinturas.

2.4 Espectro de raios X

Já vimos que a repartição das ondas electromagnéticas em grupos de comprimento de onda ou de frequência chamamos espectro das ondas. O espectro dos raios X pode ser obtido através da sua difracção.

O espectro dos raios X apresenta-se como um espectro contínuo com uma série de picos (figura 14). Nesta figura estão apresentadas curvas obtidas a dois valores de ddp diferentes sendo $U_1 < U_2$. O espectro contínuo dos raios X é devido à súbita desaceleração dos raios catódicos que não produziram a ejeção de electrões (fotões) dos átomos do alvo metálico.



..... Figura 14: O espectro dos raios X.

Parte dos electrões que colidem com os átomos do alvo metálico, tendo adquirido energia suficiente, deslocam um dos electrões interiores de um átomo do alvo metálico, por exemplo um da camada K . O espaço vago ou lacuna é imediatamente ocupado por um dos electrões da camada L , M ou N . Isso ocorre com a diminuição da energia do átomo e com a emissão de um fóton de raios X.

Os picos de intensidade no espectro dos raios X têm características únicas para cada material usado como alvo.

Estes picos correspondem a transições electrónicas de electrões de níveis superiores para níveis mais profundos do átomo deixados vagos após a colisão.

São possíveis todas as riscas de qualquer das séries (K , L , M ou N) quando o electrão proveniente dos raios catódicos tem a energia necessária para arrancar ao átomo um electrão do nível K .

Se o electrão bombardeante possuir energia suficiente apenas para arrancar um electrão do nível L , surgem só as séries L , M , N , ..., correspondentes às transições energéticas de electrões de níveis superiores para os níveis inferiores deixados vagos.

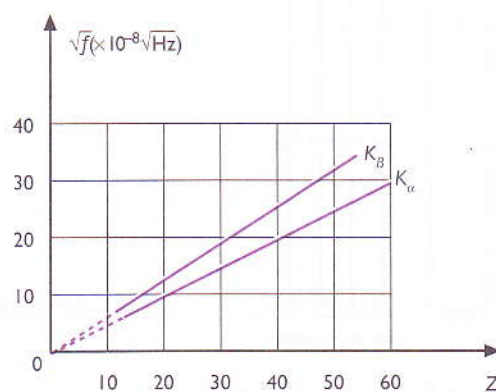
2.5 Lei de Moseley

A Lei de Moseley diz respeito à relação entre a frequência dos raios X e o número atômico dos átomos do alvo metálico. Tem o seguinte enunciado:

A frequência dos raios X é directamente proporcional ao quadrado do número atômico dos átomos do alvo metálico.

$$f \sim z^2 \Leftrightarrow \sqrt{f} \sim z$$

Os electrões provenientes das camadas L , M ou N do átomo do alvo metálico e que passam para o nível K do mesmo átomo produzem raios X numa série de comprimentos de onda – as séries K (K_{α} , K_{β} , K_{γ} , etc.).



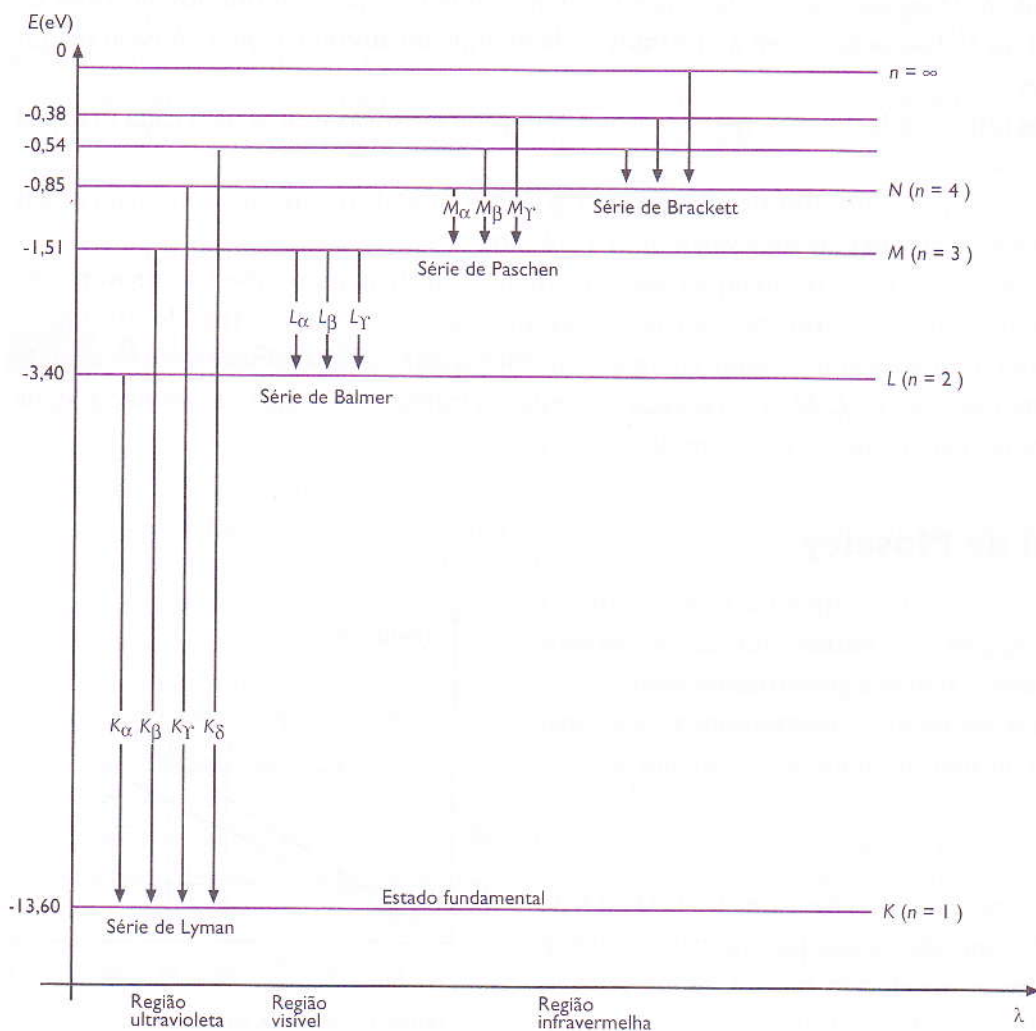
..... Figura 15: Séries K dos raios X.

3. Níveis de energia no átomo de hidrogénio

Em 1913, Niels Bohr desenvolveu a primeira teoria quântica do átomo de hidrogénio. Segundo Bohr, um electrão pode mover-se em órbitas (camadas) estacionárias no interior do átomo como uma partícula pontual não irradiando energia, mesmo dotado dum movimento acelerado no campo eléctrico do núcleo. A cada órbita corresponde um determinado valor de energia (nível de energia).

Hoje, segundo a teoria quântica, sabe-se que o electrão não pode ter uma órbita bem definida mas sim uma zona onde a probabilidade de ser encontrado é maior, zona denominada *orbital*, distribuída numa nuvem electrónica em volta do núcleo. Os electrões na nuvem electrónica do átomo possuem uma energia bem definida.

A emissão de luz pelo átomo é o resultado da transição, em salto, de um nível superior de energia para outro inferior diminuindo a sua energia discretamente. Ou seja, a energia dos electrões de um átomo está quantificada. O nível mais baixo de energia de um electrão denomina-se *estado fundamental*. Os restantes estados energéticos acima do estado fundamental denominam-se *estados excitados*. É comum representar os níveis de energia por uma série de linhas horizontais (figura 16).



..... Figura 16: Transições electrónicas entre níveis de energia do átomo de hidrogénio.

Pode encontrar-se o valor de cada um dos estados de energia no átomo de hidrogénio através da relação:

$$E_n = -\frac{13,6 \text{ eV}}{n^2}$$

onde: E_n – é a energia de um determinado nível energético; n – é o número do nível.

Sublinhe-se que, quando um electrão salta de um nível energético mais baixo para um mais alto, absorve energia (fotões), enquanto ao saltar do nível energético mais alto para um mais baixo emite energia (fotões) na forma discreta.

Visto que um electrão pode transitar de um nível energético para outro, a frequência ou comprimento de onda da radiação emitida ou absorvida pode calcular-se através das relações:

$$|\Delta E| = |E_{nf} - E_{ni}| = hf = \frac{h \cdot c}{\lambda},$$

em que E_{nf} é a energia do nível final e E_{ni} a energia do nível inicial em que o electrão se encontrava no átomo.

As transições que ocorrem para os diversos níveis denominam-se:

- Série de Lyman se a transição ocorre do nível um para níveis superiores ou de níveis superiores para o nível um;
- Série de Balmer se a transição ocorre do nível dois para níveis superiores ou de níveis superiores para o nível dois;
- Série de Paschen se a transição ocorre do nível três para níveis superiores ou de níveis superiores para o nível três.

Na Física atómica e nuclear a energia de uma partícula é expressa em electrão-volt (eV). A relação existente entre esta unidade e a unidade joule (J), a unidade de energia do SI é:

$$1 \text{ eV} = 1,6 \times 10^{-19} \text{ J}.$$

Para a mesma série usam-se os índices α , β , γ , etc., para distinguir uma linha da outra.

Conceitos básicos

1. **Física atómica:** área da Física que estuda as interacções na electrosfera do átomo.
2. **Raios catódicos:** feixe de electrões emitidos pelo cátodo que se desloca em linha recta num tubo de alto vácuo.
 - 2.1 **Propriedades:** propagam-se em linha recta com velocidade próxima da da luz; deflectem-se num campo eléctrico ou magnético; produzem luminescência nos corpos com que chocam; atravessam materiais de pequena espessura.
 - 2.2 **Aplicações físico-atómicas:** usam-se nos oscilógrafos de raios catódicos, nos aparelhos de televisão, nos microscópios electrónicos e permitem medir a carga eléctrica do electrão bem como a sua massa.
3. **Emissão termoelectrónica:** extracção de electrões livres da superfície de um metal à custa de uma radiação térmica que realiza o trabalho de extracção $W_{ext} = e^- \cdot U$, onde: $e^- = -1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$ é a carga do electrão e U é a tensão eléctrica.
4. **Emissão fotoelectrónica:** extracção de electrões livres da superfície de um metal à custa da radiação luminosa. Para que a extracção ocorra é necessário superar a função trabalho Φ do metal (*energia mínima necessária para emitir electrões da sua superfície sem lhe comunicar energia cinética*). Por isso, a energia total dos fotoelectrões é dada por: $E = E_c + \Phi$; onde E_c é a energia cinética que depende da velocidade dos fotoelectrões. A velocidade dos fotoelectrões faz surgir corrente eléctrica – a *corrente fotoelectrónica*.

4.1 1.ª Lei da Emissão Fotoelétrica: a intensidade da corrente fotoelétrica de saturação é directamente proporcional ao fluxo luminoso incidente no cátodo. Se durante a emissão fotoelétrica se variar a tensão eléctrica em valores relativamente pequenos mantendo constante o fluxo luminoso incidente, a intensidade da corrente dos fotoelectrões varia (variação da velocidade dos fotoelectrões): $\frac{m \cdot v_{\text{máx}}^2}{2} = e^- \cdot U$, onde: m – é a massa dos fotoelectrões; $v_{\text{máx}}$ – é a velocidade máxima dos fotoelectrões; e^- – é a carga do electrão; U – é a tensão eléctrica.

4.2 2.ª Lei da Emissão Fotoelétrica: a velocidade máxima dos fotoelectrões é directamente proporcional à frequência. Se diminuirmos progressivamente a frequência do fluxo luminoso incidente, não observaremos mais fotoelectrões pois a sua velocidade máxima anula-se, anulando deste modo a energia cinética. Aí, a frequência dos fotoelectrões chama-se frequência limite f_0 ou limite vermelho do efeito fotoelétrico (se $v_{\text{máx}} = 0 \Rightarrow f = f_0$).

4.3 3.ª Lei da Emissão Fotoelétrica: existe uma frequência mínima f_0 a partir da qual se dá início à emissão fotoelétrica chamada frequência limite. Assim, a emissão fotoelétrica não ocorre quando a frequência do fluxo luminoso incidente for menor que a frequência limite f_0 , mas ocorre quando a frequência do fluxo luminoso incidente for igual ou maior que a frequência limite.

5. Teoria quântica da emissão da luz (teoria de Max Planck): a emissão da luz é feita sob múltiplos inteiros de igual porção de energia chamados quantum (fotões): $E = h \cdot f$, onde: E – é a energia dos quanta; h – é a constante de Planck ($h = 6,62 \times 10^{-34}$ Js); f – é a frequência.

Um fotão não possui massa de repouso; ele só existe caso esteja a mover-se com a velocidade da luz no vácuo. Ao colidir com uma substância pode ser absorvido cedendo toda a energia.

Desenvolvendo a ideia de Max Planck, em 1905, Albert Einstein escreveu a sua equação para a energia total dos fotoelectrões: $h \cdot f = E_{\text{cmáx}} + \Phi$.

Se a frequência do fluxo luminoso incidente se tornar igual à frequência limite, a velocidade dos fotoelectrões anula-se ($E_c = 0$): $h \cdot f_0 = 0 + \Phi \Leftrightarrow \Phi = h \cdot f_0 \Rightarrow \Phi = h \cdot \frac{c}{\lambda_0}$. λ_0 – é o comprimento de onda máximo a partir do qual não se verifica a emissão fotoelétrica.

6. Potencial de paragem: potencial mínimo necessário para fazer parar fotoelectrões durante uma emissão fotoelétrica através da aplicação de um campo eléctrico uniforme.

7. Painel solar: dispositivo constituído por várias células fotovoltaicas destinadas a converter a energia solar em energia eléctrica.

8. Raios X: ondas electromagnéticas de comprimento de onda situado entre 0,01 Å e 800 Å que se obtêm pela travagem dos raios catódicos a alta velocidade no impacto com o ânodo.

8.1 Obtenção: usa-se um tubo de raios X constituído por um ânodo e um cátodo submetidos a uma ddp da ordem dos 50 quilovolts a 200 quilovolts. Os raios catódicos emitidos são acelerados a alta velocidade por meio do campo eléctrico entre o cátodo e o ânodo e chocam com um alvo metálico colocado no ânodo; aqui os raios catódicos cedem a sua energia aos átomos do alvo metálico penetrando até nas camadas internas destes átomos. Imediatamente, os átomos do alvo metálico emitem a energia por si absorvida na forma de fotões – os raios X.

Durante a produção dos raios X ocorre transformação de energia potencial eléctrica em energia cinética pois os raios catódicos saem para o ânodo: $E_p = E_c \Leftrightarrow e^- \cdot U_p = \frac{m \cdot v^2}{2} = hf$.

A produção dos raios X é um processo inverso à emissão fotoelétrica pois na emissão fotoelétrica a energia da fonte luminosa é transformada em energia cinética dos fotoelectrões enquanto na produção dos raios X a energia cinética dos raios catódicos é transformada em energia dos raios X.

8.2 Propriedades: propagam-se em linha recta; não sofrem deflexão quando sujeitos a um campo eléctrico ou magnético; quase não se refractam ao passarem de um meio para outro; permitem a gravação de imagens em chapas fotográficas; atravessam corpos opacos.

8.3 Aplicações: na medicina são usados para diagnosticar doenças, detectar a presença de objectos estranhos no corpo, identificar fracturas no organismo humano através da radiografia (os raios X podem destruir tecidos vivos razão pela qual se deve evitar que uma pessoa esteja constantemente a ser radiografada); são empregues para verificar a estrutura dos cristais e para verificar a estrutura das ligações orgânicas; são usados na detecção de defeitos de fabrico em peças; aplicam-se na verificação de imagens ocultas em pinturas.

8.4 Espectro de raios X: é um espectro contínuo com uma série de picos.

9. Lei de Moseley: a frequência dos raios X é directamente proporcional ao quadrado do número atómico dos átomos do alvo metálico: $f \sim z^2 \Leftrightarrow \sqrt{f} \sim z$.

10. Teoria de Bohr: um electrão pode mover-se por órbitas estacionárias no interior do átomo como uma partícula pontual não irradiando energia, mesmo dotado dum movimento acelerado no campo eléctrico do núcleo. A cada órbita corresponde um determinado nível energético.

11. Teoria quântica: o electrão no átomo é distribuído simetricamente numa nuvem electrónica em volta do núcleo. Os electrões na nuvem electrónica do átomo possuem uma energia bem definida.

Quando um electrão salta de um nível energético mais baixo para o mais alto, absorve energia; ao saltar do nível energético mais alto para o mais baixo, emite-a. O nível energético mais baixo de um electrão chama-se estado fundamental. Os níveis de energia representam-se por uma série de linhas horizontais. A energia de cada um dos estados, no átomo de hidrogénio, calcula-se pela relação:

$$E_n = -\frac{13,6 \text{ eV}}{n^2}, \text{ onde: } E_n \text{ - é a energia de um determinado nível energético; } n \text{ - é o número do nível.}$$

Durante a transição de um electrão de um nível energético para outro, a frequência ou comprimento de onda da radiação emitida ou absorvida calcula-se através das relações: $|\Delta E| = |E_{n_f} - E_{n_i}| = hf = h \frac{c}{\lambda}$. As transições que ocorrem para e dos diversos níveis recebem os seguintes nomes: nível K - série de Lyman; nível L - série de Balmer; nível M - série de Paschen; etc.

Na Física atômica e nuclear a energia de uma partícula é expressa em electrão-volt (eV). A relação existente entre esta unidade e a unidade de energia do SI, joule (J), é: $1 \text{ eV} = 1,6 \times 10^{-19} \text{ J}$. Para a mesma série usam-se os índices α , β , γ , etc., para distinguir uma linha da outra.

Exercícios resolvidos

1. Se um metal emite 4×10^{17} fotoelectrões por segundo quando nele incide um fluxo luminoso proveniente de uma fonte de 100 W, quantos fotoelectrões serão emitidos pelo mesmo metal se substituirmos aquela fonte por uma de 200 W?

Dados

$$f_1 = 4 \times 10^{17} \text{ s}^{-1}$$

$$P_1 = 100 \text{ W}$$

$$f_2 = ?$$

$$P_2 = 200 \text{ W}$$

Resolução

$$\frac{f_1}{P_1} = \frac{f_2}{P_2} \Rightarrow f_2 = \frac{f_1 \cdot P_2}{P_1}$$

$$f_2 = \frac{4 \times 10^{17} \text{ s}^{-1} \cdot 200 \text{ W}}{100 \text{ W}} \Rightarrow f_2 = 8 \times 10^{17} \text{ s}^{-1}$$

Resposta: Com a nova fonte serão emitidos 8×10^{17} fotoelectrões por segundo.

2. Qual é a energia, em electrão-volt, de um fóton proveniente de uma fonte luminosa que emite um fluxo luminoso monocromático de 400 nm?

Dados

$E = ?$ $\lambda = 400 \text{ nm} = 400 \times 10^{-9} \text{ m}$ $h = 6,62 \times 10^{-34} \text{ Js}$ $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$

Resolução

$$E = \frac{h \cdot c}{\lambda} = \frac{6,62 \times 10^{-34} \text{ Js} \cdot 3 \times 10^8 \text{ m/s}}{400 \times 10^{-9} \text{ m}}$$

$$E = \frac{19,86 \times 10^{-26} \text{ J}}{400 \times 10^{-9}} \Rightarrow E = 4,965 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$1 \text{ eV} \Leftrightarrow 1,6 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$E \Leftrightarrow 4,965 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$E \cdot 1,6 \times 10^{-19} \text{ J} = 1 \text{ eV} \cdot 4,965 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$E = \frac{1 \text{ eV} \cdot 4,965 \times 10^{-19} \text{ J}}{1,6 \times 10^{-19} \text{ J}} \Rightarrow E = 3,103 \text{ eV}$$

Resposta: A energia de um fóton da fonte luminosa de 400 nm, em electrão-volt, é de 3,103.

3. Para a emissão fotoelétrica de um determinado metal obteve-se o gráfico da energia cinética em função da frequência ao lado. Encontra:

- 3.1 O limite vermelho do metal.

Resposta: $f_0 = 6 \times 10^{14} \text{ Hz}$.

- 3.2 A energia mínima para arrancar os electrões.

Resposta:

$$\Phi = hf_0 = 6,62 \times 10^{-34} \text{ Js} \cdot 6 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$$

$$\Phi = 39,72 \times 10^{-20} \text{ J}$$

- 3.3 A energia cinética para $6 \times 10^{14} \text{ Hz}$ e para $9 \times 10^{14} \text{ Hz}$.

Resposta:

Para $f = 6 \times 10^{14} \text{ Hz}$ teremos:

$$h \cdot f = E_{cm\acute{a}x} + \Phi \Rightarrow E_{cm\acute{a}x} = h \cdot f - \Phi$$

$$E_{cm\acute{a}x} = 6,62 \times 10^{-34} \text{ Js} \cdot 6 \times 10^{14} \text{ Hz} - 39,72 \times 10^{-20} \text{ J}$$

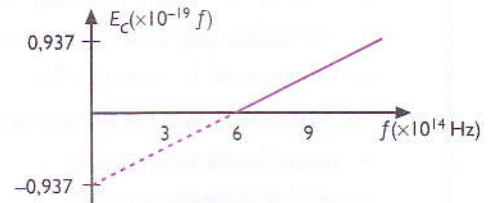
$$E_{cm\acute{a}x} = 39,72 \times 10^{-20} \text{ Js} - 39,72 \times 10^{-20} \text{ J} \Rightarrow E_{cm\acute{a}x} = 0$$

Para $f = 9 \times 10^{14} \text{ Hz}$ teremos:

$$h \cdot f = E_{cm\acute{a}x} + \Phi \Rightarrow E_{cm\acute{a}x} = h \cdot f - \Phi$$

$$E_{cm\acute{a}x} = 6,62 \times 10^{-34} \text{ Js} \cdot 9 \times 10^{14} \text{ Hz} - 39,72 \times 10^{-20} \text{ J}$$

$$E_{cm\acute{a}x} = 59,58 \times 10^{-20} \text{ Js} - 39,72 \times 10^{-20} \text{ J} \Rightarrow E_{cm\acute{a}x} = 19,86 \times 10^{-20} \text{ J}$$



4. Sendo 4,2 eV a função trabalho para extrair os fotoelectrões de um metal, qual é o comprimento de onda máximo abaixo do qual não se verifica o fenómeno fotoeléctrico e o potencial de paragem deste metal quando sobre si incide um fluxo luminoso de $3,25 \times 10^{15}$ Hz?

Dados

$$\Phi = 4,2 \text{ eV} \quad \lambda_0 = ? \quad U_p = ? \quad f = 3,25 \times 10^{15} \text{ Hz}$$

Resolução

$$1 \text{ eV} \Leftrightarrow 1,6 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$4,2 \text{ eV} \Leftrightarrow \Phi$$

$$\Phi = \frac{4,2 \text{ eV} \cdot 1,6 \times 10^{-19} \text{ J}}{1 \text{ eV}}$$

$$\Phi = 6,72 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$\Phi = \frac{h \cdot c}{\lambda_0} \Rightarrow \lambda_0 = \frac{hc}{\Phi}$$

$$\lambda_0 = \frac{6,62 \times 10^{-34} \text{ Js} \cdot 3 \times \frac{10^8 \text{ m}}{\text{s}}}{6,72 \times 10^{-19} \text{ J}} \Rightarrow \lambda_0 = 2,96 \times 10^{-7} \text{ m}$$

$$U_p = \frac{h}{e} \cdot f - \frac{\Phi}{e}$$

$$U_p = \frac{6,62 \times 10^{-34} \text{ Js}}{1,6 \times 10^{-19} \text{ C}} \cdot 3,25 \times 10^{15} \text{ Hz} - \frac{6,72 \times 10^{-19} \text{ J}}{1,6 \times 10^{-19} \text{ C}}$$

$$U_p = 13,44 \text{ V} - 4,2 \text{ V} \Rightarrow U_p = 9,24 \text{ V}$$

5. Ao lado estão representadas três transições electrónicas no átomo de hidrogénio.

- 5.1 Qual é a transição a que corresponde um maior comprimento de onda?

Resposta: É a transição *t*.

- 5.2 Calcula o respectivo comprimento de onda.

$$|E_{n_f} - E_{n_i}| = h \cdot \frac{c}{\lambda} \Rightarrow \lambda = \frac{hc}{|E_{n_f} - E_{n_i}|}$$

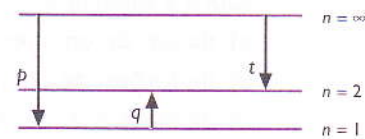
$$\lambda_t = \frac{6,62 \times 10^{-34} \text{ Js} \cdot 3 \times \frac{10^8 \text{ m}}{\text{s}}}{|E_{\infty} - E_2|}$$

Calculando as energias E_{∞} e E_2 teremos:

$$E_{\infty} = -\frac{13,6 \text{ eV}}{\infty^2} = 0 \text{ e } E_2 = -\frac{13,6 \text{ eV}}{2^2} = -3,4 \text{ eV} = -5,44 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$\lambda_t = \frac{6,62 \times 10^{-34} \text{ Js} \cdot 3 \times \frac{10^8 \text{ m}}{\text{s}}}{|0 - 5,44 \times 10^{-19} \text{ J}|} \Rightarrow \lambda_t = \frac{1,986 \times 10^{-25} \text{ Jm}}{5,44 \times 10^{-19} \text{ J}} = 3,65 \times 10^{-7} \text{ m}$$

Resposta: O comprimento de onda para a transição *t* é de $3,65 \times 10^{-7}$ m.



Exercícios não resolvidos

I. Assinala, com X, a opção correcta na sequência de questões apresentadas a seguir, de forma a obteres afirmações cientificamente correctas.

- 1.1 Na Física atómica estudam-se as interacções ____ do átomo.
- a) ao nível do núcleo
 - b) entre protões e neutrões
 - c) ao nível da electrosfera
 - d) gravitacionais entre os protões e os neutrões
- 1.2 Raios catódicos são um feixe ____ emitidos pelo ____ deslocando-se num tubo de alto vácuo.
- a) paralelo de fotões; cátodo
 - b) convergente de fotões; ânodo
 - c) convergente de electrões; ânodo
 - d) paralelo de electrões; cátodo
- 1.3 Os raios catódicos:
- a) propagam-se em linha recta com velocidade próxima à da luz num campo eléctrico ou magnético.
 - b) propagam-se em linha recta e provocam luminiscência nos corpos com que chocam.
 - c) deflectem-se quando submetidos a um campo gravitacional.
 - d) nenhuma das opções está correcta.
- 1.4 O efeito fotoeléctrico consiste na emissão ____ à custa de um fluxo luminoso incidente sobre a superfície ____.
- a) da luz; de um metal
 - b) de fotões; de um metal
 - c) de electrões; de um metal
 - d) de protões; de um corpo sólido qualquer
- 1.5 O efeito termoeléctrico consiste na emissão ____ à custa ____ sobre a superfície ____.
- a) da luz; do calor; de um corpo sólido qualquer
 - b) de fotões; da luz; de um metal
 - c) de electrões; da luz; de um corpo sólido qualquer
 - d) de electrões; do calor; de um metal
- 1.6 Para que uma emissão fotoeléctrica tenha lugar é necessário que a energia do fluxo luminoso incidente:
- a) supere a energia mínima necessária para emitir os electrões da superfície desse metal.
 - b) seja igual ou superior à função trabalho desse metal.
 - c) seja inferior à função trabalho.
 - d) nenhuma das opções está correcta.
- 1.7 Tanto na emissão fotoeléctrica como na emissão termoeléctrica ocorre emissão de:
- a) termoelectrões do ânodo para o cátodo.
 - b) fotoelectrões do cátodo para o ânodo.
 - c) electrões do cátodo para o ânodo.
 - d) electrões do ânodo para o cátodo.

- I.8 Existe uma frequência mínima a partir da qual se dá início à emissão fotoelétrica chamada frequência limite. Por essa razão, podemos afirmar que a emissão fotoelétrica:
- ocorre no caso em que a frequência do fluxo luminoso incidente for menor que a frequência limite.
 - ocorre apenas quando a frequência da luz incidente for igual à frequência limite.
 - tem lugar quando a frequência da radiação luminosa incidente for maior ou igual à frequência limite.
 - nenhuma das opções anteriores está correcta.
- I.9 Na emissão fotoelétrica, à frequência limite corresponde:
- o comprimento de onda mínimo para o início da emissão.
 - o comprimento de onda máximo para dar lugar à emissão.
 - a frequência máxima para dar lugar à emissão.
 - a frequência máxima e o comprimento máximo de onda em que a emissão fotoelétrica tem lugar.
 - a frequência máxima e o comprimento mínimo de onda em que a emissão fotoelétrica tem lugar.
- I.10 Sob o ponto de vista ambiental, o uso de energias renováveis:
- causa danos ao meio ambiente.
 - não causa danos ao meio ambiente.
 - é mais caro do que o uso de combustíveis fósseis.
 - nenhuma das opções está correcta.
- I.11 Um painel solar é um dispositivo constituído por várias células fotovoltaicas. As células fotovoltaicas têm a função de converter a energia::
- térmica em eléctrica.
 - eléctrica em térmica.
 - luminosa em eléctrica.
 - eléctrica em luminosa.
 - luminosa em térmica.
- I.12 Num tubo de raios X, os raios X resultam da colisão dos _____ com os _____ de um alvo metálico colocado no _____.
- protões; átomos; ânodo
 - átomos; raios catódicos; cátodo
 - raios catódicos; átomos; ânodo
 - protões; átomos; cátodo
 - átomos; protões; raios catódicos
- I.13 A produção de raios X é um processo inverso à emissão fotoelétrica. A afirmação é correcta porque:
- na emissão fotoelétrica a energia dos raios X é transformada em energia cinética dos raios catódicos.
 - na produção dos raios X a energia cinética dos raios catódicos é transformada em energia dos raios X.
 - na emissão fotoelétrica a energia cinética dos fotoelectrões é transformada em energia eléctrica.
 - nenhuma das opções está correcta.

- I.14 Uma das propriedades dos raios X é o seu grande poder de penetração. Estas ondas electromagnéticas:
- a) propagam-se em linha recta e desviam-se devido à presença de um campo eléctrico ou magnético.
 - b) desviam-se devido à presença de um campo eléctrico ou magnético e permitem gravar imagens em chapas fotográficas.
 - c) propagam-se em linha recta, permitem gravar imagens em chapas fotográficas e desviam-se devido à presença de um campo eléctrico ou magnético.
 - d) propagam-se em linha recta, permitem gravar imagens em chapas fotográficas e não se desviam devido à presença de um campo eléctrico ou magnético.
- I.15 A frequência dos raios X encontra-se ligada ao número atómico dos átomos de que o alvo metálico é feito. A frequência dos raios X é:
- a) inversamente proporcional ao quadrado do número atómico dos átomos do alvo metálico.
 - b) directamente proporcional à raiz quadrada do número atómico dos átomos do alvo metálico.
 - c) directamente proporcional ao quadrado do número atómico dos átomos do alvo metálico.
 - d) inversamente proporcional à raiz quadrada do número atómico dos átomos do alvo metálico.
 - e) nenhuma das opções está correcta.
- I.16 Niels Bohr desenvolveu a primeira teoria quântica do átomo de hidrogénio. Segundo Bohr, um electrão:
- a) pode mover-se por órbitas estacionárias no interior do átomo como uma partícula pontual não irradiando energia.
 - b) é distribuído simetricamente numa nuvem electrónica em volta do núcleo.
 - c) pode mover-se por órbitas estacionárias no interior do núcleo como uma partícula pontual não irradiando energia.
 - d) pode mover-se por órbitas estacionárias no interior do núcleo como uma partícula pontual irradiando energia.
 - e) nenhuma das opções está correcta.
- I.17 A teoria de Planck diz que a matéria emite ou absorve energia electromagnética na forma ____ emitindo ou absorvendo ____ cuja energia é proporcional ____.
- a) discreta; *quantum*; ao comprimento de onda
 - b) contínua; fótons; à frequência
 - c) discreta; fótons; à frequência
 - d) nenhuma das opções está correcta.
- I.18 Quando um electrão sai de um estado fundamental para um estado excitado:
- a) absorve energia na forma discreta.
 - b) emite energia na forma discreta.
 - c) emite energia na forma contínua.
 - d) absorve energia na forma contínua.
 - e) não emite nem absorve energia.

- 1.19 No modelo de Bohr para o átomo de hidrogênio, a transição correspondente à linha K_{α} da série de Lyman ocorre com _____ do que na transição correspondente à linha M_{α} da série de Paschen.
- a) emissão de maior energia
- b) absorção de maior energia
- c) emissão de menor energia
- d) absorção de menor energia
- 1.20 Um metal emite $3,20 \times 10^{34}$ fotoelectrões por segundo quando nele incide um fluxo luminoso proveniente de uma fonte de 500 W. Se substituirmos aquela fonte por uma de 220 W, serão emitidos pelo mesmo metal:
- a) $7,272 \times 10^{34} \frac{\text{fotoelectrões}}{\text{s}}$
- b) $7,102 \times 10^{-35} \frac{\text{fotoelectrões}}{\text{s}}$
- c) $7,272 \times 10^{-34} \frac{\text{fotoelectrões}}{\text{s}}$
- d) $7,102 \times 10^{35} \frac{\text{fotoelectrões}}{\text{s}}$
- 1.21 Devido à incidência dum fluxo luminoso de uma fonte de 100 W são emitidos $5,3 \times 10^4$ fotoelectrões por segundo. Se duplicarmos a potência do fluxo luminoso da referida fonte:
- a) a quantidade dos fotoelectrões emitidos por segundo irá duplicar.
- b) o número de fotoelectrões emitidos por segundo irá reduzir para metade.
- c) serão emitidos $3 \times 10^8 \frac{\text{fotoelectrões}}{\text{s}}$.
- d) serão emitidos $5,3 \times 10^4 \frac{\text{fotoelectrões}}{\text{s}}$.
- e) serão emitidos $2,5 \times 10^4 \frac{\text{fotoelectrões}}{\text{s}}$.
- 1.22 O fluxo luminoso produzido por uma lâmpada de 240 W arranca, da superfície de um metal, 4×10^{20} fotoelectrões por segundo. Se se pretende arrancar $1,6 \times 10^{21}$ fotoelectrões por segundo a potência da fonte deve ser de:
- a) 60 W
- b) 104 W
- c) 960 W
- d) 166 W
- e) 180 W
- 1.23 Quatro fontes luminosas emitem, respectivamente, fluxos luminosos de 4000 Å, 5000 Å, 3×10^8 KHz e 5×10^7 MHz. As energias de um fotão emitido por cada uma destas fontes luminosas, em electrão-volt, são respectivamente:
- a) $4,965 \times 10^{-19}$ eV, $3,972 \times 10^{-19}$ eV, $1,986 \times 10^{-22}$ eV e $3,31 \times 10^{-20}$ eV.
- b) $8,826 \times 10^{-49}$ eV, $1,103 \times 10^{-48}$ eV, $1,986 \times 10^{-25}$ eV e $3,31 \times 10^{-26}$ eV.
- c) $3,103 \times 10^{-10}$ eV, $2,482 \times 10^{-10}$ eV, $1,314 \times 10^{-58}$ eV e $2,10 \times 10^{-7}$ eV.
- d) 3,103 eV, 2,482 eV, $1,241 \times 10^{-3}$ eV e 0,206 eV.

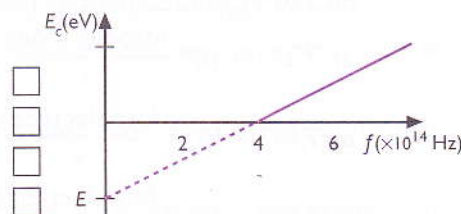
1.24 Sabendo que 2,96 eV é a função trabalho para extrair os fotoelectrões dum metal, o comprimento de onda máximo acima do qual não se verifica o fenómeno fotoeléctrico e o potencial de paragem deste mesmo metal quando sobre si incide um fluxo luminoso de $1,63 \times 10^{15}$ Hz serão, respectivamente, iguais a:

- a) $6,709 \times 10^{-26}$ m e $-1,85 \times 10^{19}$ V
- b) $4,193 \times 10^{-7}$ m e 3,784 V
- c) $-1,85 \times 10^{19}$ m e $6,709 \times 10^{-26}$ m
- d) 3,784 V e $4,193 \times 10^{-7}$ m

1.25 Para a emissão fotoeléctrica de um determinado metal obteve-se o gráfico da energia cinética em função da frequência ao lado.

1.25.1 Qual é o limite vermelho do metal?

- a) 6×10^{14} Hz
- b) 4×10^{14} Hz
- c) 2×10^{14} Hz
- d) nenhuma das opções.



1.25.2 Qual é o valor indicado por E?

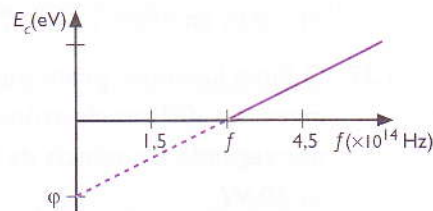
- a) $2,648 \times 10^{-19}$ eV
- b) 2,482 eV
- c) 0 eV
- d) 1,655 eV

1.25.3 As energias cinéticas adquiridas por cada electrão ejectado pelas radiações de 4×10^{14} Hz e 6×10^{14} Hz são, respectivamente:

- a) $2,648 \times 10^{-19}$ J e $3,972 \times 10^{-19}$ J
- b) $5,296 \times 10^{-19}$ J e $6,62 \times 10^{-19}$ J
- c) 0 J e $1,324 \times 10^{-19}$ J
- d) nenhuma das opções anteriores está correcta.

1.26 Para o gráfico à direita, os valores de f_0 e Φ são, respectivamente:

- a) 3 Hz e $3,0 \times 10^{14}$ J
- b) $3,0 \times 10^{14}$ Hz e $1,986 \times 10^{-19}$ J
- c) $1,5 \times 10^{14}$ Hz e $9,93 \times 10^{-20}$ J
- d) 4,5 Hz e $2,979 \times 10^{-19}$ J

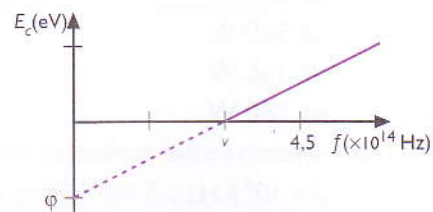


1.27 A emissão fotoeléctrica da superfície de um determinado metal obedece à equação

$$E_c(f) = 7 \times 10^{-34}f - 2,4 \times 10^{-19}$$

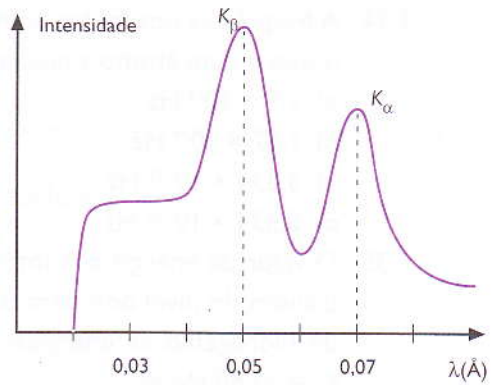
cujo gráfico está representado à direita. A partir da expressão dada, a constante de Planck e, a partir do gráfico, os valores de ϕ e ν , são, respectivamente:

- a) 7×10^{-34} Js, $-2,4 \times 10^{-19}$ eV e $3,625 \times 10^{14}$ Hz
- b) $6,62 \times 10^{-34}$ Js, $-1,5$ eV e $3,625 \times 10^{14}$ Hz
- c) $6,62 \times 10^{-34}$ Js, $-2,4 \times 10^{-19}$ eV e $3,625 \times 10^{14}$ Hz
- d) 7×10^{-34} Js, 1,5 eV e $3,625 \times 10^{14}$ Hz



1.28 A figura representa o espectro de raios X produzidos por um tubo. De acordo com a figura, o comprimento de onda mínimo, a energia correspondente à linha K_{α} e a ddp mínima a que o tubo dos raios X deve operar são, respectivamente, iguais a:

- a) $0,02 \text{ \AA}$, $9,93 \times 10^{-14} \text{ J}$ e $6,206 \times 10^5 \text{ V}$
- b) $0,02 \text{ \AA}$, $9,93 \times 10^{-24} \text{ J}$ e $6,206 \times 10^{-5} \text{ V}$
- c) $0,07 \text{ \AA}$, $2,837 \times 10^{-14} \text{ J}$ e $1,773 \times 10^5 \text{ V}$
- d) $0,07 \text{ \AA}$, $2,837 \times 10^{-24} \text{ J}$ e $1,773 \times 10^{-5} \text{ V}$



1.29 A mínima ddp entre o ânodo e o cátodo, de modo que se obtenham raios X da ordem de 10^{-2} \AA deve ser:

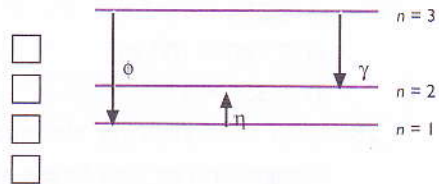
- a) $1,241 \times 10^{-4} \text{ V}$
- b) $8,058 \times 10^{-4} \text{ V}$
- c) $1,241 \times 10^3 \text{ V}$
- d) $8,058 \times 10^3 \text{ V}$

1.30 A diferença de potencial que deve ser empregue para acelerar um electrão, a fim de que o limite do espectro na região de frequência mais elevada seja igual a $3,2 \text{ \AA}$ é:

- a) $3,878 \times 10^3 \text{ V}$
- b) $3,878 \times 10^{-7} \text{ V}$
- c) $2,578 \times 10^{-4} \text{ V}$
- d) $2,578 \times 10^6 \text{ V}$

1.31 Ao lado estão representadas três transições electrónicas no átomo de hidrogénio. A transição de:

- a) maior energia é η .
- b) menor frequência é Φ .
- c) maior comprimento de onda é γ .
- d) nenhuma das opções anteriores.



1.32 No exercício anterior, referente aos níveis de energia no átomo de hidrogénio, durante as transições Φ , η e γ ocorre, respectivamente:

- a) absorção, emissão e absorção de energia.
- b) absorção, absorção e emissão de energia.
- c) emissão, absorção e emissão de energia.
- d) emissão, emissão e absorção de energia.

1.33 Voltando ainda ao exercício 1.31, referente aos níveis de energia no átomo de hidrogénio, os comprimentos de onda, em nanómetro, para as transições Φ , η e γ são, respectivamente:

- a) $1,6 \times 10^{-26} \text{ nm}$, $1,9 \times 10^{-26} \text{ nm}$ e $1,05 \times 10^{-25} \text{ nm}$
- b) $6,25 \times 10^{25} \text{ nm}$, $5,26 \times 10^{25} \text{ nm}$ e $9,52 \times 10^{24} \text{ nm}$
- c) $102,6 \text{ nm}$, $121,6 \text{ nm}$ e $657,1 \text{ nm}$
- d) nenhuma das opções anteriores está correcta.

- 1.34 A frequência dos fótons emitidos durante a transição de um electrão de um nível para o outro num átomo a que corresponde uma energia de 1,241 eV vale:
- a) $2,9 \times 10^{14}$ Hz
- b) $1,87 \times 10^{34}$ Hz
- c) $3,334 \times 10^{-15}$ Hz
- d) $5,334 \times 10^{-34}$ Hz
- 1.35 O valor da energia dos fótons emitidos quando um electrão do átomo de hidrogénio transita do nível dois para o nível um, sabendo que no modelo de Bohr para o átomo de hidrogénio as energias dos dois níveis de menor energia são $E_1 = -13,6$ eV e $E_2 = -3,40$ eV, é:
- a) 10,2 eV
- b) -10,2 eV
- c) -13,6 eV
- d) -3,40 eV
- 1.36 Para a transição L_{β} da série de Balmer no átomo de hidrogénio, a frequência e o comprimento de onda do electrão emitido são, respectivamente:
- a) $2,054 \times 10^6$ m e $1,622 \times 10^{-15}$ Hz
- b) $7,788 \times 10^{-26}$ m e $3,85 \times 10^{33}$ Hz
- c) $4,867 \times 10^{-7}$ m e $6,163 \times 10^{14}$ Hz
- d) nenhuma das opções anteriores.
- 1.37 O limite das ondas curtas no espectro contínuo de raios X de um tubo de raios X que funciona sob a tensão de 37 KV é:
- a) $2,980 \times 10^7$ m
- b) $3,354 \times 10^{-8}$ m
- c) $2,980 \times 10^{10}$ m
- d) $3,354 \times 10^{-110}$ m
- 1.38 Uma superfície de chumbo absorve dois feixes de raios X que sobre si incidem. Designando os dois feixes por 1 e 2 e, tendo em conta que o comprimento de onda do feixe 1 é duas vezes maior que o do feixe 2, a relação das energias dos dois feixes é:
- a) $E_1 = E_2$
- b) $E_1 = 2E_2$
- c) $E_1 = \frac{E_2}{2}$
- d) $E_1 = 4E_2$

Vamos experimentar...

Experiência 1

Conversão da radiação solar em energia eléctrica

Objectivos:

- Verificar o funcionamento de um painel solar.
- Converter a energia solar em corrente eléctrica através de um painel solar.
- Verificar a variação da intensidade da corrente eléctrica em função do ângulo de incidência da luz solar.

Materiais: Um painel solar; uma lâmpada; fios; um interruptor; um pau; um voltímetro; um amperímetro.

Procedimentos:

- Forma um circuito eléctrico com o painel solar, os fios, o voltímetro (ligado em paralelo), o amperímetro (ligado em série), a lâmpada e o interruptor.
- Fixa o pau no chão direccionando-o de tal forma que aponte para o Sol e coloca o painel solar na mesma direcção.
- Mede o ângulo de incidência da luz solar tomando como normal o pau a apontar na direcção do Sol.
- Liga o interruptor e regista os valores lidos directamente no amperímetro e no voltímetro bem como o valor do ângulo de incidência.

Tratamento dos resultados da experiência

1. Repete o procedimento acima descrito variando o ângulo de incidência em 30° e regista os dados na tabela abaixo.

N.º da Experiência	\hat{i}	$U(V)$	$I(A)$
1	0°		
2	30°		
3	60°		
4	90°		
5	120°		
6	180°		

2. Responde às questões seguintes:
 - 2.1 O que acontece aos valores da tensão (lida no voltímetro)?
 - 2.2 O que acontece aos valores da intensidade da corrente (lida no amperímetro)?
 - 2.3 O que acontece à intensidade de iluminação da lâmpada? Aumenta ou diminui? Justifica a tua resposta.
 - 2.4 Para um ângulo de incidência igual a 180° , a lâmpada continua acesa ou não? Porquê?

Experiência 2

Detecção de termoelectrões usando um electroscópio de folha e uma lâmpada de néon

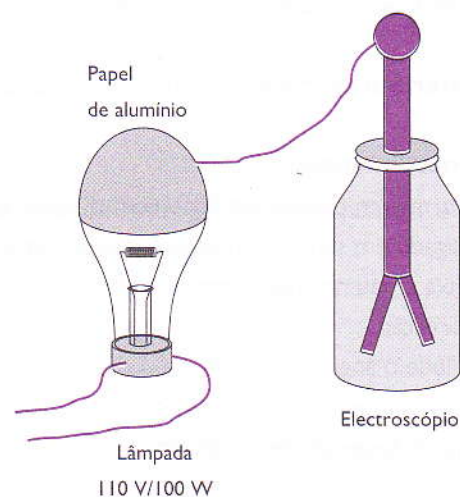
Objectivo:

- Verificar a emissão termoelectrónica (emissão de electrões a partir do calor).

Materiais: uma lâmpada de 100 W; um bocal para a lâmpada; um fio eléctrico; um interruptor; uma tomada de 110 V ou 220 V; uma folha de alumínio; um electroscópio de folhas.

Procedimentos:

- Esta experiência pode ser executada em grupos de dois alunos.
- Liga o fio eléctrico e a lâmpada ao bocal.
- Cobre a parte superior da lâmpada com a folha de alumínio.
- Coloca próximo dela o electroscópio de folhas inicialmente neutro (as folhas do electroscópio encontram-se juntas).
- Liga o fio à tomada; liga o interruptor e observa o electroscópio de folhas.



..... Figura 17: Montagem da experiência.

Tratamento dos resultados da experiência

- I. Para a verificação do objectivo desta experiência responde às seguintes questões:
 - I.1 O que aconteceu às folhas do electroscópio? Afastaram-se ou permaneceram juntas?
 - I.2 O que acontecerá às folhas do electroscópio se o afastarmos consideravelmente da lâmpada?
 - I.3 O que acontecerá às folhas do electroscópio se o aproximarmos muito da lâmpada?

Conclusão

O papel de alumínio emitiu os seus electrões de valência devido ao aquecimento provocado pela lâmpada, condicionando, pouco a pouco, o carregamento (electrização) do electroscópio de folhas.

Experiência 3

Detecção de termoelectrões usando uma lâmpada de néon

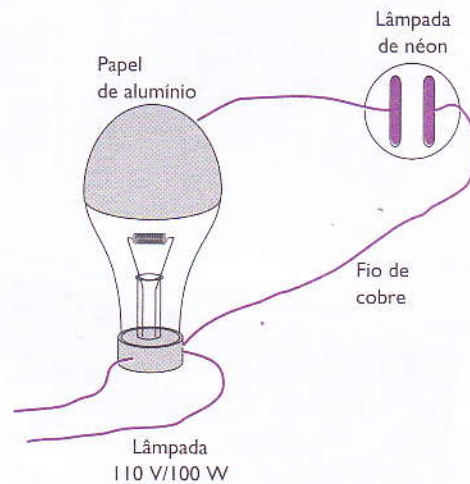
Objectivos:

- Verificar a emissão termoeléctrica (emissão de electrões a partir do calor).

Materiais: Uma lâmpada de 100 W; um bocal para a lâmpada; um fio eléctrico; um interruptor; uma tomada de 110 V ou 220 V; uma folha de alumínio; um electroscópio de folhas.

Procedimentos:

- Faz esta experiência seguindo as indicações da experiência 2 desta unidade, mas agora, em vez de usares o electroscópio de folhas, usa uma lâmpada de néon para verificar a emissão de termoelectrões, isto é:
 - liga o fio eléctrico e a lâmpada ao bocal;
 - cobre a parte superior da lâmpada com a folha de alumínio e liga a lâmpada de néon a um dos fios da lâmpada e à folha de alumínio como na figura ao lado;
 - liga o fio à tomada, liga o interruptor e observa a lâmpada de néon.

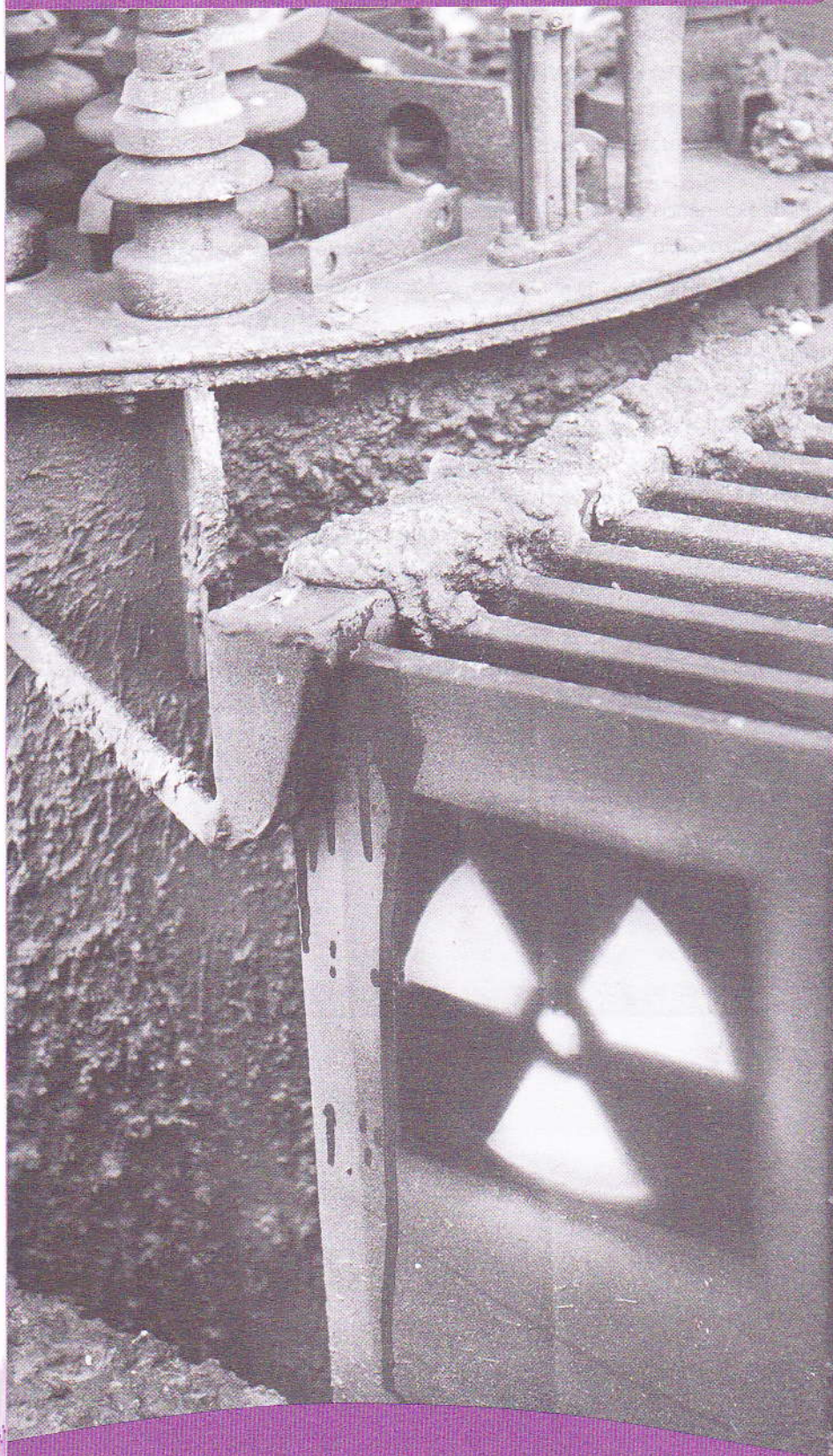


..... Figura 18: Montagem da experiência.

Tratamento dos resultados da experiência

- I. Responde às seguintes questões:
 - I.1 A folha de alumínio encontra-se apenas a cobrir a lâmpada de 100 W. A lâmpada de néon está ligada a um dos fios e à folha de alumínio. Ao ligar o interruptor, por que razão a lâmpada de néon acende?
 - I.2 O que acontecerá à lâmpada de néon se desligarmos o fio da folha de alumínio?

Física nuclear



No final desta unidade, deverás ser capaz de:

- distinguir as diferentes partículas nucleares;
- representar as diferentes partículas nucleares;
- identificar elementos isótopos e isóbaros;
- identificar os diferentes tipos de reacções nucleares;
- representar os diferentes tipos de reacções nucleares de desintegração;
- identificar uma reacção de fissão nuclear;
- representar uma reacção de fissão nuclear;
- explicar o princípio de uma reacção em cadeia;
- calcular o defeito de massa e a energia libertada numa reacção de fusão nuclear;
- explicar o funcionamento de um reactor nuclear;
- explicar a diferença entre os vários tipos de reactores nucleares;
- explicar o funcionamento de uma bomba atómica.

1. Partículas nucleares e sua representação

A Física nuclear é a parte da Física que estuda as interações ao nível dos núcleos.

O núcleo atômico é a parte central do átomo, onde está concentrada quase toda a sua massa. Os núcleos atômicos são constituídos por partículas elementares – os prótons e os nêutrons. Partícula elementar é aquela que não é composta por uma outra partícula estável mais simples (Tabela 1). As partículas elementares não têm uma estrutura interna própria.

Partícula	Representação	Massa atômica relativa (u.m.a.)	Carga elétrica (C)
Neutrão	1_0n	1,0086650	0
Protão	1_1p	1,0072764	$1,602 \times 10^{-19}$
Electrão	${}^0_{-1}e$	0,0005485	$-1,602 \times 10^{-19}$
Positrão	0_1e	0,0005485	$1,602 \times 10^{-19}$
Neutrino	${}^0_0\nu$	0	0
Fotão	${}^0_0\gamma$	0	0

.... Tabela 1: Partículas elementares; sua representação, massa atômica e carga elétrica.

Qualquer partícula no interior do núcleo chama-se nucleão. O nuclídeo de um elemento químico (E) é representado pelo número de massa (A) e pelo número atômico (Z): ${}^A_Z E$.

O número atômico é igual ao número de prótons no núcleo: $Z = p^+$.

O número de massa ou massa atômica é igual à soma do número de prótons e o número de nêutrons no núcleo: $A = Z + N$.

O número de nêutrons é igual à diferença entre a massa atômica e o número atômico: $N = A - Z$.

A massa do próton é muito próxima da do nêutron e é aproximadamente igual à unidade. Estes nucleões mantêm-se no núcleo sob a ação de forças nucleares de interação forte. Considera-se a massa do electrão como sendo igual a zero. O electrão tem carga elétrica negativa. A carga do próton é positiva e é igual, em valor absoluto, à carga do electrão. O nêutron é uma partícula sem carga. Deste modo, o próton, o nêutron e o electrão são representados, respectivamente, por: 1_1p , 1_0n e ${}^0_{-1}e$.

2. Elementos isótopos e isóbaros

O físico inglês A. F. Soddy admitiu, ao observar numerosas transformações radioactivas, que podiam existir elementos químicos com propriedades químicas idênticas mas com propriedades radioactivas diferentes. Assim, identificam-se os elementos isótopos e isóbaros.

Isótopos são os elementos químicos de mesmo número atômico mas diferente número de massa.

Exemplos:

- O carbono possui dois isótopos: ${}^{12}_6C$ (carbono 12) e ${}^{14}_6C$ (carbono 14);
- O hidrogénio possui três isótopos: 1_1H (prótio), 2_1H ou 2_1D (deutério) e 3_1H ou 3_1T (trítio).

Hoje, sabe-se, com base em experiências realizadas com espectrógrafos de massa, que todos os elementos químicos da Tabela Periódica de Mendeleev possuem isótopos. Na Natureza existem aproximadamente 300 isótopos estáveis (não radioactivos) e uns 1000 isótopos artificiais (radioactivos). As cargas dos núcleos atômicos de isótopos são iguais.

Isóbaros são os elementos químicos de mesmo número de massa mas diferente número atômico.

Exemplo: ${}^{40}_{19}K$ (potássio – 40) e ${}^{40}_{20}Ca$ (cálcio – 40).

2.1 Aplicação dos isótopos na medicina e na agricultura

Os isótopos radioactivos têm aplicação na medicina, na agricultura e noutras áreas. Por exemplo, o sódio radioactivo é usado para analisar a circulação do sangue quando nele é introduzido. Na terapia do cancro emprega-se a emissão de radiação gama de cobalto.

Na Tabela 2 encontram-se alguns isótopos e suas aplicações no campo da medicina.

Isótopos	Aplicações
Carbono ($^{14}_6\text{C}$)	Ensaio de radioimunidade.
Césio ($^{137}_{55}\text{Cs}$)	Tratamento do cancro.
Cobalto ($^{60}_{27}\text{Co}$)	Tratamento do cancro.
Ferro ($^{59}_{26}\text{Fe}$)	Verificação de má função das juntas ósseas e diagnóstico de anemias.
Flúor ($^{18}_9\text{F}$)	Tomografias por emissão de positrões (<i>Positron Emission Tomography</i> – PET).
Fósforo ($^{32}_{15}\text{P}$)	Detecção de tumores oculares, cancro de pele ou tumores pós-cirúrgicos.
Gálio ($^{67}_{31}\text{Ga}$)	Varredura do corpo inteiro para tumores.
Iodo ($^{131}_{53}\text{I}$)	Avaliação da actividade da glândula tiróide.
Sódio ($^{24}_{11}\text{Na}$)	Detecção de constrições e obstruções do sistema circulatório.
Tálio ($^{201}_{81}\text{Tl}$)	Identificação de vasos sanguíneos bloqueados.
Trítio (^3_1H)	Determinação do conteúdo de água no corpo.

..... Tabela 2: Isótopos radioactivos e suas aplicações.

Para aumentar o rendimento da produção agrícola submetem-se as sementes a uma pequena dose de radiação gama. Doses elevadas de radiação gama nas plantas podem trazer mutações. Com base nas mutações provocadas pela radiação gama é possível obter novas espécies de sementes melhoradas. Emprega-se, igualmente, a radiação gama para a conservação de produtos alimentares e como insecticida.

3. Reacções nucleares

Reacções nucleares são transformações que os núcleos atómicos sofrem devido à sua interacção mútua e com outras partículas elementares.

As reacções nucleares envolvem transformações no núcleo atómico. Nos núcleos instáveis decorrem espontaneamente por emissão de partículas e/ou radiação electromagnética. Este fenómeno chama-se radioactividade. Todos os elementos com número atómico superior a 83 são radioactivos. No entanto, os núcleos também podem sofrer transformação por aproximação das partículas (bombardeamento por protões, neutrões, electrões ou outros núcleos) à zona do núcleo, no campo de acção das forças nucleares e não dependem das condições exteriores. No processo em que tem lugar uma reacção nuclear, a Lei de Conservação de Carga e a Lei de Conservação de Massa são válidas. Assim, a soma dos números atómicos dos reagentes é igual à soma dos números atómicos dos produtos e a soma das massas atómicas dos reagentes é igual à soma das massas atómicas dos produtos.

As reacções nucleares classificam-se em reacções de desintegração, de fissão e de fusão.

4. Reacções de desintegração (alfa, beta, gama e captura electrónica)

Reacção de desintegração nuclear ou radioactividade é a transformação de um núcleo noutro que ocorre com a emissão espontânea de radiação electromagnética ou de partículas ou de ambas pelos núcleos instáveis.

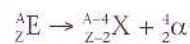
A radioactividade é um processo exotérmico, isto é, ocorre com a libertação de calor. Este tipo de reacção foi descoberto em 1895, acidentalmente, pelo físico francês Henri Becquerel, tendo sido estudado posteriormente pelo casal Pierre Curie e Maria Sklodowska-Curie. Os núcleos que sofrem desintegração chamam-se *núcleos radioactivos*, e os que não sofrem desintegração chamam-se *núcleos estáveis*.

A maior parte dos núcleos radioactivos não se encontra na Natureza, mas pode ser obtida através da radioactividade artificial.

4.1 Desintegração alfa

Desintegração alfa é aquela que ocorre com a libertação de uma partícula alfa reduzindo em quatro unidades e duas unidades, respectivamente, a massa atómica e o número atómico do núcleo-mãe (núcleo inicial).

Refira-se que partícula alfa é o núcleo de hélio. A equação de reacção de uma desintegração alfa tem a seguinte estrutura:



A desintegração alfa é observada em núcleos pesados de número de massa atómica $A > 200$ e com número atómico $Z > 82$.

4.2 Desintegração beta

A desintegração beta é o tipo de desintegração mais frequente, ocorrendo para os núcleos de quase todos os elementos químicos. Este tipo de desintegração não é determinado pelas forças nucleares nem electromagnéticas, mas sim pela interacção fraca das partículas. A desintegração nuclear beta é compreendida por três tipos de reacções nucleares:

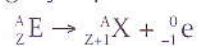
- a desintegração positrónica β^- (beta menos);
- a desintegração electrónica β^+ (beta mais);
- a captura electrónica ou captura K.

4.2.1 Desintegração β^-

Desintegração β^- é aquela que ocorre com a libertação de um electrão aumentando em 1 unidade o número atómico do núcleo-mãe e mantendo constante a sua massa atómica.

A desintegração β^- resulta da transformação de um neutrão do núcleo-mãe num próton, um electrão e um antineutrino. Acontece nos átomos com excesso de neutrões.

A equação de reacção de uma desintegração β^- tem a seguinte estrutura:

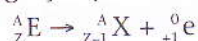


4.2.2 Desintegração β^+

Desintegração β^+ é aquela que ocorre com a libertação de um positrão, diminuindo em 1 unidade o número atómico do núcleo-mãe mantendo constante a sua massa atómica.

A desintegração β^+ resulta da transformação de um protão do núcleo-mãe num neutrão, um positrão e um neutrino. Acontece nos átomos com excesso de protões.

A equação de reacção de uma desintegração β^+ tem a seguinte estrutura:

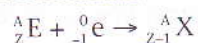


4.2.3 Captura electrónica

Captura electrónica ou captura K é aquela em que o núcleo-mãe absorve um electrão (geralmente da camada K), diminuindo em 1 unidade o seu número atómico e mantendo constante a sua massa atómica.

Consiste na captura de um electrão por parte do núcleo com a libertação de um positrão e um neutrino.

A equação de reacção de uma captura electrónica tem a seguinte estrutura:



4.3 Desintegração gama

Desintegração γ é aquela que ocorre com a emissão de ondas electromagnéticas.

Esta desintegração acompanha, geralmente, as desintegrações alfa e beta sem alterar a massa atómica nem o número atómico. A emissão de fotões (partículas ${}^0_0\gamma$) durante a desintegração gama ocorre quando um electrão passa de um nível energético mais alto para um nível de energia mais baixo no interior do núcleo.

Tal como nos átomos, também nos núcleos podem existir estados de energia superior ao seu estado fundamental. Os núcleos excitados passam ao estado fundamental emitindo fotões gama, isto é, quando um electrão passa de um estado excitado do núcleo ao estado fundamental emite radiação gama.

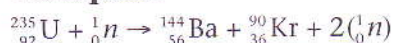
A radiação gama emitida durante a desintegração gama apresenta propriedades muito próximas das propriedades dos raios X, mas com um maior poder de penetração.

5. Reacções de fissão

Na análise feita após bombardear com neutrões o urânio puro, detectou-se lantânio e bário. A presença destes dois elementos químicos tornou-se inexplicável, pois ambos se situam no meio da Tabela Periódica de Mendeleev. Mais tarde, a explicação para este facto surgiu graças aos estudos feitos pelos físicos dinamarqueses O. Frisch e L. Meyther com a desintegração de urânio em duas partes mais ou menos iguais (resíduos). Este fenómeno recebeu o nome de fissão nuclear.

Reacções de fissão são aquelas que ocorrem quando um núcleo pesado sofre fragmentação ao ser bombardeado por um neutrão, originando dois núcleos mais leves e a libertação de neutrões de fissão.

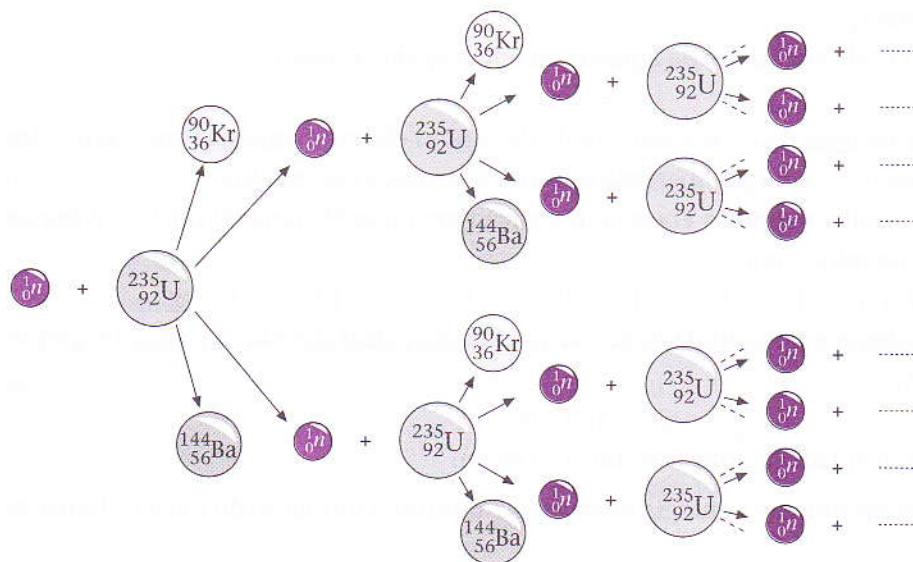
Exemplos:



Os núcleos originados durante a reacção de fissão possuem energia cinética, pois são expelidos a altas velocidades durante a fragmentação do núcleo-mãe. Como os núcleos resultantes da fragmentação do núcleo-mãe são também radioactivos, a reacção pode progredir devido à presença de neutrões. Este tipo de reacção de desintegração denomina-se fissão em cadeia.

Reacção de fissão em cadeia é aquela em que cada neutrão de fissão provoca uma nova fissão.

Numa reacção de fissão em cadeia o número de neutrões de fissão aumenta exponencialmente (figura 1) aumentando, deste modo, a energia libertada:



..... Figura 1: Reacção de fissão em cadeia.

Repare-se que, na reacção de fissão em cadeia acima, foram gerados, na 1.^a etapa, dois neutrões $2({}_0^1n)$, na 2.^a etapa, quatro neutrões $4({}_0^1n)$, na 3.^a etapa, oito neutrões $8({}_0^1n)$ e assim por diante.

O crescimento exponencial da reacção de fissão em cadeia acima é dado pela expressão 2^x .

Assim podemos concluir que, se na 1.^a etapa forem gerados 2, 3, 4, 5, etc., neutrões, na etapa de ordem n serão gerados, respectivamente, 2^n , 3^n , 4^n , 5^n , etc., neutrões de fissão.

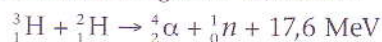
6. Reacções de fusão

Dois núcleos leves podem fundir-se num só para se obter, dessa forma, um núcleo mais pesado.

Reacções de fusão são aquelas que ocorrem quando dois ou mais núcleos leves se juntam originando um núcleo mais pesado.

Para que uma reacção de fusão nuclear ocorra é requerida energia, mas a energia libertada durante a reacção é muitas vezes superior à que é usada para a ocorrência da reacção. Neste caso, a reacção de fusão nuclear é uma reacção exotérmica.

Por exemplo, a reacção entre o núcleo de trítio e deutério dá origem à partícula alfa (núcleo de hélio) libertando um neutrão e uma energia de 17,6 MeV:



A energia do Sol que chega até nós e a das estrelas é resultante das fusões nucleares no seu interior onde o hidrogénio se transforma em hélio.

7. Energia de ligação dos núcleos atómicos e defeito de massa

Em todos os núcleos, excepto no de hidrogénio, existem, no mínimo, dois nucleões que se encontram num estado diferente dos seus estados livres. No interior do núcleo, os nucleões interactivam fortemente com forças de atracção nucleares.

Energia de ligação ou energia de coesão nuclear é a energia necessária para a cisão completa do núcleo nos seus nucleões separados.

A energia de ligação pode ser calculada a partir da equação de Einstein:

$$E_{\text{lig}} = \Delta mc^2$$

onde: E_{lig} – é a energia de ligação; c – é a velocidade das ondas electromagnéticas no vácuo; Δm – é a massa correspondente à energia libertada durante a formação do núcleo.

Na Física nuclear é usual exprimir a energia de ligação em *megaeléctron-volt (MeV)* e a massa em *unidades de massa atómica u.m.a.*:

$$1 \text{ eV} = 1,6 \times 10^{-19} \text{ J} \Rightarrow 1 \text{ MeV} = 1,6 \times 10^{-13} \text{ J} \text{ e } 1 \text{ u.m.a.} = 1,66 \times 10^{-27} \text{ kg.}$$

A energia correspondente a uma unidade de massa atómica é de 931,4 MeV. Assim, a equação de Einstein terá a forma:

$$E = 931,4 \Delta m,$$

onde Δm é a massa em unidade de massa atómica (u.m.a.).

A massa $\Delta m = \frac{E_{\text{lig}}}{c^2}$ correspondente à energia libertada E_{lig} durante a formação do núcleo chama-se defeito de massa:

$$\Delta m = Zm_p + Nm_n - m_x \text{ ou } \Delta m = M_r - M_p,$$

onde: Z – é o número atómico do núcleo X ; m_p – é a massa do protão; N – é o número de neutrões do núcleo X ; m_n – é a massa do neutrão e m_x – é a massa do núcleo X ; M_r – é a massa dos reagentes e M_p – é a massa dos produtos da reacção.

Segundo Einstein, qualquer variação da energia de um corpo causa mudança na sua massa: $\Delta E = \Delta mc^2$. Assim, se um determinado corpo é aquecido ou recebe energia na forma de calor, a sua massa aumenta em alguma porção. Daqui é fácil perceber que o Sol e as estrelas, por exemplo, ao emitirem radiação, diminuem a sua massa.

8. Leis da Desintegração Radioactiva

Sabe-se que uma reacção de desintegração ocorre espontaneamente mesmo sem a presença de um agente externo como, por exemplo, a pressão ou a temperatura. Uma reacção de desintegração é determinada pelas propriedades do núcleo. Assim podemos escrever a Primeira Lei da Desintegração Radioactiva de modo:

1.ª Lei da Desintegração Radioactiva – a ocorrência de uma desintegração radioactiva não depende das condições exteriores (temperatura, pressão, interacções químicas).

A desintegração radioactiva é um processo estatístico, por isso, o tempo médio de existência de um certo núcleo em desintegração pode ser calculado pelo inverso da sua probabilidade de desintegração por unidade de tempo.

Tempo de meia vida é o tempo médio de existência de um certo núcleo.

$$\tau = \frac{1}{\lambda} \quad (1),$$

onde: τ – é o tempo de meia vida do núcleo radioactivo; λ – é a constante de desintegração (probabilidade de desintegração por unidade de tempo).

Em média, considerando inicialmente um grande número N_0 de núcleos radioactivos iguais, desintegram-se λN_0 núcleos. Este produto (λN_0) indica a quantidade de núcleos que se desintegram na unidade de tempo e denomina-se *actividade*.

Actividade é a quantidade de núcleos que se desintegram na unidade de tempo:

$$a = \lambda N_0 \text{ ou } a = -\frac{\Delta N}{\Delta t} \quad (2),$$

onde: a – é a actividade; Δt – é o tempo de desintegração; ΔN – é a quantidade de núcleos que se desintegram. O sinal menos (–) significa que no processo de desintegração o número de núcleos radioactivos diminui.

No Sistema Internacional de Unidades, a unidade de actividade chama-se *becquerel* (Bq). Outras unidades de actividade são o *curie* (Ci) e o *rutherford* (Ru) e a sua relação com a unidade becquerel do Sistema Internacional é: $1 \text{ Ci} = 3,7 \times 10^{10} \text{ Bq}$ e $1 \text{ Ru} = 10^6 \text{ Bq}$.

As expressões (2) conduzem-nos à Segunda Lei da Desintegração Radioactiva, que tem o seguinte enunciado:

2.ª Lei da Desintegração Radioactiva – O número de núcleos que ficam desintegrados durante um período de tempo Δt , é proporcional ao número inicial de núcleos.

$$\lambda N_0 = -\frac{\Delta N}{\Delta t} \Rightarrow \Delta N = -\lambda N_0 \cdot \Delta t \quad (3)$$

Usando o cálculo integral podemos obter a expressão (3) na forma:

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \quad (4)$$

onde $e = 2,718$ é a constante de Neper.

De (4) podemos escrever, para a actividade de um núcleo radioactivo:

$$a = a_0 e^{-\lambda t} \quad (5).$$

Para cada um dos núcleos radioactivos existe um intervalo de tempo durante o qual a sua actividade diminui para metade, chamado período de semidesintegração $T_{\frac{1}{2}}$.

Período de semidesintegração é o tempo necessário para que se desintegram metade dos núcleos existentes num determinado instante.

Assim, $N = \frac{N_0}{2}$ para $t = T_{\frac{1}{2}}$. Substituindo as duas igualdades na expressão (4) teremos:

$$\frac{N_0}{2} = N_0 e^{-\lambda T_{\frac{1}{2}}} \Rightarrow \frac{1}{2} = e^{-\lambda T_{\frac{1}{2}}} \text{ ou } 2 = e^{\lambda T_{\frac{1}{2}}}.$$

Se aplicarmos a função logaritmo neperiano a ambos os membros desta última equação, obteremos:

$$\ln 2 = \ln e^{\lambda T_{\frac{1}{2}}} \Rightarrow \ln 2 = \lambda T_{\frac{1}{2}} \cdot \ln e.$$

Resolvendo a última igualdade para $T_{\frac{1}{2}}$ e atendendo a que $\ln e = 1$ teremos a seguinte expressão para o período de semidesintegração:

$$T_{\frac{1}{2}} = \frac{\ln 2}{\lambda} \quad (6).$$

Visto que $N = \frac{N_0}{2}$ para $t = T_{\frac{1}{2}}$; após x períodos de semidesintegração, teremos: $t = x \cdot T_{\frac{1}{2}}$ e dessa forma:

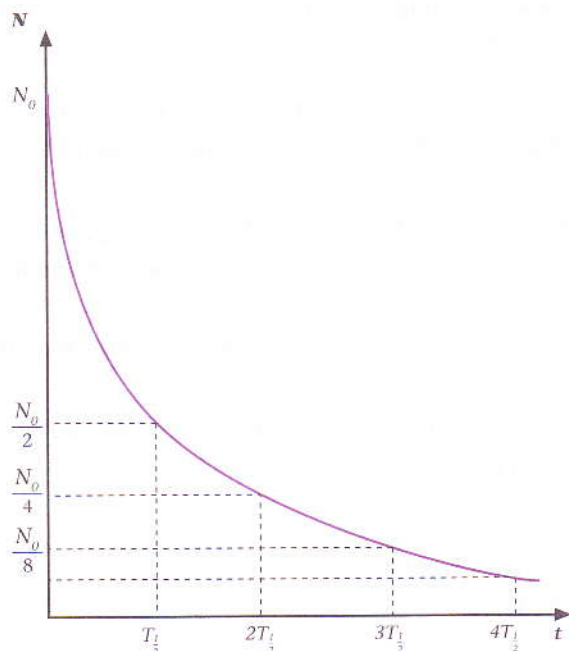
$$N = N_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T_{\frac{1}{2}}}} \quad (7).$$

De (7) escrevemos a expressão da actividade de modo:

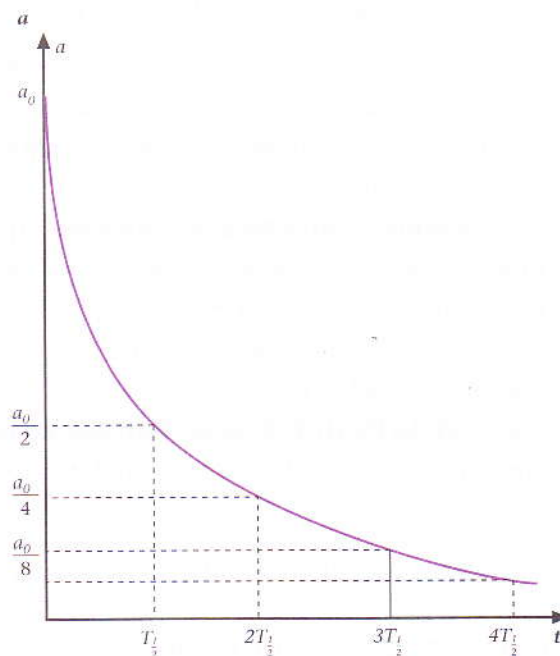
$$a = a_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T_{\frac{1}{2}}}} \quad (8).$$

A partir da fórmula (7), que exprime fundamentalmente a desintegração radioactiva, podemos calcular a quantidade de núcleos que não sofreram desintegração radioactiva. O período de semidesintegração radioactiva varia de núcleo para núcleo, mas isto não significa que a velocidade de desintegração de um determinado núcleo varia com o tempo.

De (7) e (8) representamos graficamente $N(t)$ e $a(t)$ de modo:



..... Figura 2: Gráfico $N(t)$.



..... Figura 3: Gráfico $a(t)$.

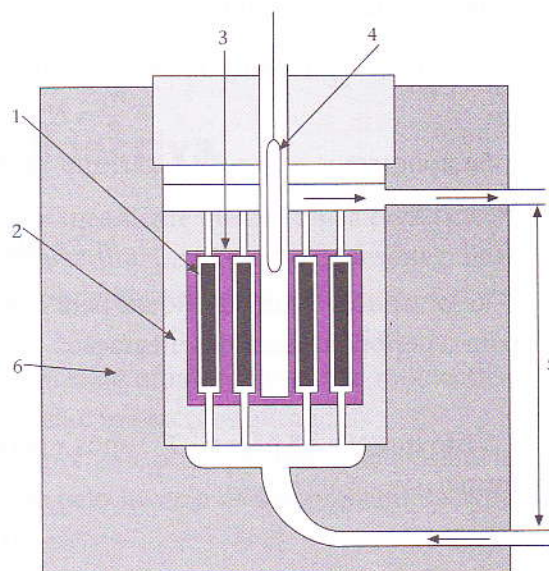
9. Reactores nucleares e sua aplicação

Da equação de Einstein é fácil perceber que mesmo uma massa muito pequena gera enormes quantidades de energia, uma vez que a constante c é muito grande. Este facto levou a que se iniciassem projectos para o desenvolvimento de reactores nucleares para gerar energia eléctrica.

Em 1942, nos EUA, uma equipa de cientistas chefiada por Enrico Fermi (1901-1954), físico italiano, conseguiu a primeira reacção de fissão nuclear controlada de urânio. Uma reacção de fissão nuclear controlada realiza-se num reactor nuclear.

Reactor nuclear é um equipamento onde se realizam reacções de desintegração controlada.

Um reactor nuclear é constituído por uma zona activa – 1 (zona de ocorrência da reacção de fissão nuclear) onde se encontram elementos através dos quais se liberta o calor (combustível nuclear).

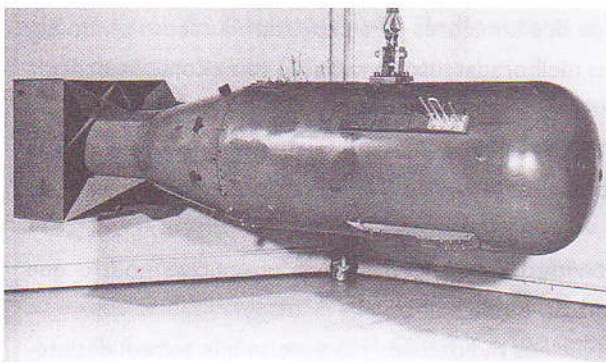


..... Figura 4: Reactor nuclear.

No sentido de diminuir o escape de neutrões, esta zona é revestida com um *reflector de neutrões* – 2. A zona activa é ainda revestida com o *moderador* – 3. No interior do moderador encontram-se as placas do combustível nuclear. O controlo da reacção é feito usando as *hastes de regulação* – 4. O calor libertado durante a reacção é retirado por meio de um *fluido térmico* – 5. Este fluido pode ser um gás, água a alta pressão ou sódio líquido. O calor produzido destina-se a produzir vapor que põe em movimento a turbina da central nuclear. Por ser uma potente fonte de neutrões e de raios X, um reactor nuclear é coberto por *uma camada de protecção* – 6.

Actualmente, existem reactores de variados tipos que diferem uns dos outros na sua potência bem como na sua aplicação. O uso das centrais nucleares para a produção de energia é de capital importância: por um lado, vem responder à grande necessidade de consumo de energia nos dias de hoje; por outro lado, as centrais nucleares não consomem o oxigénio atmosférico e não poluem o meio ambiente.

10. Bomba atómica

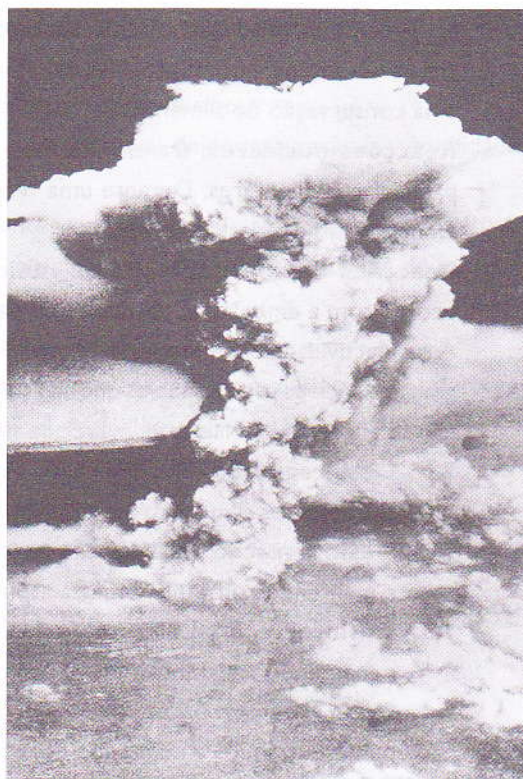


..... Figura 5: Bomba atómica *Little Boy* lançada sobre Hiroshima (1945).

A explosão de uma bomba atómica constitui uma reacção nuclear em cadeia não controlada. Acontece quase instantaneamente porque são usados neutrões rápidos, isto é, não são usados moderadores da reacção.

O aumento da temperatura que se verifica durante a explosão de uma bomba atómica faz subir a pressão, incrementando, deste modo, a dimensão da explosão. A radiação que se espalha durante a explosão de uma bomba atómica é maléfica para os organismos vivos.

A bomba atómica foi um progresso tecnológico muito grande pois mostrou que o Homem estava capacitado para fazer grandes descobertas. Mas acabou por trazer uma influência negativa ao Homem. Tal é o caso do ataque levado a cabo pela força aérea norte-americana ao lançar as bombas atómicas *Little Boy* em Hiroshima e *Fat Man* em Nagasaki, nos dias 6 e 9 de Agosto de 1945, respectivamente, causando muitas mortes.



..... Figura 6: As nuvens resultantes da explosão de *Little Boy* sobre Hiroshima atingiram 18 km acima do solo.

Conceitos básicos

1. **Física nuclear:** parte da Física que se dedica ao estudo das interações nucleares.
2. **Partícula elementar:** partícula não composta por outras partículas estáveis mais simples.
 - 2.1 **Representação de partículas elementares:** a partícula no interior do núcleo chama-se nucleão. O nuclídeo de um elemento químico (E) é representado pelo número de massa (A) e pelo número atómico (Z): ${}^A_Z E$. Temos as seguintes representações: neutrão $-{}_0^1 n$; próton $-{}_1^1 p$; electrão $-{}_{-1}^0 e$; positrão $-{}_{+1}^0 e$; alfa $-{}_2^4 \alpha$; fóton $-{}_0^0 \gamma$.
 - 2.2 **Num núcleo:** $Z = p$ e $A = Z + N$; por isso: $N = A - Z$.
3. **Isótopos:** elementos químicos de igual número atómico mas diferente massa atómica.
Exemplo: O carbono possui dois isótopos: ${}^{12}_6 C$ (carbono 12) e ${}^{14}_6 C$ (carbono 14).
4. **Isóbaros:** elementos químicos de igual massa atómica mas diferente número atómico.
Exemplo: ${}^{40}_{19} K$ (potássio - 40) e ${}^{40}_{20} Ca$ (cálcio - 40).
5. **Aplicação dos isótopos:** na medicina - uso do sódio radioactivo para analisar a circulação do sangue quando nele é introduzido; terapia do cancro através da emissão de radiação gama de cobalto; na agricultura - aplicação de pequenas doses de radiação gama nas sementes para aumentar o rendimento da produção agrícola; aplicações de doses maiores para provocar mutações tendo em vista a obtenção de novas espécies de sementes melhoradas; uso da radiação gama como insecticida e na conservação de alimentos.
6. **Reacções nucleares:** transformações nucleares devido à sua interacção mútua e com outras partículas elementares. Durante uma reacção nuclear, a Lei de Conservação de Carga e a Lei de Conservação de Massa são válidas.
7. **Reacções de desintegração ou radioactividade:** transformação de um núcleo noutra que ocorre com a emissão de partículas ou de radiação ou de ambas.
A radioactividade é um processo exotérmico. Núcleos radioactivos são aqueles que sofrem desintegração e núcleos estáveis são os que não sofrem desintegração. A maior parte dos núcleos radioactivos não se encontra na Natureza, mas pode ser obtida através da radioactividade artificial.
 - 7.1 **Desintegração alfa:** libertação da partícula alfa reduzindo em 4 unidades a massa atómica e 2 unidades o número atómico do núcleo inicial: ${}^A_Z E \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2} X + {}^4_2 \alpha$
 - 7.2 **Desintegração β^- :** libertação de um electrão aumentando em 1 unidade o número atómico e mantendo constante a massa atómica do núcleo-mãe: ${}^A_Z E \rightarrow {}^A_{Z+1} X + {}_{-1}^0 e$
 - 7.3 **Desintegração β^+ :** libertação de um positrão diminuindo em 1 unidade o número atómico e mantendo constante a massa atómica do núcleo-mãe: ${}^A_Z E \rightarrow {}^A_{Z-1} X + {}_{+1}^0 e$
 - 7.4 **Captura electrónica:** captura de um electrão pelo núcleo-mãe diminuindo em 1 unidade o número atómico e mantendo constante a sua massa atómica: ${}^A_Z E + {}_{-1}^0 e \rightarrow {}^A_{Z-1} X$
 - 7.5 **Desintegração γ :** ocorre com a emissão de ondas electromagnéticas (partículas ${}^0_0 \gamma$) quando um electrão passa de um nível energético excitado para o nível fundamental no interior do núcleo. A radiação gama é muito próxima da dos raios X, mas tem um maior poder de penetração do que estes e acompanha as desintegrações alfa e beta sem alterar a massa atómica nem o número atómico.
8. **Reacções de fissão:** ocorrem quando um núcleo pesado, tendo sido bombardeado por um neutrão, sofre cisão, originando dois núcleos mais leves e ainda a libertação de neutrões de fissão:

$${}^{235}_{92} U + {}^1_0 n \rightarrow {}^{144}_{56} Ba + {}^{90}_{36} Kr + 2({}^1_0 n)$$
 - 8.1 **Reacção de fissão em cadeia:** é aquela em que cada neutrão de fissão provoca nova fissão.

9. Reacções de fusão: ocorrem quando dois ou mais núcleos leves se juntam originando um núcleo mais pesado: ${}^3_1\text{H} + {}^2_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^1_0\text{n} + 17,6 \text{ MeV}$.

A energia do Sol que chega até nós e a das estrelas é resultante das fusões nucleares no seu interior onde o hidrogénio se transforma em hélio.

10. Energia de ligação: energia necessária para a cisão completa do núcleo em nucleões separados:

$E_{\text{lig}} = \Delta mc^2$. E_{lig} – é a energia de ligação; c – é a velocidade das ondas electromagnéticas no vácuo; Δm – é a massa correspondente à energia libertada durante a formação do núcleo.

É usual exprimir a energia de ligação em megaelétron-volt (MeV) e a massa em unidades de massa atómica (u.m.a.): $1 \text{ eV} = 1,6 \times 10^{-19} \text{ J} \Rightarrow 1 \text{ MeV} = 1,6 \times 10^{-13} \text{ J}$ e $1 \text{ u.m.a.} = 1,66 \times 10^{-27} \text{ kg}$. A energia correspondente a uma unidade de massa atómica é de 931,4 MeV. Assim: $E = 931,4 \Delta m$; onde Δm é expressa em u.m.a.

11. Defeito de massa: $\Delta m = Zm_p + Nm_n - m_x$ ou $\Delta m = M_r - M_p$

Z – é o número atómico do núcleo X ; m_p – é a massa do protão; N – é o número de neutrões do núcleo X ; m_n – é a massa do neutrão; m_x – é a massa do núcleo X ; M_r – é a massa dos reagentes e M_p – é a massa dos produtos da reacção.

12. 1.ª Lei da Desintegração Radioactiva: a ocorrência de uma desintegração radioactiva não depende das condições exteriores.

13. Tempo de meia vida: tempo médio de existência de um certo núcleo: $\tau = \frac{1}{\lambda}$.

τ – é o tempo de meia vida do núcleo radioactivo; λ – é a constante de desintegração (probabilidade de desintegração por unidade de tempo).

14. Actividade: quantidade de núcleos que se desintegram na unidade de tempo: $a = \lambda N_0$ ou $a = -(\Delta N/\Delta t)$. a – é a actividade; Δt – é o tempo de desintegração; ΔN – é a quantidade de núcleos que se desintegram. A sua unidade no SI é o *becquerel* (Bq).

Outras unidades: o *curie* ($1 \text{ Ci} = 3,7 \times 10^{10} \text{ Bq}$) e o *rutherford* ($1 \text{ Ru} = 10^6 \text{ Bq}$)

15. 2.ª Lei da Desintegração Radioactiva: o número de núcleos que ficam desintegrados durante um período de tempo é proporcional ao número inicial de núcleos: $\Delta N = -\lambda N_0 \cdot \Delta t$.

Esta expressão pode ser escrita na forma: $N = N_0 e^{-\lambda t}$ onde $e = 2,718$.

Por analogia à última expressão a actividade pode calcular-se de modo: $a = a_0 e^{-\lambda t}$.

16. Período de semidesintegração: é o tempo necessário para que se desintegram metade dos núcleos existentes num determinado instante: $T_{\frac{1}{2}} = \frac{\ln 2}{\lambda}$

Visto que $N = \frac{N_0}{2}$ para $t = T_{\frac{1}{2}}$: $N = N_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T_{\frac{1}{2}}}}$. Analogamente: $a = a_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T_{\frac{1}{2}}}}$.

17. Reactor nuclear: engenho onde se realizam reacções de desintegração controlada.

Existem reactores nucleares de vários tipos que diferem uns dos outros na sua potência e na sua aplicação. O uso das centrais nucleares para a produção de energia é extremamente importante porque responde à grande necessidade de consumo de energia nos dias de hoje. Os reactores nucleares têm a vantagem de não consumirem o oxigénio atmosférico e de não poluírem o meio ambiente.

18. Bomba atómica: a explosão de uma bomba atómica é uma reacção nuclear em cadeia não controlada. Acontece quase instantaneamente porque são usados neutrões rápidos, isto é, não há recurso a moderadores da reacção. A subida da temperatura durante a explosão de uma bomba atómica aumenta a pressão provocando um incremento da dimensão da explosão. A radiação resultante da explosão de uma bomba atómica é prejudicial aos seres vivos.

Exercícios resolvidos

1. Escreve a reacção que corresponde à formação do isótopo obtido de três transformações alfa e duas transformações beta-menos do tório, $^{232}_{90}\text{Th}$.

Resolução: devido à libertação de três partículas alfa, a massa atómica inicial reduz em 12 unidades e o número atómico reduz em seis unidades; a libertação das partículas beta-menos irá contribuir para o aumento, em duas unidades, do número atómico sem alterar a massa atómica: $^{232}_{90}\text{Th} \rightarrow ^{220}_{86}\text{Rn} + 3^4_2\alpha + 2^0_{-1}\text{e}$.

2. Determina o número atómico e a massa atómica do elemento formado a partir do ^7_4Be se no seu núcleo os protões são trocados pelos neutrões.

Resolução: $N = A - Z \Rightarrow N = 7 - 4 = 3$; $^7_4\text{Be} \Rightarrow ^7_3\text{Li}$

3. Dado que a meia vida do carbono 14 ($^{14}_6\text{C}$) é de 5770 anos, indica a percentagem de carbono 14 ($^{14}_6\text{C}$) que se desintegra da quantidade inicial em cinquenta anos.

Dados

$\Delta t = 50$ anos

$T_{1/2} = 5770$ anos

$\frac{|\Delta N|}{N_0} = ?$

Resolução

$\Delta N = -\lambda N_0 \cdot \Delta t \Rightarrow |\Delta N| = \lambda N_0 \cdot \Delta t$

$\frac{|\Delta N|}{N_0} = \lambda \cdot \Delta t$; $T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} \Rightarrow \lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}}$

$\frac{|\Delta N|}{N_0} = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} \cdot \Delta t = \frac{0,693}{5770 \text{ anos}} \cdot 50 \text{ anos} = 0,006 = 0,6\%$

4. A meia vida de um isótopo é igual a 24 horas. Indica o tempo de desintegração da quarta parte da quantidade inicial desse isótopo.

Dados:

$T_{1/2} = 24$ h

$N = (1 - \frac{1}{4})N_0$

$t = ?$

Resolução:

$N = N_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T_{1/2}}}$

$t = \frac{T_{1/2} \cdot \ln \frac{4}{3}}{\ln 2}$

$(1 - \frac{1}{4})N_0 = N_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T_{1/2}}} \Rightarrow \frac{3}{4} = 2^{-\frac{t}{T_{1/2}}}$

$t = \frac{24\text{h} \cdot 0,2876}{0,6931}$

$\frac{4}{3} = 2^{\frac{t}{T_{1/2}}} \Rightarrow 2^{\frac{t}{T_{1/2}}} \cdot \ln 2 = \ln \frac{4}{3}$

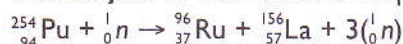
$t = 9,9\text{h} \cong 10\text{h}$

5. Escreve a equação de reacção do bombardeamento do $^{235}_{92}\text{U}$ por um neutrão em que têm origem o $^{138}_{53}\text{Y}$, o $^{95}_{39}\text{I}$ e a libertação de neutrões.

Resposta: $^{235}_{92}\text{U} + ^1_0\text{n} \rightarrow ^{138}_{53}\text{Y} + ^{95}_{39}\text{I} + 3(^1_0\text{n})$.

6. Durante a fissão de plutónio – 254 através do bombardeamento de neutrões, obteve-se rubídio – 96 e lantânio – 156. Calcula a energia libertada no referido processo de fissão ($m_{Pu} = 255,9632$ u.m.a.; $m_{Ru} = 96,665$ u.m.a.; $m_{La} = 156,8125$ u.m.a.; $m_n = 1,0086$ u.m.a.).

Resolução: 1.º escrevemos a equação de reacção do processo:



2.º escrevemos a expressão de cálculo da energia de ligação de todas as partículas envolvidas na reacção de fissão acima: $E = 931,4 \Delta m$. Onde: $\Delta m = M_r - M_p$. Assim:

$$\Delta m = (255,9632 + 1,0086) \text{ u.m.a.} - (96,6651 + 156,8125 + 3 \cdot 1,0086) \text{ u.m.a.}$$

$$\Delta m = 256,9718 \text{ u.m.a.} - 256,5034 \text{ u.m.a.} \Rightarrow \Delta m = 0,4684 \text{ u.m.a.}$$

$$\text{Por fim: } E = 931,4 \cdot 0,4684 \text{ MeV} = 436,267 \text{ MeV}$$

Exercícios não resolvidos

I. Assinala, com X, para cada questão, a opção que torna cientificamente correctas as respectivas afirmações.

I.1 Um elemento químico pode representar-se na forma:

- a) ${}^A_Z E$ onde A é o número atómico e Z é a massa atómica.
- b) ${}^Z_A E$ onde A é a massa atómica e Z é o número atómico.
- c) ${}^A_Z E$ onde A é a massa atómica e Z é o número atómico.
- d) ${}^Z_A E$ onde A é o número atómico e Z é a massa atómica.

I.2 Existem elementos químicos com igual massa atómica mas número atómico diferente e elementos químicos com igual número atómico mas massa atómica diferente. Chamam-se:

- a) isóbaros os elementos químicos com igual número atómico mas massa atómica diferente.
- b) isótopos os elementos químicos com igual número atómico mas massa atómica diferente.
- c) isótopos os elementos químicos com igual massa atómica mas número atómico diferente.
- d) isóbaros os elementos com igual número atómico e igual massa atómica.

I.3 Os isótopos radioactivos têm uma ampla aplicação na medicina e na agricultura, bem como noutras áreas. Os isótopos de ferro ${}_{26}^{59}\text{Fe}$ aplicam-se:

- a) no diagnóstico de circulação do sangue no organismo humano.
- b) na detecção de tumores no cérebro.
- c) no diagnóstico de anemias.
- d) nenhuma das opções está correcta.

I.4 A radiação gama ${}^0_0\gamma$ é empregue, na agricultura, para:

- a) melhorar a qualidade da semente.
- b) adubar os solos.
- c) melhorar a qualidade dos solos.
- d) diminuir a acidez da semente.

I.5 O processo que leva uma reacção nuclear a ter lugar:

- a) depende das condições exteriores.
- b) depende da aproximação das partículas no interior do núcleo e das condições exteriores.
- c) não depende das condições exteriores.
- d) não depende das condições exteriores nem das aproximações das partículas no interior do núcleo.

- 1.6 A radioactividade é a transformação de um núcleo noutra núcleo que ocorre com a emissão de partículas radioactivas. Os núcleos que não sofrem desintegração designam-se por:
- a) núcleos radioactivos.
 - b) núcleos instáveis.
 - c) núcleos estáveis.
 - d) nenhuma das opções está correcta.
- 1.7 Quando a reacção de desintegração ocorre com ___ da massa em quatro unidades e com ___ do número atómico em duas unidades, a reacção denomina-se ___.
- a) o aumento; o aumento; desintegração alfa
 - b) a redução; a redução; desintegração alfa
 - c) o aumento; a redução; desintegração alfa
 - d) a redução; o aumento; desintegração alfa
- 1.8 Desintegração β^- é aquela que ocorre com a libertação de um ___ aumentando em uma unidade o número atómico do núcleo-mãe ___ a sua massa atómica.
- a) electrão; e diminuindo em uma unidade
 - b) protão; e aumentando em uma unidade
 - c) electrão; sem alterar
 - d) protão; mantendo constante
- 1.9 Durante a desintegração gama, a emissão de ___ ocorre quando um núcleo passa de um nível energético mais ___ para um nível mais ___.
- a) electrões; alto; baixo
 - b) fotões; alto; baixo
 - c) protões; baixo; alto
 - d) positrões; baixo; alto
- 1.10 Durante a fissão, ___, tendo sido bombardeado por um ___, fragmenta-se, originando ___ e ainda a libertação de _____ de fissão.
- a) dois núcleos leves; neutrão; um núcleo mais pesado; neutrões
 - b) um núcleo pesado; electrão; dois núcleos mais leves; protões
 - c) dois núcleos leves; protão; um núcleo pesado; electrões
 - d) um núcleo pesado; neutrão; dois núcleos mais leves; neutrões
- 1.11 Numa reacção de fissão existe uma possibilidade de progressão da reacção por causa da presença de ___ o que origina um tipo de reacção de desintegração chamado ___.
- a) electrões; fissão em cadeia
 - b) protões; fusão em cadeia
 - c) neutrões; fissão em cadeia
 - d) nucleões; fusão em cadeia
- 1.12 Quando dois núcleos leves se fundem num só obtendo-se um núcleo mais pesado, tem lugar uma reacção de:
- a) fissão nuclear.
 - b) desintegração beta.
 - c) captura electrónica.
 - d) fusão nuclear.

- I.13 Para separar completamente os nucleões num determinado núcleo é necessária:
- a) uma energia de ligação.
 - b) uma interacção mútua entre os protões e os electrões.
 - c) uma interacção mútua entre os protões e os neutrões.
 - d) nenhuma das opções está correcta.
- I.14 Uma vez que o Sol e as estrelas emitem radiação, podemos afirmar que com o decorrer do tempo:
- a) o seu brilho diminui.
 - b) o seu brilho aumenta.
 - c) a sua massa aumenta.
 - d) a sua massa diminui.
- I.15 Uma desintegração radioactiva:
- a) depende da temperatura para ocorrer uma vez que é uma reacção exotérmica.
 - b) não depende da pressão.
 - c) não depende da temperatura mas depende da pressão.
 - d) nenhuma das opções está correcta.
- I.16 Numa reacção de desintegração radioactiva a quantidade de núclídeos desintegrados é ___ à quantidade inicial de núclídeos.
- a) directamente proporcional
 - b) inversamente proporcional
 - c) igual
 - d) nenhuma opção está correcta
- I.17 Os números atómicos e as massas atómicas do zircónio ${}_{40}^{91}\text{Zr}$, se no seu núcleo os protões são trocados pelos neutrões, são, respectivamente:
- a) 91 e 40
 - b) 40 e 91
 - c) 51 e 91
 - d) 91 e 51
- I.18 A velocidade de desintegração de um determinado núcleo:
- a) aumenta com o decorrer do tempo.
 - b) diminui com o decorrer do tempo.
 - c) permanece inalterada com o decorrer do tempo.
 - d) é infinita e igual à velocidade das ondas electromagnéticas.
- I.19 Um reactor nuclear é um equipamento onde se realizam reacções de desintegração controlada. O uso de centrais nucleares ___ e ___.
- a) consome o oxigénio atmosférico; não polui a atmosfera
 - b) não consome o oxigénio atmosférico; polui a atmosfera
 - c) não consome o oxigénio atmosférico; não polui a atmosfera
 - d) nenhuma das opções está correcta
- I.20 É exemplo de reacção nuclear em cadeia não controlada:
- a) as reacções que se realizam num reactor nuclear.
 - b) a explosão de uma bomba atómica.
 - c) a reacção de hidrogénio e oxigénio para a formação de água.
 - d) qualquer reacção endotérmica.

- 1.21 No átomo de lítio ${}^7_3\text{Li}$ existem ____ prótons, ____ neutrões e ____ nucleões.
- a) 4; 3; 10
- b) 3; 4; 7
- c) 3; 7; 10
- d) 7; 3; 10
- 1.22 Os elementos químicos resultantes da emissão de um electrão e de um positrão do isótopo de cobalto ${}^{58}_{27}\text{Co}$ são, respectivamente:
- a) ${}^{58}_{27}\text{Co}$ e ${}^{58}_{28}\text{Ni}$
- b) ${}^{58}_{28}\text{Ni}$ e ${}^{58}_{27}\text{Co}$
- c) ${}^{58}_{26}\text{Fe}$ e ${}^{58}_{28}\text{Ni}$
- d) ${}^{58}_{28}\text{Ni}$ e ${}^{58}_{26}\text{Fe}$
- 1.23 Um electrão da camada K é capturado pelo núcleo de berílio ${}^7_4\text{Be}$ tendo-se obtido:
- a) ${}^7_3\text{Li}$
- b) ${}^7_3\text{Be}$
- c) ${}^6_3\text{Li}$
- d) ${}^8_5\text{Be}$
- 1.24 Dadas as equações de reacção abaixo, X representa, respectivamente:
- 1) ${}^2_1\text{H} + {}^2_1\text{H} \rightarrow X + {}^1_0\text{n} + 3,2585 \text{ MeV}$
- 2) $3({}^1_1\text{p}) + 4({}^1_0\text{n}) \rightarrow X$
- 3) ${}^{18}_9\text{F} \rightarrow {}^{18}_8\text{O} + X$
- 4) ${}^{239}_{94}\text{Pu} \rightarrow X + {}^4_2\alpha$
- a) ${}^4_2\text{He}$; ${}^7_3\text{Li}$; ${}^1_0\text{n}$ e ${}^{235}_{92}\text{U}$
- b) ${}^4_2\text{He}$; ${}^2_1\text{H}$; ${}^0_{-1}\text{e}$ e ${}^{243}_{96}\text{Cm}$
- c) ${}^3_2\text{He}$; ${}^7_3\text{Li}$; ${}^0_1\text{e}$ e ${}^{235}_{92}\text{U}$
- d) ${}^3_2\text{He}$; ${}^7_3\text{Li}$; ${}^1_0\text{n}$ e ${}^{243}_{96}\text{Cm}$
- 1.25 A equação de reacção da desintegração beta-menos para o iodo - 131 é:
- a) ${}^{131}_{52}\text{I} + {}^0_{-1}\text{e} \rightarrow {}^{131}_{52}\text{Te}$
- b) ${}^{131}_{52}\text{I} + {}^0_{-1}\text{e} \rightarrow {}^{131}_{52}\text{Xe}$
- c) ${}^{131}_{52}\text{I} \rightarrow {}^{131}_{52}\text{Te} + {}^0_1\text{e}$
- d) ${}^{131}_{53}\text{I} \rightarrow {}^{131}_{54}\text{Xe} + {}^0_{-1}\text{e}$
- 1.26 O elemento químico representado por X é:
- 1) ${}^{14}_7\text{N} + {}^4_2\alpha \rightarrow X + {}^1_1\text{H}$
- 2) ${}^9_4\text{Be} + {}^4_2\alpha \rightarrow X + {}^1_0\text{n}$
- 3) ${}^7_3\text{Li} + {}^1_1\text{H} \rightarrow X$
- 4) ${}^{27}_{13}\text{Al} + {}^1_0\text{n} \rightarrow X + {}^4_2\alpha$
- a) ${}^{17}_8\text{O}$; ${}^{12}_6\text{C}$; ${}^4_2\alpha$ e ${}^{24}_{11}\text{Na}$
- b) ${}^{17}_8\text{O}$; ${}^{12}_6\text{C}$; $2({}^4_2\alpha)$ e ${}^{24}_{11}\text{Na}$
- c) ${}^{17}_8\text{O}$; ${}^{12}_6\text{C}$; ${}^4_2\alpha$ e ${}^{24}_{11}\text{Na}$
- d) ${}^{17}_8\text{O}$; ${}^{12}_6\text{C}$; ${}^4_2\alpha$ e ${}^{23}_{11}\text{Na}$
- 1.27 A energia despreendida na formação de um núcleo atómico de um protão e um neutrão é:
- a) 0,00911 u.m.a.
- b) 0,00911 MeV
- c) 8,49 u.m.a.
- d) 8,49 MeV

- 1.28 A equação de reacção do bombardeamento do lítio – 6 por um núcleo de deutério em que há a libertação de duas partículas alfa e a energia libertada no processo são:
(Usa $m_{\text{Li}} = 6,015$ u.m.a.; $m_{\text{D}} = 2,014$ u.m.a.; $m_{\text{He}} = 4,0026$ u.m.a.)
- a) ${}^6_3\text{Li} + 2({}^4_2\text{He}) \rightarrow {}^2_1\text{H} + 22,167 \text{ MeV}$
- b) ${}^6_3\text{Li} + {}^2_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + 3750,188 \text{ MeV}$
- c) ${}^6_3\text{Li} + {}^2_1\text{H} \rightarrow 2({}^4_2\text{He}) + 22,167 \text{ MeV}$
- d) ${}^6_3\text{Li} + {}^4_2\text{He} \rightarrow {}^2_1\text{H} + 3750,188 \text{ MeV}$
- 1.29 Os defeitos de massa do boro ${}^{11}_5\text{B}$ e do ${}^{60}_{27}\text{Co}$, sabendo que $m_{\text{B}} = 11,0093$ u.m.a. e $m_{\text{Co}} = 59,933$ u.m.a., são, respectivamente:
- a) 0,0818 u.m.a. e 0,5648 u.m.a.
- b) 11,0911 u.m.a. e 60,4975 u.m.a.
- c) 60,4975 u.m.a. e 11,0911 u.m.a.
- d) nenhuma das opções anteriores.
- 1.30 A quantidade inicial de um isótopo radioactivo diminui 3 vezes dentro de um ano. Em dois anos diminui:
- a) 3 vezes
- b) 9 vezes
- c) 27 vezes
- d) 81 vezes
- 1.31 A meia vida de um isótopo é igual a 12 horas. O tempo de desintegração de metade da quantidade inicial desse isótopo é de:
- a) 96 h
- b) 48 h
- c) 24 h
- d) 12 h
- 1.32 Chamam-se isótopos aos elementos químicos de igual número atómico e diferente massa atómica. Dado que as meias vidas de três isótopos são iguais a 5 dias, um semestre e 23 anos, respectivamente, os tempos de desintegração de um terço das suas quantidades iniciais serão, respectivamente, iguais a:
- a) ≈ 3 dias; ≈ 1 mês e ≈ 13 anos.
- b) ≈ 8 dias; ≈ 10 meses e ≈ 37 anos.
- c) ≈ 3 dias; ≈ 4 meses e ≈ 13 anos.
- d) ≈ 6 dias; ≈ 4 meses e ≈ 13 anos.
- 1.33 Sabendo que o período de semidesintegração do fósforo ${}^{32}_{15}\text{P}$ é de 14,3 dias, a fracção que decai após 30 dias é:
- a) $\frac{1}{4,28}$
- b) $\frac{3,28}{4,28}$
- c) $\frac{4,28}{3,28}$
- d) nenhuma das opções.

1.34 Ainda quanto ao exercício anterior, tendo em conta que a actividade inicial da fonte de fósforo é de 0,2 Bq, a actividade do fósforo após dois meses e o tempo decorrido até que a actividade seja de 0,03 Bq é:

- a) 0,0709 Bq e 2,7 dias
- b) 2,7 Bq e 6,5 dias
- c) 0,0709 Bq e 38,6 dias
- d) 0,0709 Bq e 6,5 dias

1.35 Visto que o período de semidesintegração do fósforo $^{32}_{15}\text{P}$ é de 14,3 dias, o valor da constante de semidesintegração para o fósforo é:

- a) $4,84 \times 10^{-2} \text{ s}^{-1}$
- b) $1,34 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$
- c) $2,019 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$
- d) $5,610 \times 10^{-7} \text{ s}^{-1}$

1.36 Se o número inicial de átomos do fósforo $^{32}_{15}\text{P}$ é de $1,34 \times 10^{18}$, a quantidade de átomos após 90 dias é:

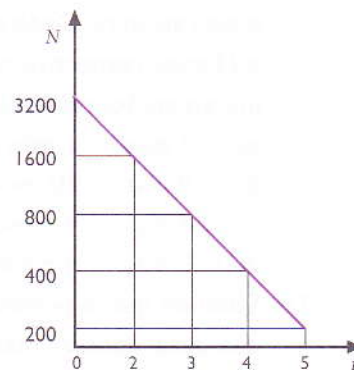
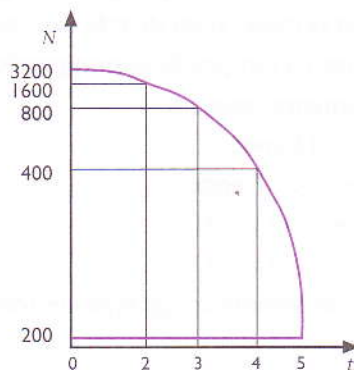
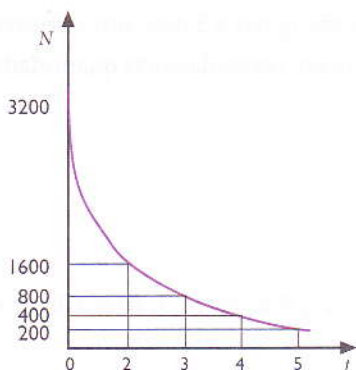
- a) $1,2 \times 10^{18}$ átomos
- b) $0,017 \times 10^{18}$ átomos
- c) $1,49 \times 10^{18}$ átomos
- d) $105,12 \times 10^{18}$ átomos

1.37 A variação da quantidade de núcleos de uma amostra é dada segundo a tabela abaixo.

N	3200	1600	800	400	200
t(anos)	0	2	3	4	5

O gráfico que corresponde à tabela acima é:

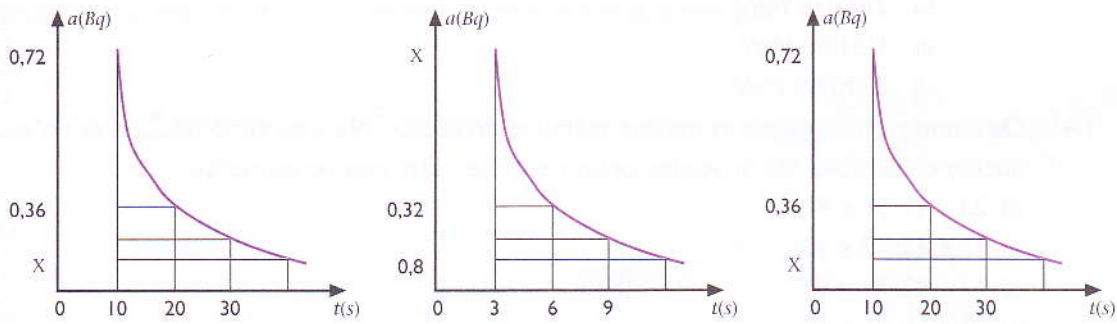
- a) b) c)



1.38 A actividade inicial de um certo elemento radioactivo é de 2 Ci. Até que a sua actividade seja de 8,5 Ci terão decorrido ____ períodos de semidesintegração.

- a) ≈ 4
- b) $\approx 0,239$
- c) $\approx 0,125$
- d) nenhuma das opções.

I.39 Os gráficos dados são da desintegração radioactiva de diferentes nuclídeos em função do tempo. O valor representado pela letra X em cada gráfico é:



- | | | | |
|-------------|---------|---------|--------------------------|
| a) 0,18 Bq | 0,18 Bq | 0,09 Bq | <input type="checkbox"/> |
| b) 0,09 Bq | 0,09 Bq | 0,09 Bq | <input type="checkbox"/> |
| c) 0,40 Bq | 0,64 Bq | 0,18 Bq | <input type="checkbox"/> |
| d) 0,018 Bq | 0,64 Bq | 0,18 Bq | <input type="checkbox"/> |

I.40 A reacção que corresponde à formação do isótopo obtido de duas transformações alfa do $^{220}_{86}\text{Rn}$ é:

- a) $^{220}_{86}\text{Rn} \rightarrow ^{212}_{82}\text{Pb} + 2^4_2\alpha$
- b) $^{220}_{86}\text{Rn} \rightarrow ^{228}_{90}\text{Th} + 2^4_2\alpha$
- c) $^{220}_{86}\text{Rn} \rightarrow ^{224}_{88}\text{Ra} + 2^4_2\alpha$
- d) $^{220}_{86}\text{Rn} \rightarrow ^{220}_{88}\text{Ra} + 2^4_2\alpha$

I.41 A reacção de formação de um isótopo de $^{232}_{90}\text{Th}$ sabendo que este sofre duas transformações alfa e uma transformação beta menos é representada por:

- a) $^{232}_{90}\text{Th} \rightarrow ^{224}_{86}\text{Rn} + 2^4_2\alpha + ^0_{-1}e$
- b) $^{232}_{90}\text{Th} \rightarrow ^{240}_{94}\text{Pu} + 2^4_2\alpha + ^0_{-1}e$
- c) $^{232}_{90}\text{Th} \rightarrow ^{224}_{87}\text{Fr} + 2^4_2\alpha + ^0_{-1}e$
- d) $^{232}_{90}\text{Th} \rightarrow ^{240}_{93}\text{Np} + 2^4_2\alpha + ^0_{-1}e$

I.42 Após o bombardeamento do $^{235}_{92}\text{U}$ por um neutrão ocorreu a formação de $^{95}_{39}\text{Y}$, $^{138}_{53}\text{I}$ e neutrões (usa $m^{235}_{92}\text{U} = 235,0439$ u.m.a.; $m^1_0n = 1,0086$ u.m.a.; $m^{95}_{39}\text{Y} = 94,8964$ u.m.a.; $m^{138}_{53}\text{I} = 137,9025$ u.m.a.).

I.42.1 A massa dos reagentes bem como a dos produtos da reacção em u.m.a., são, respectivamente:

- a) 236,0525 u.m.a. e 234,8161 u.m.a.
- b) 234,03523 u.m.a. e 235,8248 u.m.a.
- c) 235,0429 u.m.a. e 233,8075 u.m.a.
- d) 236,0525 u.m.a. e 233,8075 u.m.a.

I.42.2 O valor do defeito de massa envolvido na reacção em u.m.a. corresponde a:

- a) 1,7895 u.m.a.
- b) 1,2364 u.m.a.
- c) 0,2277 u.m.a.
- d) 2,245 u.m.a.

- I.42.3 A energia envolvida na reacção em MeV é:
- a) 1666,74 MeV
 - b) 212,079 MeV
 - c) 1151,58 MeV
 - d) 2090,99 MeV
- I.43 Os números atómicos e as massas atómicas do sódio $^{23}_{11}\text{Na}$ e do zircónio $^{91}_{40}\text{Zr}$, se no seu núcleo os prótons são trocados pelos neutrões, são, respectivamente:
- a) 23 e 11; 51 e 91
 - b) 11 e 23; 19 e 15
 - c) 12 e 23; 51 e 91
 - d) 12 e 11; 95 e 15
- I.44 Quando o núcleo de deutério bombardeia o ^6_3Li libertam-se duas partículas alfa e ainda 22,167 MeV. O defeito de massa envolvido nessa reacção é:
- a) 0,0237 u.m.a.
 - b) 42,1940 u.m.a.
 - c) 4,0263 u.m.a.
 - d) 0,2483 u.m.a.
- I.45 A actividade de uma fonte radioactiva diminuiu de 280 Bq para 35 Bq num intervalo de 48 anos. A constante de desintegração bem como o tempo de meia vida da referida fonte radioactiva são, respectivamente:
- a) $\frac{0,04}{\text{ano}}$ e 17,32 anos
 - b) $\frac{25}{\text{ano}}$ e 0,04 anos
 - c) $\frac{3}{\text{ano}}$ e 16 anos
 - d) nenhuma das opções está correcta.

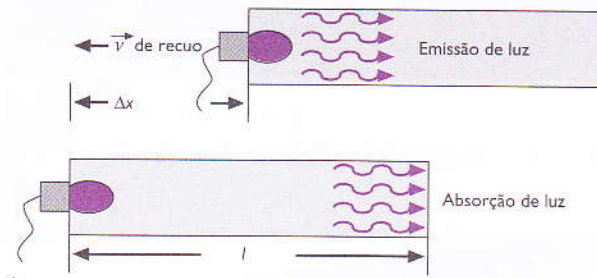
Vamos discutir...

Analisar a equivalência entre a massa e a energia

Objectivo:

- Verificar a equivalência entre a massa e a energia (Equação de Einstein).

Material: Uma caixa de massa M e comprimento L ; uma lâmpada incandescente de 100 W; um interruptor; um bocal; um fio e uma fonte de tensão de 220 V.



..... Figura 8: Caixa de luz de Einstein.

Discussão:

Suponhamos uma experiência feita com base nos materiais acima e que consiste no seguinte procedimento: ligar o fio eléctrico e a lâmpada ao bocal, colocar a lâmpada numa das extremidades do interior da caixa, ligar o fio à fonte de tensão e ligar o interruptor (figura 8). Neste caso, é evidente que a luz emitida é absorvida na outra extremidade.

A caixa da figura 8 é conhecida como «caixa de luz de Einstein». Suponhamos que a caixa e a radiação constituem um sistema isolado. Dado que a luz transporta consigo energia e que as ondas luminosas transportam consigo uma certa quantidade de movimento podemos, seguramente, escrever: $P = \frac{E}{c}$ (1); onde P – é a quantidade de movimento; E – é a energia; c – é a velocidade da luz ($c = 3 \times 10^8$ m/s).

Devido à conservação da quantidade de movimento no sistema, ao se emitir luz, a caixa recua em Δx com a velocidade de recuo \vec{v} . Assim, para este pequeno recuo podemos escrever: $P = Mv$ (2).

Repare-se que a velocidade de recuo decorre até que a radiação emitida seja absorvida após um tempo Δt que é dado por: $\Delta t = \frac{l}{c}$ (3). Tendo em conta que $v = \frac{\Delta x}{\Delta t} \Rightarrow \Delta x = v\Delta t$ (4) teremos, depois, de substituir a expressão: $\Delta x = \frac{vl}{c}$ (5).

O centro de gravidade de um sistema isolado não muda de posição, isto é, não varia. Deste modo, para o centro de gravidade podemos escrever: $M \cdot \Delta x - \Delta m \cdot l = 0 \Rightarrow \Delta m = \frac{M}{l} \cdot \Delta x$ (6).

Substituindo (5) em (6) teremos: $\Delta m = \frac{M}{l} \cdot \frac{vl}{c}$ (7).

De (7), simplificando a grandeza l e substituindo nela (2) obtém-se: $\Delta m = \frac{P}{c}$ (8).

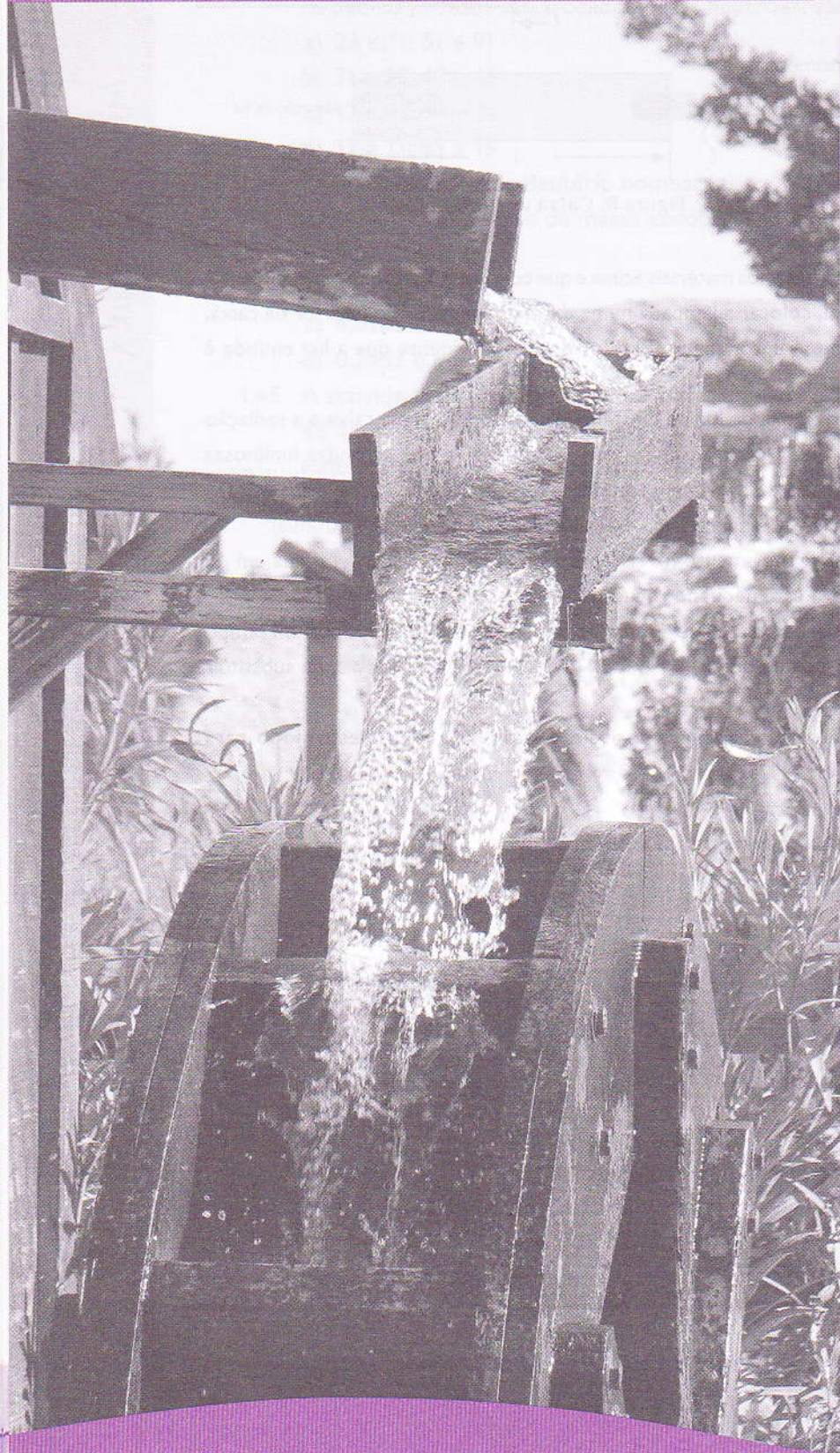
Relacionando (1) com (8) resulta que: $\Delta m = \frac{E}{c \cdot c}$ (9).

De (9) concluímos que: $E = \Delta m \cdot c^2$.

Orientações para a discussão

1. Discute esta experiência em grupo com os teus colegas e consultem o professor sobre as vossas conclusões.
2. Responde às seguintes questões:
 - 2.1 Sabe-se que a lenha queimada emite radiação em forma de calor. O que acontece com a massa da lenha depois de queimada? Aumenta ou diminui? Justifica.
 - 2.2 Será que, quando acendemos uma lanterna, a sua massa também diminui?
 - 2.3 Qual seria a situação do problema em discussão se a extremidade direita da caixa não estivesse fechada?

Mecânica dos fluidos (Hidrodinâmica)



No final desta unidade, deverás ser capaz de:

- aplicar a definição de vazão volumétrica na resolução de exercícios concretos;
- explicar o conceito de fluido ideal;
- aplicar o Princípio da Continuidade na resolução de exercícios concretos;
- aplicar o Princípio de Bernoulli na resolução de exercícios concretos.

1. Vazão volúmica (caudal)

Na 9.^a classe, quando estudámos a hidrostática, analisámos o comportamento dos fluidos em repouso (em equilíbrio hidrostático). Este equilíbrio hidrostático corresponde ao repouso à escala macroscópica, pois à escala microscópica (das moléculas, dos átomos e dos iões) tal repouso não existe. Do Princípio de Stevin – princípio fundamental da hidrostática –, destacamos as seguintes conclusões:

- A pressão de um líquido aumenta com o aumento da profundidade;
- Para pontos situados na superfície livre, a pressão correspondente é igual à exercida pelo gás ou ar sobre ela;
- Se a superfície livre estiver exposta ao ar atmosférico, a sua pressão será a pressão atmosférica;
- Pontos situados na mesma horizontal do mesmo líquido ficam submetidos à mesma pressão;
- A superfície livre dos líquidos em equilíbrio é horizontal.

Ao contrário da hidrostática, *na hidrodinâmica estuda-se o comportamento do movimento dos fluidos e as leis que regulam tais movimentos.*

Fluidos são substâncias que podem escoar-se. Fazem parte deste grupo os líquidos e os gases. As partículas de um fluido não têm posições fixas, deslocando-se com um atrito muito pequeno.

Para o nosso estudo consideraremos o fluido ideal e em regime permanente. Refira-se que um fluido ideal na prática não existe, é apenas um modelo teórico no qual se considera que o fluido é incompressível, invíscido, estacionário e irrotacional. No entanto, sabe-se que as moléculas de um fluido real interagem com as paredes do recipiente que o contém. É por isso que os fluidos reais possuem calor e são pegajosos (por exemplo, a água é menos pegajosa que o xarope). Deste modo, os escoamentos reais são bastante difíceis de estudar tanto experimental como analiticamente devido a factores como: viscosidade molecular, turbulência, fricção do escoamento com obstáculos, compressibilidade, não estacionariedade, etc. Assim, estas propriedades dos fluidos reais são postas de lado quando tratamos dos fluidos ideais.

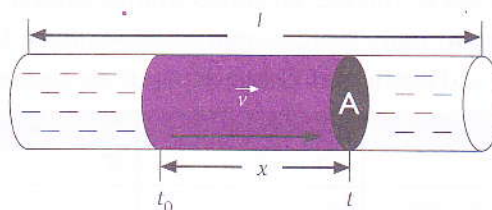
Quando o escoamento é estacionário ou permanente, as grandezas que o caracterizam não variam no tempo. Isto pode ser ilustrado de forma simples mediante o comportamento das linhas de corrente. Uma linha de corrente é uma linha à qual o vector da velocidade local do escoamento é sempre tangente.

Quando um escoamento é estacionário, as partículas de fluido que se movem através de uma linha de corrente têm sempre a mesma velocidade quando passam pelo mesmo ponto.

O movimento de um fluido denomina-se em regime permanente ou regime estacionário quando a sua velocidade for constante no decorrer do tempo.

Os fluidos podem ser transportados ou escoados dum local para o outro através de tubos (um tubo é um corpo cilíndrico oco e comprido geralmente feito de metal, de plástico ou de cerâmica).

Consideremos um tubo de comprimento l e secção transversal A e também um trecho x do tubo através do qual, durante um certo intervalo de tempo Δt , passa ou vaza uma certa quantidade (volume) de líquido. Essa quantidade de líquido que escoou ou passa no tempo considerado denomina-se vazão volúmica ou caudal.



..... Figura 1: Caudal é o fluxo de líquido, em m^3 , que passa num tubo durante um determinado intervalo de tempo.

Vazão volúmica ou caudal é o volume de fluido que passa através da secção transversal de um tubo durante um intervalo de tempo.

$$Q = \frac{V}{\Delta t} \quad (1)$$

onde: Q – é a vazão volúmica ou caudal; V – é o volume; Δt – é o intervalo de tempo. No Sistema Internacional de Unidades, a unidade de caudal chama-se metro cúbico por segundo (m^3/s):

$$[Q] = \frac{[V]}{[\Delta t]} = \frac{\text{metro cúbico (m}^3\text{)}}{\text{segundo (s)}} \Leftrightarrow [Q] = \frac{m^3}{s}$$

Visto que o fluido está em regime permanente, irá percorrer o comprimento x com velocidade constante v durante um intervalo de tempo Δt :

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} \Rightarrow \Delta x = v \cdot \Delta t \quad (2)$$

Repare-se que no comprimento x da figura 1 o volume de água que nele passa durante o intervalo de tempo Δt é expresso pelo produto:

$$V = A \cdot \Delta x \quad (3)$$

dado que o volume de fluido é igual ao volume do tubo por onde flui.

Relacionando (2) e (3), resulta que:

$$V = A \cdot v \cdot \Delta t \quad (4)$$

substituindo a última expressão em (1), teremos

$$Q = \frac{A \cdot v \cdot \Delta t}{\Delta t} \quad (5)$$

e, simplificando a equação em relação à grandeza Δt , a expressão do caudal volúmico fica na forma:

$$Q = A \cdot v = \text{const} \quad (6)$$

onde: A – é a área da secção transversal do tubo; v – é a velocidade do fluido.

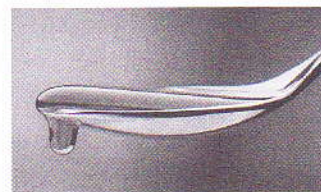
2. Viscosidade

Referimos já como exemplo o facto de o xarope ser mais pegajoso do que a água. Esta propriedade caracteriza a sua viscosidade.

A viscosidade é a propriedade que um fluido possui decorrente do atrito no seu seio causado pelas interacções intermoleculares por difusão molecular.

Como as moléculas de um fluido também interagem com as paredes do recipiente que o contém, podemos definir a viscosidade como o atrito entre o fluido e as paredes do recipiente que o vaza (escoa).

Na 8.ª classe, já vimos que as interacções intermoleculares são tanto mais rápidas quanto maior for a temperatura. Assim, a viscosidade de um fluido depende da temperatura. A viscosidade dos



..... Figura 2: A viscosidade do xarope é superior à da água.

Fluido	Viscosidade (Pa · s)	Temperatura (K)
Ar	$17,4 \times 10^{-6}$	273
Hidrogénio	$8,8 \times 10^{-6}$	273
Água	$1,003 \times 10^{-3}$	293
Benzina	$0,64 \times 10^{-3}$	293

..... Tabela 1: Viscosidade em função da temperatura.

fluidos varia de fluido para fluido e, em cada fluido, varia em função da temperatura. Na Tabela 1 encontram-se os valores da viscosidade de alguns fluidos para uma dada temperatura.

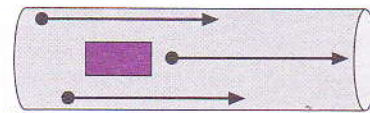
3. Fluido ideal

Fluido ideal é o fluido cujo volume é incompressível e que não tem força de atrito interno (viscosidade).

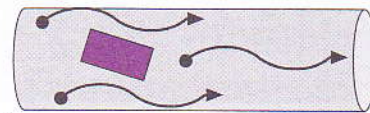
Para um fluido ideal, qualquer que seja a pressão a que esteja submetido, a densidade permanece constante em todos os pontos do seu seio. Neste caso, diz-se que o fluido é incompressível (volume constante). Por outro lado o fluido ideal não é viscoso, ou seja, a interação entre as suas moléculas e destas com as paredes do recipiente que o contém é desprezável.

Já vimos que o escoamento de um fluido denomina-se permanente quando a sua velocidade for constante. Deste modo, para quantificar o movimento de um fluido é suficiente conhecermos a velocidade de cada elemento de volume que o constitui.

Suponhamos que um corpo é mergulhado num fluido que escoar através de um tubo com velocidade constante. Se a densidade do corpo mergulhado for igual à densidade do fluido, o corpo fica em equilíbrio no seio do líquido (a força de impulsão do líquido sobre o corpo é igual ao peso do corpo). Nesta condição, o corpo mergulhado pode ser usado para caracterizar o fluxo do fluido. Assim, se o movimento do corpo for linear, diremos que o fluxo do fluido é laminar (figura 3). No caso contrário, se o movimento do corpo for caótico, diremos que o movimento do fluido é turbulento (figura 4). As setas, nas duas figuras, indicam a trajetória de cada uma das partículas do fluido. Essas trajetórias denominam-se linhas de corrente.



..... Figura 3: Escoamento laminar.



..... Figura 4: Escoamento turbulento.

Refira-se que para um fluido ideal o movimento é sempre laminar.

4. Princípio da Continuidade

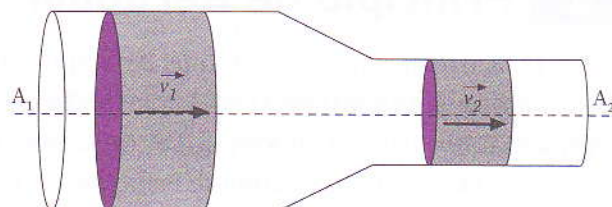
Consideremos um fluido ideal em regime permanente que é escoado através de um tubo de área de secção transversal variável (figura 5).

Na região da secção A_1 do tubo o fluido é escoado a uma dada velocidade \vec{v}_1 menor que a velocidade \vec{v}_2 do mesmo fluido na região da secção A_2 , pois A_1 é maior que A_2 (uma vez que $A_1 > A_2 \Rightarrow v_1 < v_2$). Deste modo, podemos concluir que a área de secção transversal de um tubo é inversamente proporcional à velocidade do fluido por si escoado, ou seja, quanto maior for a área de secção, menor será a velocidade do fluido que passa por essa secção.

Repare-se que o volume de fluido que entra em A_1 é o mesmo que irá sair em A_2 ; por isso podemos afirmar que o caudal Q_1 que entra em A_1 é igual ao caudal Q_2 que sai em A_2 :

$$Q_1 = Q_2 \Rightarrow v_1 \cdot A_1 = v_2 \cdot A_2.$$

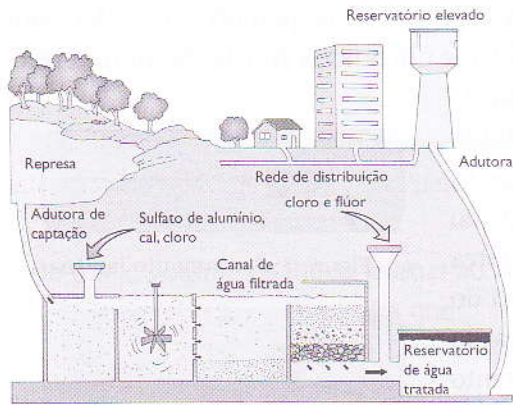
A equação acima é chamada de equação da continuidade. Estabelece que *o caudal de um fluido ideal em regime permanente é constante.*



..... Figura 5: Escoamento laminar de um fluido ideal num tubo de área de secção variável.

4.1 Aplicações do Princípio da Continuidade

O Princípio da Continuidade tem várias aplicações práticas nos sistemas de regadio (na irrigação dos campos agrícolas usam-se curvas apertadas para aumentar a velocidade da água), na conduta de soro, na transfusão do sangue, na distribuição de água para habitação ou noutros sistemas hidráulicos (normalmente usam-se tubos muito estreitos) para se obter maior velocidade, etc. Pode escolher-se uma tubagem adequada para se obter maior velocidade.



..... Figura 6: A distribuição de água para habitação constitui uma aplicação do Princípio da Continuidade.



..... Figura 7: A conduta de soro é uma aplicação do Princípio da Continuidade.



..... Figura 8: Quando regamos o jardim, aplicamos o Princípio da Continuidade.

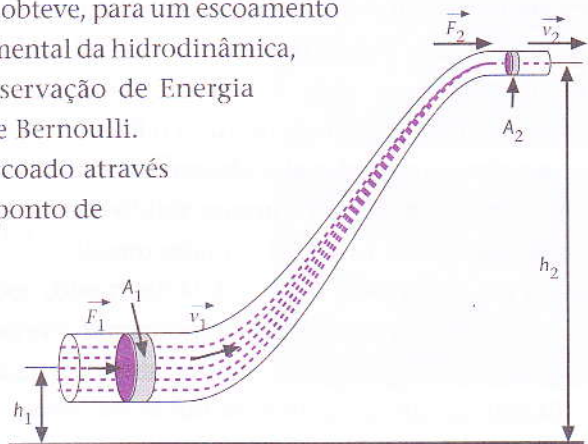
Por exemplo, no acto de rega do jardim da nossa casa com uma mangueira, para aumentar a velocidade de saída da água tapamos parcialmente a saída da mangueira (reduzimos a área). Neste caso, também estamos perante uma aplicação do Princípio da Continuidade.

5. Princípio de Bernoulli

Em 1738, o matemático suíço Daniel Bernoulli obteve, para um escoamento ideal, uma equação que traduz o princípio fundamental da hidrodinâmica, representando, para os fluidos, a Lei de Conservação de Energia Mecânica. Este princípio chama-se Princípio de Bernoulli.

Um fluido ideal em regime permanente é escoado através de um tubo de um ponto de altura h_1 para um ponto de altura h_2 (figura 9), sendo h_1 menor que h_2 . Na situação apresentada é fácil perceber que é necessário realizar um trabalho variável ΔW através duma força também variável ΔF para deslocar a massa do fluido de um ponto para o outro (pois os pontos de altura 1 e altura 2 têm diferentes valores):

$$\Delta W = \Delta F \cdot d \quad (1).$$



..... Figura 9: Variação de pressão dum fluido ideal em diferentes pontos.

A realização de trabalho ocorre com perdas de energia:

$$\Delta W = -\Delta E \quad (2).$$

Igualando (1) e (2), teremos:

$$\Delta F \cdot d = -\Delta E \quad (4).$$

Sabe-se também que a pressão do fluido varia de um ponto para outro (do ponto de altura 1 ao ponto de altura 2):

$$\Delta P = \frac{\Delta F}{A} \Rightarrow \Delta F = \Delta P \cdot A \quad (5).$$

A variação de energia ΔE corresponde à variação das energias cinética e potencial:

$$\Delta E = \Delta E_p + \Delta E_c \quad (6).$$

Substituindo (5) e (6) em (4), teremos a expressão:

$$\Delta P \cdot A \cdot d = -(\Delta E_p + \Delta E_c) \quad (7).$$

Repare-se que o produto $A \cdot d$ corresponde ao volume V de fluido que passa pela área de secção A ; quer dizer:

$$V = A \cdot d \quad (8).$$

As variações de energias potencial e cinética são dadas, respectivamente, pelas expressões:

$$\Delta E_p = m \cdot g \cdot \Delta h \quad (9) \text{ e } \Delta E_c = \frac{m \cdot \Delta v^2}{2} \quad (10).$$

Substituindo as expressões (8), (9) e (10) em (7) teremos:

$$\Delta P \cdot V = -\left(m \cdot g \cdot \Delta h + \frac{m \cdot \Delta v^2}{2}\right) \Rightarrow (P_2 - P_1) \cdot V = -\left(m \cdot g \cdot \Delta h + \frac{m \cdot \Delta v^2}{2}\right) \quad (11).$$

Resolvendo a equação (11) em ordem a ΔP , passemos a grandeza V para a parte direita e coloquemos em evidência a grandeza m na parte direita, visto tratar-se da massa do mesmo fluido. Verificamos que:

$$P_2 - P_1 = -\frac{m}{V} \cdot \left(g \cdot h_2 - g \cdot h_1 + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2}\right) \quad (12).$$

Dado que a razão $-\frac{m}{V} = -\rho$, aplicando a propriedade distributiva da multiplicação e desembaraçando de parênteses, obtemos o resultado:

$$P_2 - P_1 = -\rho \cdot g \cdot h_2 + \rho \cdot g \cdot h_1 - \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_2^2 + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_1^2 \quad (13).$$

Reorganizando a equação (13) decorre o Princípio de Bernoulli dado na forma:

$$P_1 + \rho g h_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = P_2 + \rho g h_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 \quad (14).$$

Repare-se que $\rho g h$ é a pressão gravítica, pois representa a energia potencial gravítica na unidade de volume: $\rho g h = \frac{m g h}{V} = \frac{E_p}{V}$ e que $\frac{1}{2} \rho v^2$ representa a pressão dinâmica, pois expressa a energia cinética na unidade de volume: $\frac{1}{2} \rho v^2 = \frac{1}{2} \frac{m}{V} v^2 = \frac{E_c}{V}$.

Se aplicarmos o Princípio de Bernoulli para o caso da figura 4 em que $h_1 = h_2 = h$, os produtos $\rho g h_1$ e $\rho g h_2$ desse princípio simplificam-se e tomam a forma:

$$P_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = P_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 \Leftrightarrow P_1 - P_2 = \frac{1}{2} \rho (v_2^2 - v_1^2) \quad (15)$$

A parte direita da última expressão (15) é positiva; quer dizer, $\frac{1}{2} \rho (v_2^2 - v_1^2) > 0$, pois $v_2 > v_1$. É por isso que a parte esquerda também é positiva: $P_1 - P_2 > 0 \Rightarrow P_1 > P_2$. Desta última desigualdade, sublinhe-se que, para um fluido ideal:

- A pressão é maior na região em que a velocidade é menor e vice-versa (se $v_2 > v_1 \Rightarrow P_1 > P_2$).
- A pressão é maior na região de maior área de secção transversal, pois, nessa região, a velocidade é menor e vice-versa (se $A_1 > A_2 \Rightarrow v_2 > v_1 \Rightarrow P_1 > P_2$).

Sendo o escoamento incompressível, a equação da continuidade que se aplica é

$$A_1 v_1 = A_2 v_2.$$

A partir desta equação chega-se a:

$$v_1 = \frac{A_2 v_2}{A_1} \quad (16).$$

Substituindo na equação (15) a velocidade dada pela equação (16), obtemos a expressão (17):

$$v_2 = A_1 \sqrt{\frac{2(P_1 - P_2)}{\rho(A_1^2 - A_2^2)}} \quad (17)$$

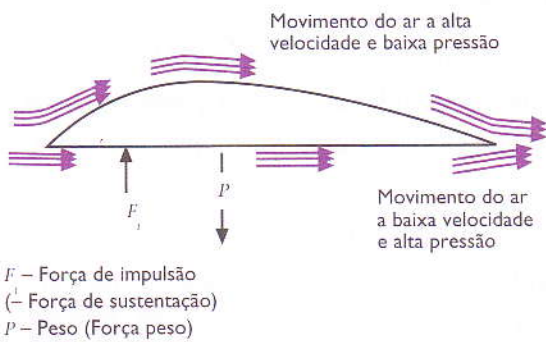
Sendo que $(P_1 - P_2)$ se pode expressar em função da diferença de pressão hidrostática do líquido entre ambas as posições consideradas,

$$(P_1 - P_2) = \rho_1 g h \quad (18)$$

Substituindo (18) em (17), obtém-se a expressão final para o cálculo da velocidade na secção 2,

$$v_2 = A_1 \sqrt{\frac{2\rho g h}{\rho(A_1^2 - A_2^2)}}.$$

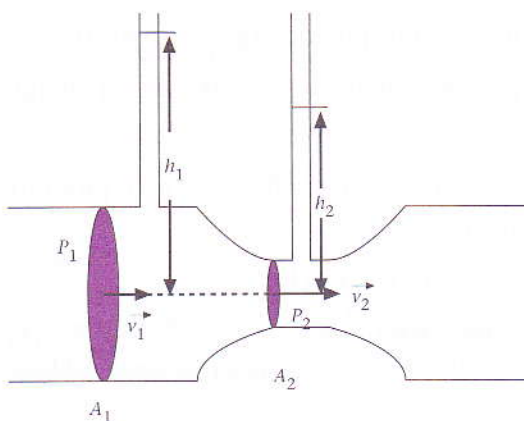
5.1 Aplicações do Princípio de Bernoulli



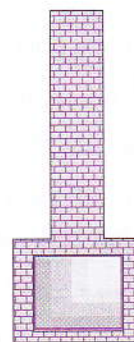
..... Figura 10: A asa de um avião é feita com base no Princípio de Bernoulli.

No nosso dia-a-dia deparamos com várias situações resultantes da aplicação prática do Princípio de Bernoulli. Por exemplo, a asa de um avião é mais curva na parte de cima do que na parte de baixo. A parte de cima, devido à curva, faz com que o ar passe com maior velocidade do que na de baixo. É por isso que a pressão do ar em cima da asa é menor do que na parte de baixo, originando uma força de impulsão que sustenta o avião no ar (figura 10).

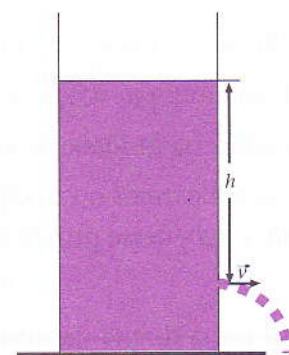
Um carburador funciona com base na aplicação do Princípio de Bernoulli. O carburador é, muitas



..... Figura 11: Tubo de Venturi.



..... Figura 12: O ar quente é expulso da lareira graças à diferença de pressão.



..... Figura 13: A velocidade de um fluido é directamente proporcional à altura.

vezes, usado em motores. O carburador possui um *tubo de Venturi* (figura 11) através do qual se cria uma zona de baixa pressão para extrair combustível para o carburador e misturá-lo completamente com o ar que nele penetra.

Numa chaminé, o movimento de ar do lado de fora de uma casa ajuda a criar uma diferença de pressão que expulsa o ar quente da lareira para cima, através da chaminé (figura 12). A velocidade máxima do fluido drenado de um determinado reservatório (figura 13) pode ser calculada aplicando a equação de Bernoulli, pois $v = \sqrt{2gh}$. Esta igualdade, conhecida por Lei de Torricelli, é compatível com o Princípio de Bernoulli. Daqui é fácil concluir que quanto maior a altura, maior será a velocidade do fluido drenado e vice-versa.

Conceitos básicos

- Hidrodinâmica:** ramo da Física em que se estuda o comportamento do movimento dos fluidos e as leis que regulam estes movimentos.
- Fluidos:** substâncias que podem escoar-se (líquidos ou gases). Um fluido pode ser escoado através de tubos (corpo cilíndrico oco e comprido geralmente feito de metal, de plástico ou de cerâmica). Se a velocidade de um fluido for constante no decorrer do tempo diz-se que o movimento do fluido está em regime permanente.
- Vazão volúmica (caudal):** volume de fluido que passa através da secção transversal de um tubo durante um intervalo de tempo: $Q = \frac{V}{\Delta t}$.
 Q – vazão volúmica ou caudal; V – volume; Δt – intervalo de tempo.

No Sistema Internacional de Unidades, a unidade de caudal chama-se metro cúbico por segundo:

$$[Q] = \frac{[V]}{[\Delta t]} = \frac{\text{metro cúbico (m}^3\text{)}}{\text{segundo (s)}} \Leftrightarrow [Q] = \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

A vazão volúmica ou caudal pode ser calculada através da igualdade: $Q = A \cdot v$.

A – área da secção transversal do tubo; v – é a velocidade do fluido.

- Viscosidade:** propriedade dos fluidos decorrente do seu atrito interno causado pelas interações intermoleculares por difusão molecular.
 A viscosidade dos fluidos varia de fluido para fluido; por exemplo, a água é menos viscosa (é menos pegajosa) do que o xarope.
- Fluido ideal:** fluido incompressível e não viscoso.
 Se o movimento de cada partícula do fluido for linear o seu fluxo diz-se *laminar*; no caso de ser desordenado, o movimento do fluido diz-se *turbulento*. O caminho percorrido por cada partícula do fluido chama-se *linha de corrente*. O movimento de um fluido ideal é sempre laminar.
 Nota: A pressão é maior no ponto onde a velocidade é menor e vice-versa; a pressão é maior no ponto de maior área de secção transversal pois, nessa região, a velocidade é menor e vice-versa.
- Princípio da Continuidade:** o caudal de um fluido ideal em regime permanente é constante:

$$v_1 \cdot A_1 = v_2 \cdot A_2$$

- 6.1 Aplicações do Princípio da Continuidade:** irrigação de campos agrícolas (sistemas de regadio), condução de soro, transfusão de sangue, distribuição de água para habitação ou noutros sistemas hidráulicos, etc.
- Princípio de Bernoulli:** $P_1 + \rho gh_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = P_2 + \rho gh_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2$
 - 7.1 Aplicações do Princípio de Bernoulli:** na construção das asas de um avião, no carburador, na chaminé, etc.

Exercícios resolvidos

1. Num tanque contendo 200 litros de água fez-se um furo de 4 cm de diâmetro através do qual a água sai à velocidade de 2 m/s.

1.1 Calcula a vazão e o tempo que leva a esvaziar o tanque.

Dados

$$V = 200 \text{ l} = 200 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$D = 4 \text{ cm} = 4 \times 10^{-2} \text{ m}$$

$$v = 2 \text{ m/s}$$

$$Q = ?$$

$$\Delta t = ?$$

Resolução

$$Q = A \cdot v$$

$$A = \pi r^2 = \pi \left(\frac{D}{2}\right)^2$$

$$A = \pi \left(\frac{4 \times 10^{-2} \text{ m}}{2}\right)^2 = 1,256 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$Q = 1,256 \times 10^{-3} \text{ m}^2 \cdot 2 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 2,512 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$Q = \frac{V}{\Delta t} \Rightarrow \Delta t = \frac{V}{Q}$$

$$\Delta t = \frac{200 \times 10^{-3} \text{ m}^3}{2,512 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}} \Rightarrow \Delta t = 79,61 \text{ s}$$

Resposta: A vazão é de aproximadamente 2,5 litros por segundo e a água do tanque irá acabar aproximadamente 1 minuto e vinte segundos depois.

2. Observa a figura e, de acordo com as condições indicadas, calcula a vazão volúmica tendo em conta que $D = 6 \text{ mm}$.

Dados

$$D = 6 \text{ mm} = 6 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$h = 3 \text{ m}$$

$$Q = ?$$

Resolução

De acordo com a equação (4) da experiência I da página 112, o caudal será $Q = A \cdot \sqrt{2gh}$.

Calculemos primeiro a área de secção. Assim:

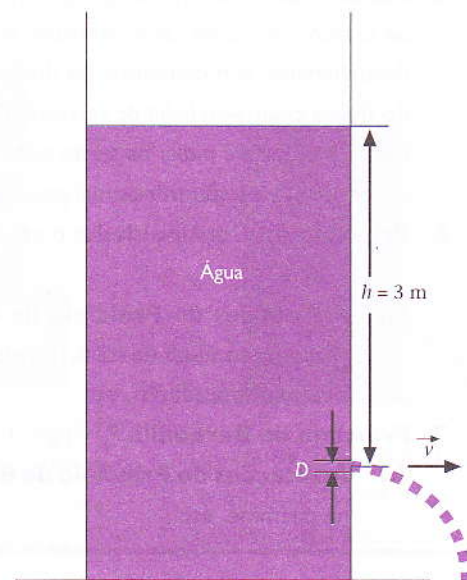
$$A = \pi \cdot \left(\frac{D}{2}\right)^2 = \pi \cdot \left(\frac{6 \times 10^{-3} \text{ m}}{2}\right)^2 = 9 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

Calculemos o caudal tomando $g = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$:

$$Q = 9 \times 10^{-6} \text{ m} \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 3 \text{ m}}$$

$$Q = 9 \times 10^{-6} \text{ m} \cdot 7,672 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 6,9 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

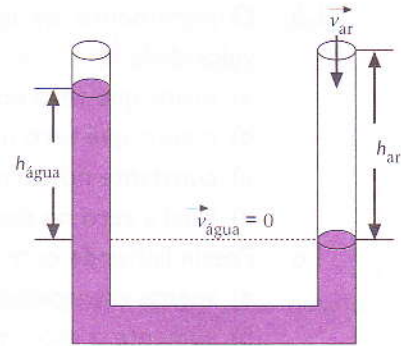
Resposta: O caudal de água que sai do orifício é de $6,9 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$.



3. Um tubo em forma de «U» contém água.

3.1 Se um menino soprar ar com a velocidade de 8 m/s num dos ramos do tubo, qual será a diferença entre os níveis de água no tubo?

(Usa $\rho_{ar} = 1,2 \times 10^{-3} \text{ kg/m}^3$ e $\rho_{\acute{a}gua} = 0,24 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$.)



Resolução

$$P_{atm} + \rho_{ar}gh_{ar} + \frac{1}{2}\rho_{ar}v_{ar}^2 = P_{atm} + \rho_{\acute{a}gua}gh_{\acute{a}gua} + \frac{1}{2}\rho_{\acute{a}gua}v_{\acute{a}gua}^2$$

onde: $P_{\acute{a}gua} = P_{atm} + \rho_{\acute{a}gua}gh_{\acute{a}gua}$

Repare-se que a velocidade da água na superfície de separação entre o ar e a água é nula ($v_{\acute{a}gua} = 0$); por outro lado, o produto $\rho_{ar}gh_{ar}$ torna-se desprezável em comparação com os demais valores. Por isso teremos:

$$\frac{1}{2}\rho_{ar}v_{ar}^2 = \rho_{\acute{a}gua}gh_{\acute{a}gua} \Rightarrow h_{\acute{a}gua} = \frac{\frac{1}{2}\rho_{ar}v_{ar}^2}{\rho_{\acute{a}gua}g} = \frac{\frac{1}{2} \cdot 1,2 \times 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot (8 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{0,24 \times 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}$$

$$h_{\acute{a}gua} = \frac{3,84 \times 10^{-2}}{2,352 \times 10^3} = 1,632 \times 10^{-5} \text{ m}$$

Resposta: A diferença entre os níveis de água será de $1,6 \times 10^{-5} \text{ m}$.

Exercícios não resolvidos

I. Assinala, com X, a opção correcta.

I.1 Fluidos são substâncias que podem escoar. É exemplo de fluido:

- a) a fumaça, o gás de cozinha, o vapor de água e o leite.
- b) o leite, o gelo e o petróleo.
- c) a luz, a fumaça, o oxigénio.
- d) o oxigénio, a sombra, o dióxido de carbono e o nitrogénio.

I.2 As partículas de um fluido ideal:

- a) interagem com as paredes do recipiente que os contém.
- b) não interagem com as paredes do recipiente que os contém.
- c) interagem da mesma forma entre si como acontece com as partículas de um fluido real.
- d) nenhuma das opções anteriores está correcta.

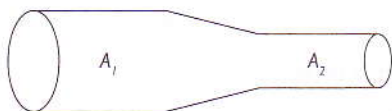
I.3 Um fluido ideal:

- a) possui densidade constante em todos os pontos do seu seio e não possui viscosidade.
- b) não é incompressível e não tem força de atrito interno.
- c) possui densidade constante e força de atrito interno.
- d) não é incompressível e possui viscosidade.

I.4 Um fluido ideal pode ser caracterizado por possuir:

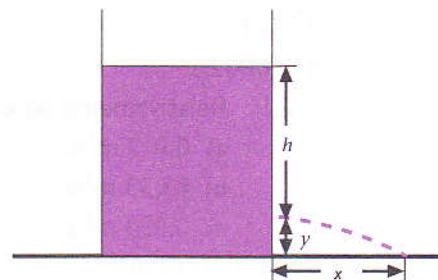
- a) um movimento turbulento.
- b) um movimento laminar.
- c) um alto grau de viscosidade.
- d) nenhuma das opções anteriores está correcta.

- 1.5 O movimento de um fluido denomina-se em regime permanente quando a sua velocidade for:
- a) maior que zero no decorrer do tempo.
 - b) menor que zero no decorrer do tempo.
 - c) constante no decorrer do tempo.
 - d) igual a zero no decorrer do tempo.
- 1.6 Possui linhas de corrente:
- a) apenas o escoamento laminar pois é linearmente uniforme.
 - b) somente o escoamento turbulento uma vez que é em forma de ondas.
 - c) qualquer tipo de escoamento.
 - d) só o escoamento laminar.
- 1.7 O volume de fluido que passa através da secção transversal de um tubo durante um intervalo de tempo denomina-se:
- a) quantidade de movimento.
 - b) escoamento.
 - c) caudal.
 - d) trabalho de escoamento.
- 1.8 É possível calcular a vazão volúmica de um fluido através das relações:
- a) $Q = \frac{V}{\Delta t}$ ou $Q = A \cdot V$
 - b) $Q = A \cdot v$ ou $Q = A \cdot V$
 - c) $Q = \frac{V}{\Delta t}$ ou $Q = A \cdot v$
 - d) nenhuma das opções anteriores está correcta.
- 1.9 A viscosidade de um fluido é:
- a) o atrito entre o fluido e as paredes do recipiente que o esco.
 - b) o atrito entre as partículas do fluido durante o seu escoamento.
 - c) a difusão das partículas intermoleculares de um fluido.
 - d) a interacção entre o fluido e as paredes do recipiente que o esco.
- 1.10 O Princípio da Continuidade aplica-se:
- a) no fabrico de lanternas para iluminação no escuro ou no sistema de regadio para se obter maior velocidade da luz ou da água.
 - b) na transfusão do sangue ou na conduta do soro.
 - c) nos sistemas hidráulicos para aumentar a velocidade dos sistemas mecânicos.
 - d) nenhuma das opções está correcta.
- 1.11 Dado o tubo da figura em baixo, podemos afirmar que a água irá fluir com maior velocidade em:



- a) A_1 , pois nessa região a pressão é maior do que em A_2 .
- b) A_2 , uma vez que $P_2 > P_1$.
- c) A_1 , pois nessa região a pressão é menor do que em A_2 .
- d) A_2 , uma vez que $A_2 < A_1$.

- I.12 Relativamente ao exercício anterior, supõe que $A_1 = 10 \text{ cm}^2$ e $A_2 = 5 \text{ cm}^2$. Tendo em conta que o óleo ($\rho_{\text{óleo}} = 800 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$) atravessa A_1 à velocidade de 2 m/s , a massa de óleo que sairá em A_2 após 10 s será:
- a) 4 kg
- b) $0,2 \text{ kg}$
- c) 2 kg
- d) 1600 kg
- I.13 Através de um tubo de 10 mm de diâmetro escoa, à velocidade de 11 m/s , um determinado fluido. O volume do fluido que sai em cada segundo é:
- a) $8,639 \times 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$
- b) $1,1 \times 10^{-1} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$
- c) $3,455 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$
- d) $1,1 \times 10^3 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$
- I.14 O volume de fluido do exercício anterior que terá saído após meia hora será:
- a) $6,219 \text{ m}^3$
- b) $1,55 \text{ m}^3$
- c) 198 m^3
- d) $1,1 \times 10^{-1} \text{ m}^3$
- I.15 Uma dada quantidade de água é transportada através de um tubo de diâmetro igual a 25 cm de um tanque que se encontra a 15 m do solo. Sabendo que o tubo maior se encontra no solo ligado a um tubo de 4 cm de diâmetro, a velocidade da água no segundo tubo será de:
- a) $6,7 \times 10^2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$
- b) $9,375 \times 10^1 \frac{\text{m}}{\text{s}}$
- c) $8,07 \times 10^2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$
- d) $1,06 \times 10^{-2} \frac{\text{m}}{\text{s}}$
- I.16 A vazão volúmica no tubo maior e no tubo menor do exercício anterior será:
- a) $0,842 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$ e $0,842 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$
- b) $0,842 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$ e $1,68 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$
- c) $1,68 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$ e $1,68 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$
- d) $1,68 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$ e $0,842 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$
- I.17 Um reservatório de 8 m de altura completamente cheio de água possui um pequeno furo a 6 m da superfície livre da água. O alcance horizontal x atingido pela água é:
- a) 8 m
- b) $6,9 \text{ m}$
- c) $13,8 \text{ m}$
- d) nenhuma das opções está correcta.

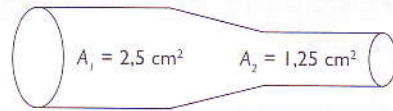


- 1.18 Relativamente ao exercício anterior, a velocidade da água e o tempo necessário para que ela atinja a distância x são, respectivamente:
- a) $6,26 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ e 1,2 s
- b) $10,84 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ e 0,63 s
- c) $12,52 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ e 1,10 s
- d) $7,67 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ e 0,89 s
- 1.19 Num tanque de $0,2 \text{ m}^3$ de água fez-se um furo de $4 \times 10^{-2} \text{ m}$ de diâmetro através do qual a água sai a uma velocidade de 2 m/s. A água do tanque irá acabar totalmente depois de:
- a) 2,5 s
- b) 1,25 s
- c) 79,6 s
- d) 12,5 s
- 1.20 A água do mar, cuja densidade é de 1030 kg/m^3 , é transportada por um tubo horizontal de 36 cm^2 de secção transversal que possui um estrangulamento de 12 cm^2 . Sabendo que a velocidade e a pressão da água na zona de maior área de secção transversal são, respectivamente, iguais a 90 cm/s e $7,5 \times 10^4 \text{ Pa}$, o valor da pressão na zona de menor área de secção transversal é:
- a) 6,9 Pa
- b) $7,33 \times 10^4 \text{ Pa}$
- c) $9,6 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2}$
- d) $9,6 \times 10^4 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2}$
- 1.21 A pressão sanguínea no coração de um adulto, sabendo que o coração se encontra a aproximadamente 1,3 m de altura, é:
(Usa $\rho_{\text{sangue}} = \frac{1,05 \text{ g}}{\text{cm}^3}$.)
- a) 13,39 Pa
- b) $1,365 \times 10^3 \text{ Pa}$
- c) 13,65 Pa
- d) $1,399 \times 10^4 \text{ Pa}$
- 1.22 Através de um furo de $0,02 \text{ m}^2$, num recipiente, sai óleo à velocidade de 0,6 m/s. Tendo em conta que, no início, o recipiente continha 50 l, o óleo irá acabar totalmente depois de:
- a) 4166,66 s
- b) 4,16 s
- c) 0,24 s
- d) 0,0002 s
- 1.22.1 Relativamente ao exercício anterior, o valor de vazão a que o óleo se perde é:
- a) $0,012 \text{ m}^3/\text{s}$
- b) $83,33 \text{ m}^3/\text{s}$
- c) $0,033 \text{ m}^3/\text{s}$
- d) $30 \text{ m}^3/\text{s}$

1.22.2 A quantidade de óleo que se pode recuperar depois de 3 segundos é:

- a) $0,099 \text{ m}^3$
- b) 90 m^3
- c) $0,036 \text{ m}^3$
- d) $249,99 \text{ m}^3$

1.23 De acordo com a figura e tendo em conta que a velocidade da nata do leite que atravessa A é $0,5 \text{ m/s}$:
(Usa $\rho_{\text{nata de leite}} = 865 \text{ kg/m}^3$.)



1.23.1 A velocidade de saída em A_2 é:

- a) $0,5 \text{ m/s}$
- b) $0,16 \text{ m/s}$
- c) $6,25 \text{ m/s}$
- d) 1 m/s

1.23.2 A vazão com que a nata do leite sai em A_2 é:

- a) $1,25 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$
- b) $7,81 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$
- c) $0,2 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$
- d) $0,625 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$

1.23.3 O volume e a massa da nata do leite que sairá em A_2 após meio minuto, serão, respectivamente, iguais a:

- a) $6,25 \times 10^{-5} \text{ m}^3$ e $5,4 \times 10^{-2} \text{ kg}$
- b) $3,75 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ e $3,24 \text{ kg}$
- c) $1,6 \times 10^4 \text{ m}^3$ e $18,5 \text{ kg}$
- d) $2,66 \times 10^2 \text{ m}^3$ e $0,3 \text{ kg}$

1.24 Sabe-se que a área de secção de um tubo horizontal ($h_1 = h_2$) é reduzida para um terço do seu valor inicial.

Tendo em conta que este transporta água do mar ($\rho = 1,013 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$) com a velocidade de $0,9 \text{ m/s}$ na parte mais larga onde a pressão tem o valor de $7,5 \times 10^4 \text{ N/m}^2$, a pressão na parte mais estreita é:

- a) $7,17 \times 10^4 \text{ Pa}$
- b) $1,44 \times 10^{-5} \text{ Pa}$
- c) $9,4 \times 10^4 \text{ Pa}$
- d) $4,6 \times 10^{-5} \text{ Pa}$

1.25 Supõe que a água que sai de uma torneira de $0,04 \text{ m}$ de diâmetro tem a velocidade de $0,06 \text{ m/s}$. A vazão e a massa de água, depois de 10 segundos, serão, respectivamente, iguais a:

- a) $7,5 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$ e $0,75 \text{ kg}$
- b) $3 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ e 3 kg
- c) $7,5 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$ e $7,5 \times 10^{-4} \text{ kg}$
- d) $3 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ e $3 \times 10^{-3} \text{ kg}$

1.25.1 O volume de água que sai depois de 1 minuto é:

- a) $7,5 \times 10^{-5} \text{ m}^3$
- b) $4,5 \times 10^{-3} \text{ m}^3$
- c) $2,2 \times 10^2 \text{ m}^3$
- d) $1,33 \times 10^4 \text{ m}^3$

Vamos experimentar...

Experiência 1

Velocidade e volume de escoamento de um líquido em função da sua altura

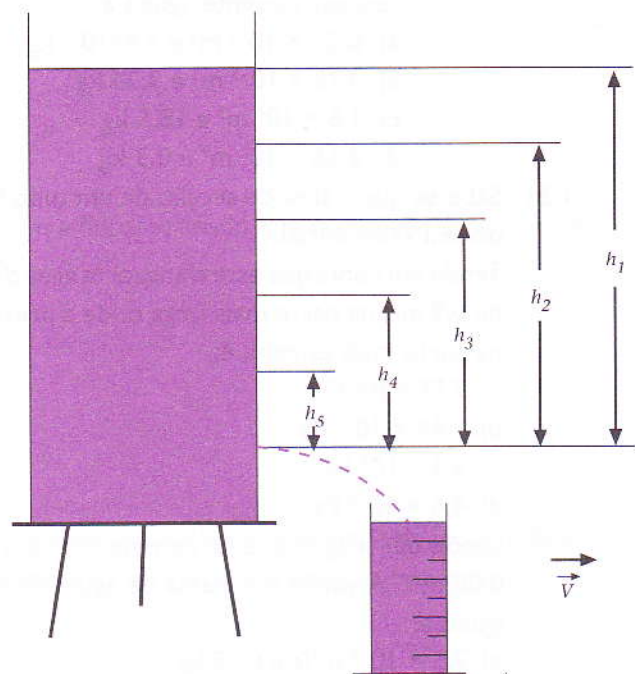
Objectivo:

- Estudo do caudal de um fluido em função da sua altura.

Materiais: água; um reservatório de secção transversal constante; uma proveta graduada; um cronómetro; uma régua.

Procedimentos:

- Para o sucesso desta experiência, os alunos deverão trabalhar em grupos de cinco. Um aluno vai controlar o tempo com o cronómetro, outro registará os dados da experiência, outro controla o enchimento da proveta, outro tapa o furo do reservatório e o outro enche o reservatório de água.
- Faz um pequeno furo na parte inferior do reservatório como mostra a figura 13, tapa-o com o teu dedo do lado de fora e enche-o de água.
- Mede a altura de água no reservatório (h_1).
- Coloca a proveta graduada na parte inferior do furo, de tal modo que a água caia nela. Depois de encher o reservatório, retira o dedo.
- Liga o cronómetro no momento em que retiras o dedo do pequeno furo.
- Deixa a proveta encher de água. Logo que a proveta estiver cheia de água, em simultâneo, desliga o cronómetro e tapa o furo.
- Mede a nova altura (h_2).
- Numa tabela (como, por exemplo, a Tabela 2), regista o volume de água na proveta, o tempo decorrido para encher a proveta e a altura.
- Repete este procedimento mais vezes até obteres cinco valores diferentes para a altura.



..... Figura 14: Montagem da experiência.

O caudal de água do pequeno furo $Q = \frac{V}{\Delta t}$ (1) sairá com uma velocidade (v_2) muito superior à velocidade de qualquer ponto à superfície (v_1), pois a área do furo (A_2) é muito inferior à área da secção transversal do reservatório (A_1). O caudal à superfície e o caudal que sai do furo têm a relação: $v_1 \cdot A_1 = v_2 \cdot A_2$ (2). A velocidade v_2 de água que sai do furo pode ser calculada a partir da expressão matemática da Lei de Torricelli $v_2 = \sqrt{2gh_x}$ (3), onde $x = 1, 2, 3$, etc.

Visto que o caudal $Q = A \cdot v$, o caudal que sai do pequeno furo será calculado pela expressão: $Q_2 = A_2 \cdot \sqrt{2gh}$ (4).

Análise e tratamento dos resultados da experiência

1. Calcula, com base na expressão (3), a velocidade v_2 .
2. A partir da expressão (4) calcula os valores de Q e Q_2 para cada valor de altura h .
3. Faz uma representação gráfica de Q_2 em função da altura h .
4. Preenche a Tabela 2 com os valores obtidos.

N.º da Experiência	h (m)	Δt (s)	V (m ³)	v_2 (m/s)	Q (m ³ /s)	Q_2 (m ³ /s)
1						
2						
3						
4						
5						

..... Tabela 2: Tabela para o preenchimento dos dados da experiência.

5. Interpreta os resultados obtidos.

Gases. Termodinâmica



No final desta unidade, deverás ser capaz de:

- explicar o conceito de gás perfeito ou ideal com base nos parâmetros de estado;
- aplicar a equação de estado do gás perfeito ou ideal na resolução de exercícios concretos;
- aplicar os isoprocessos na resolução de exercícios concretos;
- interpretar os digramas dos isoprocessos;
- calcular o trabalho termodinâmico de um gás nos diferentes isoprocessos;
- aplicar a Primeira Lei da Termodinâmica aos isoprocessos.

1. Parâmetros de estado. Gás perfeito ou ideal

Na 8.^a classe já vimos que os gases são constituídos por pequeníssimas partículas (moléculas, átomos ou iões) que se movem caoticamente (movimento browniano) e que se caracterizam por apresentar forma e volume variáveis. O movimento caótico (desordenado) que as partículas possuem depende da temperatura. Sendo a temperatura uma medida da energia cinética média das partículas, quanto maior a temperatura, mais rápido se torna o movimento das partículas e vice-versa. Entre as partículas de um gás existem grandes espaços intermoleculares, isto é, a distância entre as partículas de um gás é muito grande. Assim, torna-se fácil comprimir ou expandir um gás. As partículas de um gás chocam entre si e com as paredes do recipiente que os contém.

Se a temperatura de um gás não for muito baixa em comparação com a temperatura ambiente e se a sua pressão não for muito alta em comparação com $1,013 \times 10^5$ Pa, considera-se que entre as partículas do gás não existem interações intermoleculares e por essa razão, alguns gases reais tendem a comportar-se como gases ideais. O conceito de gás perfeito ou ideal é um modelo muito útil no estudo dos gases reais.

Gás perfeito ou ideal é o gás cujas partículas se encontram muito distantes, sendo desprezável a interação entre as suas partículas constituintes.

Um gás perfeito ou ideal apresenta as seguintes características:

- O movimento das suas partículas é caótico e desordenado (movimento browniano);
- Não existem forças de atracção entre as suas partículas, sendo desprezável a força gravítica das mesmas;
- O diâmetro das suas partículas é desprezável em comparação com a distância entre uma partícula e outra;
- Os choques entre as suas partículas e com as paredes são perfeitamente elásticos.

Para a descrição do estado em que um gás se encontra empregam-se grandezas físicas denominadas «parâmetros de estado».

Parâmetros de estado são grandezas físicas que caracterizam o estado de um determinado gás.

Os parâmetros de estado de um gás, nomeadamente, a temperatura, a pressão e o volume, encontram-se relacionados numa equação chamada *equação de estado do gás perfeito*.

2. Equação de estado do gás perfeito ou ideal

A relação entre os parâmetros de estado de um gás perfeito ou ideal é dada pela equação de estado chamada «equação de Clapeyron-Mendeleev» abaixo apresentada:

$$PV = nRT,$$

onde: P – é a pressão; V – é o volume; n – é o número de moles; R – é a constante universal dos gases perfeitos; T – é a temperatura absoluta.

Refira-se que a temperatura absoluta T é expressa na escala Kelvin (K) e a sua relação com a escala Celsius (escala centígrada) é: $T = t_{\text{C}} + 273$. Por vezes, a temperatura apresenta-se expressa na escala Fahrenheit e a sua relação com a escala Celsius é: $\frac{t_{\text{C}}}{100} = \frac{t_{\text{F}} - 32}{180}$. O valor tomado para a constante universal dos gases perfeitos é $R = 8,31 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$ ou $R = 8,31 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.

Conhecendo a massa, m , do gás e a massa de um mol dessa substância, M , é possível calcular o número de moles, n , através da relação $n = \frac{m}{M}$.

Quando uma determinada massa gasosa se encontra à temperatura de 273 K e à pressão de $1,013 \times 10^5$ Pa, dizemos que ela se encontra nas condições normais de temperatura e pressão (CNTP). Amedeo Avogadro enunciou uma importante lei para um gás nas CNTP, conhecida como Lei de Avogadro, cujo enunciado é o seguinte:

Nas condições normais de temperatura e pressão, o volume de qualquer gás é igual a 22,4 litros e contém $6,023 \times 10^{23}$ partículas.

O número $N_A = 6,023 \times 10^{23}$ é conhecido por número de Avogadro.

A relação entre o número de moles e o número de moléculas é dada pela expressão: $N = nN_A$, onde N é o número de moléculas.

3. Isoprocessos. Diagramas dos isoprocessos (isotérmico, isobárico e isovolúmico)

As transformações que ocorrem num gás sem que haja variação da massa nem de um dos parâmetros de estado do mesmo são denominadas isoprocessos.

Isoprocessos são transformações gasosas que ocorrem sem a variação da massa com um dos parâmetros de estado constante.

Distinguem-se três isoprocessos: isotérmico, isobárico e isovolúmico.

3.1 Processo isotérmico (Lei de Boyle-Mariotte)

No processo isotérmico estuda-se a relação entre a pressão e o volume de um gás sem que haja mudança da temperatura.

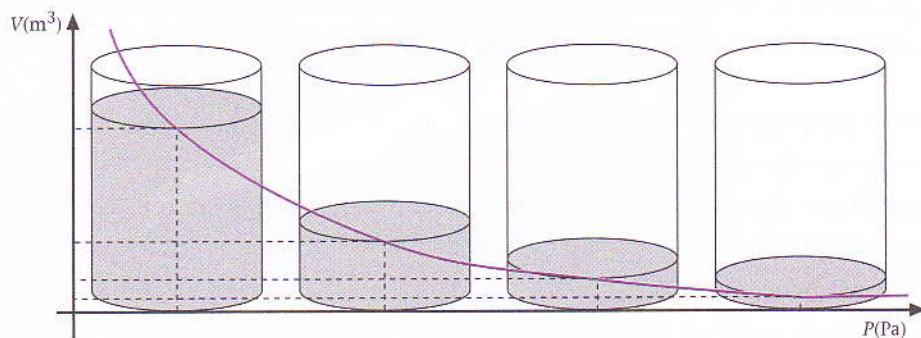
Processo isotérmico é o processo termodinâmico que ocorre num gás a temperatura constante.

A relação entre a pressão e o volume de um gás mantido a temperatura constante foi estudado pelo cientista R. Boyle e pelo físico E. Mariotte que formularam uma lei conhecida por Lei de Boyle-Mariotte, cujo enunciado é o seguinte:

Para uma transformação isotérmica a pressão de um gás é inversamente proporcional ao seu volume.

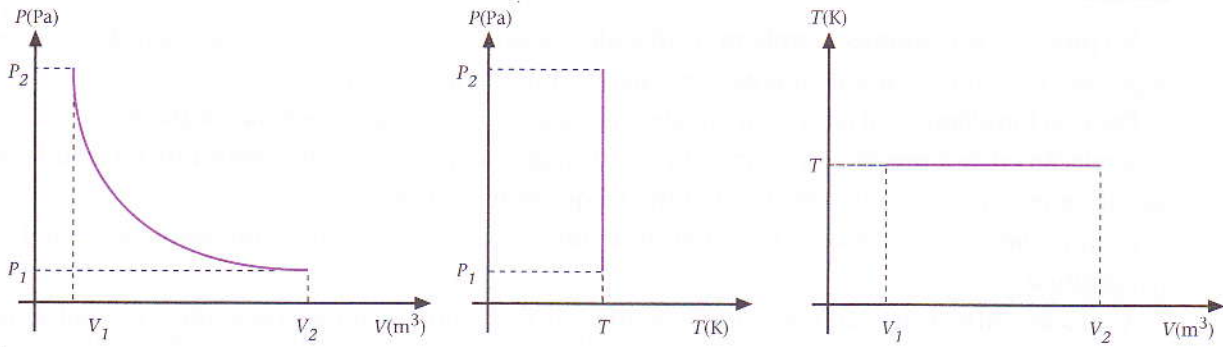
$$P_1 \cdot V_1 = P_2 \cdot V_2$$

O gráfico que se obtém da variação da pressão em função do volume é uma hipérbole e chama-se *linha isotérmica* ou *isoterma* (figura 1).



..... Figura 1: O aumento da pressão produz a diminuição do volume.

Para um processo isotérmico podemos representar os seguintes diagramas (figura 2):



..... Figura 2: Diagramas do processo isotérmico de um gás perfeito ($T_1 = T_2 = T$).

3.2 Processo isobárico (Lei de Gay-Lussac)

O processo isobárico foi detalhadamente estudado pelo físico L. Gay-Lussac tendo estabelecido a relação entre a temperatura e o volume de um gás sem que haja mudança da sua pressão.

Processo isobárico é o processo termodinâmico que ocorre num gás a pressão constante.

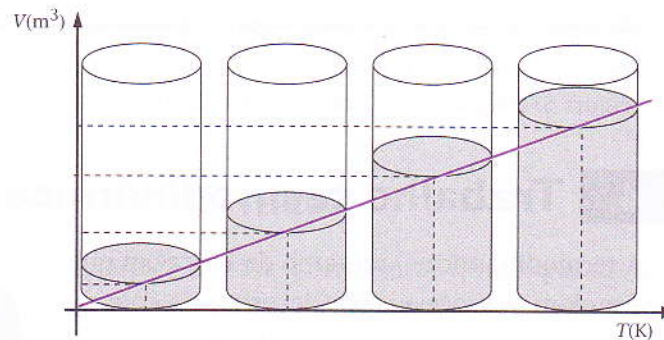
A relação entre a temperatura e o volume de um gás mantido a pressão constante pode ser estabelecida a partir da Lei de Gay-Lussac abaixo:

Numa transformação isobárica de um gás a temperatura e o volume são directamente proporcionais.

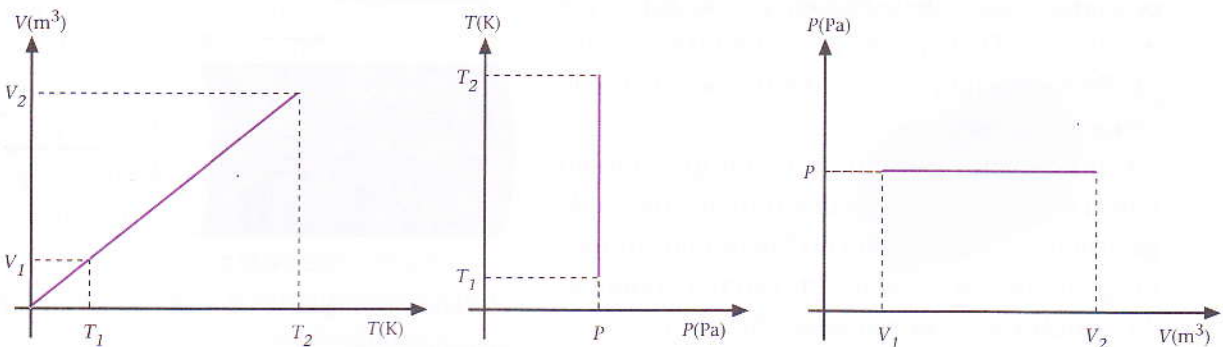
$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

O gráfico de uma transformação gasosa que ocorre com a variação do volume em função da temperatura absoluta mantendo constante a pressão é uma linha recta denominada *linha isobárica* ou *isóbara* (figura 3).

Os diagramas de uma transformação isobárica estão representados na figura 4.



..... Figura 3: O aumento da temperatura produz o aumento do volume.



..... Figura 4: Diagramas do processo isobárico de um gás perfeito ($P_1 = P_2 = P$).

3.3 Processo isovolúmico (Lei de Charles)

No processo isovolúmico, também conhecido por processo isocórico, estuda-se a relação entre a pressão e a temperatura de um gás sem que haja mudança de volume.

Processo isovolúmico é o processo termodinâmico que ocorre num gás a volume constante.

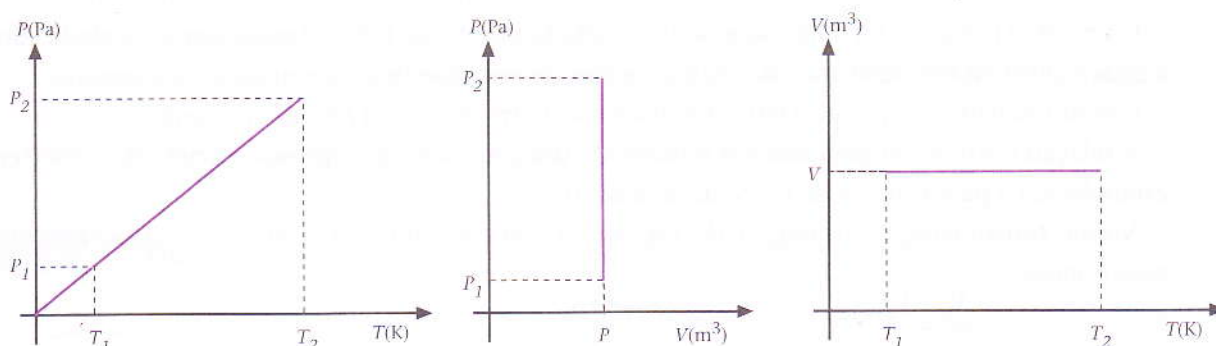
A relação entre a pressão e a temperatura de um gás mantido a volume constante foi estudada por Jacques Charles, tendo enunciado uma lei que tem o seu nome:

Durante uma transformação isovolúmica de um gás, a pressão é directamente proporcional à temperatura.

A relação entre a pressão e o volume de um gás mantido a volume constante é estabelecida pela Lei de Charles da maneira abaixo:

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$$

Os diagramas do processo isovolúmico estão representados na figura 5.



..... Figura 5: Diagramas do processo isovolúmico de um gás perfeito ($V_1 = V_2 = V$).

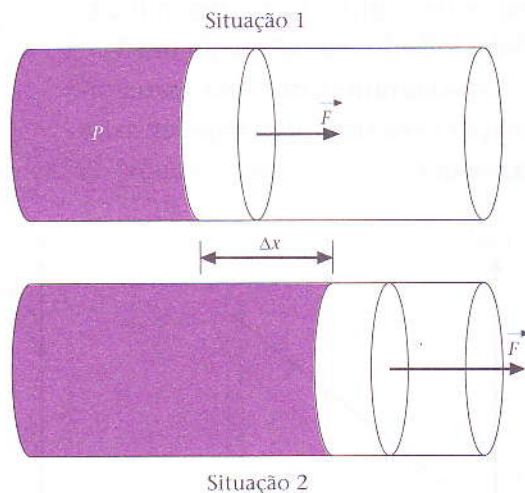
4. Trabalho termodinâmico

A termodinâmica é um ramo da Física em que se estudam os processos que decorrem da conversão entre calor e outras formas de energia.

Anteriormente, vimos que o movimento caótico das partículas de um gás depende da temperatura, pois uma variação desta influencia a variação desse movimento. Deste modo, podemos dizer que um gás pode expandir-se devido a um acréscimo de temperatura no seu seio.

Consideremos um cilindro com um êmbolo móvel e que contém uma determinada massa de gás (figura 6). Se a pressão no interior do cilindro for igual à pressão do ambiente exterior, o êmbolo do cilindro não irá mover-se (figura 6 – situação 1).

Se aquecermos o gás no interior do cilindro, ele irá expandir-se (dilatar) e, pouco a pouco, verificar-se-á um movimento do êmbolo do cilindro (figura 6 – situação 2).



..... Figura 6: Expansão de um gás à custa da temperatura.

Assim, à custa da temperatura, a expansão do gás significa realização de trabalho sobre as suas partículas. É por isso que escrevemos o trabalho termodinâmico de modo:

$$W = F \cdot \Delta x \quad (1).$$

Na equação (1) introduzimos a relação entre a pressão do gás e a força que as suas partículas constituintes exercem no êmbolo, a saber:

$$P = \frac{F}{A} \Rightarrow F = P \cdot A \quad (2)$$

e obtemos

$$W = P \cdot A \cdot \Delta x \quad (3).$$

Na última expressão, o produto dos dois últimos factores corresponde à variação do volume do gás durante a sua expansão da situação 1 para a situação 2:

$$A \cdot \Delta x = \Delta V \quad (4).$$

Substituindo (4) em (3), teremos a expressão do trabalho termodinâmico de um gás na forma:

$$W = P \cdot \Delta V.$$

Nas transformações isocóricas, um gás não realiza trabalho, pois não ocorre variação de volume. Na expansão de um gás, este realiza trabalho positivo e as forças exteriores trabalho negativo; na compressão, o gás realiza trabalho negativo e as forças exteriores trabalho positivo.

Sendo o trabalho uma medida de transferência de energia entre sistemas, neste processo de realização de trabalho ocorrem transferências de energia do sistema para o exterior no decorrer da expansão, e do exterior para o sistema no processo de compressão.

Sintetizando, o trabalho realizado pelo sistema é negativo e o trabalho realizado sobre o sistema é positivo.

O facto de um gás comprimido poder realizar trabalho ao sofrer um aumento da sua temperatura emprega-se, por exemplo, para abrir e fechar as portas de certos machimbombos (autocarros) usando bombas pneumáticas.

5. Primeira Lei da Termodinâmica

Uma importante lei baseada na teoria termodinâmica, a Lei de Conservação de Energia, diz que «a energia de um sistema não pode ser criada nem destruída, mas sim transformada de uma forma para outra ou transferida entre sistemas». Na termodinâmica, a Lei de Conservação de Energia é conhecida por Primeira Lei da Termodinâmica. Esta estabelece uma equivalência entre o trabalho e o calor trocados entre um sistema e o seu meio exterior e tem o seguinte enunciado:

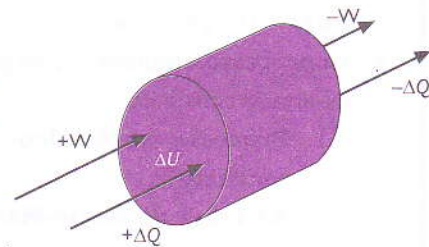
A variação da energia interna de um sistema depende da quantidade de calor recebida ou cedida e do trabalho realizado por ou sobre o sistema

$$\Delta U = \Delta Q + W,$$

onde: ΔQ – é a energia transferida como calor; ΔU – é a variação da energia interna; W – é a energia transferida como trabalho.

Convencionou-se que o calor recebido e o trabalho realizado sobre um sistema termodinâmico têm valores positivos e, quando o sistema termodinâmico cede calor e/ou realiza

trabalho sobre o meio, estes têm valores negativos. A energia interna é o somatório da energia potencial interna e da energia cinética interna. A sua variação, ΔU , deve-se à variação da energia cinética do movimento térmico das partículas do gás.



..... Figura 7: Sistema termodinâmico.

5.1 Aplicação da 1.ª Lei da Termodinâmica aos isoprocessos

Da Primeira Lei da Termodinâmica, é fácil concluir o seguinte:

- Num processo isotérmico, a variação da energia interna de um sistema é dada por $\Delta U = W$, uma vez que a temperatura é constante e $Q = 0$.
- Num processo isobárico, o aumento da temperatura implica o aumento do volume, dá-se a expansão do sistema, o calor recebido é positivo e o trabalho realizado pelo sistema é negativo:

$$Q > 0; W < 0 \Rightarrow \Delta U > 0.$$

Quando a temperatura do sistema diminui, verifica-se uma diminuição do seu volume, dá-se a compressão do sistema, o calor é negativo e o trabalho realizado sobre o sistema positivo:

$$Q < 0; W > 0 \Rightarrow \Delta U < 0.$$

- No processo isovolúmico, onde não há variação de volume do sistema, não ocorre realização de trabalho pelo ou sobre o sistema:

$$\Delta V = 0 \Rightarrow W = 0 \Rightarrow \Delta U = Q.$$

Conceitos básicos

1. Gás perfeito ou ideal: gás cujas partículas se encontram muito distantes umas das outras, sendo desprezável a interacção entre elas.

1.1 Características de um gás perfeito:

- as suas partículas possuem um movimento caótico e desordenado;
- a interacção entre as suas partículas e a força gravítica delas é desprezável;
- a distância entre as partículas é muito maior que o seu diâmetro;
- os choques entre as partículas e as paredes são perfeitamente elásticos.

2. Parâmetros de estado: grandezas físicas que caracterizam o estado de um determinado gás.

2.1 Equação de estado do gás perfeito (equação de Clapeyron-Mendeleev):

$$PV = nRT \quad T = t_{\text{C}} + 273 \quad \frac{t_{\text{C}}}{100} = \frac{t_{\text{F}} - 32}{180} \quad n = \frac{m}{M} \quad N = nN_{\text{A}}$$

Onde: P – é a pressão; V – é o volume; n – é o número de moles; R – é a constante universal dos gases perfeitos ($R = 8,31 \frac{\text{J}}{\text{mol}} \cdot \text{K}$ ou $\text{J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$); T – é a temperatura absoluta; t_{C} – é a temperatura na escala Celsius; t_{F} – é a temperatura na escala Fahrenheit; m – é a massa do gás; M – é a massa molar; N – é o número de moléculas.

Se um gás estiver à temperatura de 273 K e à pressão de $1,013 \times 10^5$ Pa diz-se que se encontra nas condições normais de temperatura e pressão (CNTP).

3. Lei de Avogadro: nas CNTP, o volume de uma mole de qualquer gás é igual a 22,4 litros e contém $6,023 \times 10^{23}$ partículas.

4. Isoprocessos: transformações gasosas que ocorrem sem a variação da massa com um dos parâmetros de estado constante.

4.1 Processo isotérmico: processo termodinâmico que ocorre num gás a temperatura constante.

4.1.1 Lei de Boyle-Mariotte: numa transformação isotérmica, a pressão de um gás é inversamente proporcional ao seu volume: $P_1 \cdot V_1 = P_2 \cdot V_2$.

4.2 Processo isobárico: processo termodinâmico que ocorre num gás à pressão constante.

4.2.1 Lei de Gay-Lussac: numa transformação isobárica de um gás, a temperatura e o volume são directamente proporcionais: $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$.

4.3 Processo isovolumico: processo termodinâmico que ocorre num gás a volume constante.

4.3.1 Lei de Charles: durante uma transformação isovolumica de um gás, a pressão é directamente proporcional à temperatura: $\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$.

5. Termodinâmica: ramo da Física em que se estudam os processos resultantes da conversão entre calor e outras formas de energia.

5.1 Trabalho termodinâmico: $W = P \cdot \Delta V$.

5.2 Primeira Lei da Termodinâmica: a quantidade de calor, Q , recebida por um sistema é parcialmente consumida a favor do aumento da energia interna, ΔU , do sistema, e parcialmente usada na possibilidade de se realizar trabalho, W , pelo sistema: $\Delta U = \Delta Q + W$.

A variação da energia interna ΔU ocorre se entrar ou sair energia do sistema como trabalho ou calor. O calor recebido e o trabalho realizado, sobre um sistema termodinâmico, são positivos. Quando o sistema termodinâmico cede calor e/ou realiza trabalho sobre o meio exterior, o calor e o trabalho são negativos.

Num processo isotérmico a variação da energia interna de um sistema é dada por $\Delta U = W$, uma vez que a temperatura é constante, $Q = 0$.

Num processo isobárico, porque a temperatura e o volume são directamente proporcionais:

- se a temperatura aumentar, o calor é positivo mas o trabalho realizado pelo sistema durante a expansão é negativo: $Q > 0$; $W < 0 \Rightarrow \Delta U > 0$;
- se a temperatura diminuir, o calor é negativo e o trabalho realizado sobre o sistema é positivo: $Q < 0$; $W > 0 \Rightarrow \Delta U < 0$.

No processo isovolumico não há realização de trabalho pelo ou sobre o sistema porque o volume não varia: $\Delta V = 0 \Rightarrow W = 0 \Rightarrow \Delta U = Q$.

Exercícios resolvidos

I. Qual é a temperatura de um gás se 2 moles deste ocupam um volume de 20 litros à pressão de 1,4 atmosfera?

Dados

$$T = ?$$

$$n = 2 \text{ mol}$$

$$V = 20 \text{ l}$$

$$P = 1,4 \text{ atm}$$

$$R = 8,31 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$$

Resolução

$$PV = nRT \Rightarrow T = \frac{PV}{nR}$$

$$1 \text{ m}^3 = 10^3 \text{ l} \Rightarrow 20 \text{ l} = 2 \times 10^{-2} \text{ m}^3 = V$$

$$1 \text{ atm} = 1,013 \times 10^5 \text{ Pa} \Rightarrow 1,4 \text{ atm} = 1,4282 \times 10^5 \text{ Pa} = P$$

$$T = \frac{1,4182 \times 10^5 \text{ Pa} \cdot 2 \times 10^{-2} \text{ m}^3}{2 \text{ mol} \cdot 8,31 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}}} = \frac{2,8364 \times 10^3 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \cdot \text{m}^3}{16,62 \text{ mol} \cdot \text{N} \cdot \frac{\text{m}}{\text{mol} \cdot \text{K}}}$$

$$T = 170,6 \text{ K}$$

Resposta: A temperatura do gás em causa é de 170,6 K.

2. Uma amostra de gás de 400 cm^3 , à temperatura de 10°C , encontra-se encerrada num sistema termodinâmico isobárico. Qual será o seu volume se a sua temperatura for elevada para 40°C ?

Dados

$$V_1 = 400 \text{ cm}^3 = 400 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$t_1 = 10^\circ\text{C} = 283 \text{ K}$$

$$V_2 = ?$$

$$t_2 = 40^\circ\text{C} = 313 \text{ K}$$

Resolução

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \Rightarrow V_2 = \frac{V_1 \cdot T_2}{T_1}$$

$$V_2 = \frac{400 \times 10^{-6} \text{ m}^3 \cdot 313 \text{ K}}{283 \text{ K}} = \frac{1,252 \times 10^{-1} \text{ m}^3}{283}$$

$$V_2 = 4,42 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

Resposta: Se a temperatura do gás for elevada para 40°C , o seu volume elevar-se-á para $4,42 \times 10^{-4} \text{ m}^3$, ou seja, 442 cm^3 .

3. Determina a variação da energia interna para que um sistema termodinâmico absorvendo 200 J realize um trabalho de 50 J .

Dados

$$\Delta U = ?$$

$$\Delta Q = 200 \text{ J}$$

$$W = -50 \text{ J}$$

Resolução

$$\Delta U = \Delta Q + W$$

$$\Delta U = 200 \text{ J} - 50 \text{ J}$$

$$\Delta U = 150 \text{ J}$$

Resposta: A energia interna do sistema varia em 150 J .

4. Determina a variação de energia interna de um sistema termodinâmico que absorve 120 cal quando sobre ele é realizado um trabalho de 350 J .

Dados

$$\Delta U = ?$$

$$\Delta Q = 120 \text{ cal}$$

$$W = -350 \text{ J}$$

Resolução

$$1 \text{ cal} = 4,2 \text{ J} \Rightarrow 120 \text{ cal} = 204 \text{ J} = \Delta Q$$

$$\Delta U = \Delta Q - W = 204 \text{ J} - (-350 \text{ J}) = 204 \text{ J} + 350 \text{ J} = 554 \text{ J}$$

Resposta: A variação da energia interna do sistema nas condições do problema é de 554 J .

5. Determina a variação da energia interna de um sistema termodinâmico de onde se extraem 300 J num processo isocórico.

Dados

$$\Delta U = ?$$

$$\Delta Q = -300 \text{ J}$$

$$W = 0$$

Resolução

$W = 0$ (processo isovolúmico)

$\Delta U = -300 \text{ J}$

Resposta: Uma vez que no processo isocórico não há variação do volume do sistema, a energia interna torna-se igual, neste caso, ao calor extraído, isto é, -300 J .

6. Calcula o acréscimo de volume de um sistema termodinâmico mantido a temperatura constante que se expande contra uma pressão externa de 500 KPa quando lhe são transferidas 10^4 cal no trabalho realizado.

Dados

$\Delta V = ?$

$\Delta U = W$ porque $T = \text{constante}$ e, deste modo, $Q = 0$

$P = 500 \text{ KPa}$

$W = 10^4 \text{ cal} = 4,2 \times 10^4 \text{ J}$

Resolução

$$W = P \cdot \Delta V \Rightarrow \Delta V = \frac{W}{P}$$

$$\Delta V = \frac{W}{P} = \frac{4,2 \times 10^4 \text{ J}}{5 \times 10^5 \text{ Pa}}$$

$$\Delta V = 8,4 \times 10^{-2} \text{ m}^3$$

Resposta: O acréscimo de volume foi de $8,4 \times 10^{-2} \text{ m}^3$.

Exercícios não resolvidos

I. Assinala, com X, a opção correcta:

- I.1 Os gases são constituídos por pequenas partículas que apresentam um movimento ____, chamado ____, que depende ____.
- a) uniforme; movimento browniano; da temperatura
- b) caótico; movimento rectilíneo uniformemente variado; da temperatura
- c) vibratório; movimento uniforme; do volume
- d) caótico; movimento browniano; da temperatura
- I.2 Quando as partículas de um gás se encontram muito distantes umas das outras, o gás passa a comportar-se como um gás:
- a) ideal, pois as interacções intermoleculares tornam-se quase nulas.
- b) real, pois as interacções intermoleculares tornam-se quase nulas.
- c) ideal, pois as interacções intermoleculares intensificam-se.
- d) real, pois as interacções intermoleculares enfraquecem-se.
- I.3 Os isoprocessos, nomeadamente, ____, são transformações gasosas que ocorrem ____ com um dos parâmetros de estado constante.
- a) o isotérmico, o isobárico e o isovolúmico; com a variação da massa
- b) o isotérmico, o isobárico e o isocórico; sem a variação da massa
- c) o isométrico, o isobárico e o isovolúmico; sem a variação da massa
- d) nenhuma das opções anteriores está correcta

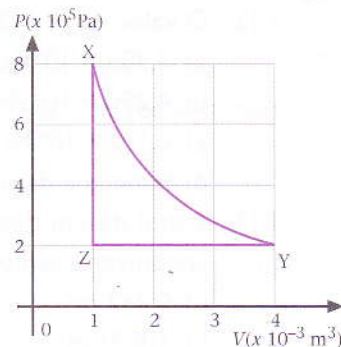
- 1.4 Um isoprocesso que tem lugar a temperatura constante:
- a) chama-se processo isométrico.
 - b) sofre variação da sua pressão e da sua temperatura sendo estas grandezas directamente proporcionais.
 - c) sofre variação da sua pressão e do seu volume sendo estas grandezas directamente proporcionais.
 - d) nenhuma das opções está correcta.
- 1.5 No processo isobárico:
- a) o volume permanece inalterável enquanto a temperatura e a pressão variam.
 - b) o diagrama do volume em função da temperatura ($V \times T$) é uma linha recta paralela ao eixo da temperatura.
 - c) o volume e a temperatura são inversamente proporcionais.
 - d) a pressão não varia.
- 1.6 Num ____ a pressão e a temperatura são directamente proporcionais, sendo o volume constante.
- a) processo isométrico
 - b) processo isotérmico
 - c) processo isocórico
 - d) nenhuma das opções está correcta
- 1.7 Para uma determinada massa de gás ideal, a sua equação de estado toma a forma:
- a) $PV = \frac{m}{M} RT$
 - b) $PV = \frac{M}{m} RT$
 - c) $\frac{PV}{T} = n$
 - d) $\frac{PV}{T} = R$
- 1.8 O trabalho termodinâmico efectuado por um determinado gás pode ser calculado através da fórmula:
- a) $W = F\Delta V$
 - b) $W = PQ$
 - c) $W = P\Delta U$
 - d) $W = P\Delta V$
- 1.9 Parte da quantidade de calor fornecida a um gás favorece ____ e outra parte pode ser usada na realização de trabalho pelo gás.
- a) o incremento da sua energia interna
 - b) a diminuição da sua energia interna
 - c) o aumento das suas partículas
 - d) nenhuma das opções anteriores está correcta
- 1.10 A temperatura de um gás, se 1 mol deste ocupa um volume de 7 litros à pressão de 5 atmosferas, é de:
- a) 4,21 K
 - b) 0,004 K
 - c) $4,26 \times 10^5$ K
 - d) 426,6 K

- I.11 Dado que $0,2 \text{ m}^3$ de um gás à temperatura de $100 \text{ }^\circ\text{C}$ exercem uma pressão de 10^5 Pa sobre o êmbolo do recipiente que o contém, a quantidade das suas partículas constituintes (moles e moléculas) é de:
- a) 24,06 moles e 120,33 moléculas.
 - b) 0,04 moles e 0,008 moléculas.
 - c) 0,15 moles e 0,03 moléculas.
 - d) 6,45 moles e $38,84 \cdot 10^{23}$ moléculas.
- I.12 O valor da pressão de um gás a $470 \text{ }^\circ\text{F}$ e que contém 10^3 moléculas é:
- a) $3,905 \times 10^6 \text{ Pa}$.
 - b) $4,290 \times 10^6 \text{ Pa}$.
 - c) $6,174 \times 10^6 \text{ Pa}$.
 - d) nenhuma das opções está correcta.
- I.13 1 mol de um determinado gás expande-se exercendo uma pressão de 7 KPa por se encontrar à temperatura de $100 \text{ }^\circ\text{C}$. O volume ocupado pelo gás é:
- a) $0,442 \text{ m}^3$.
 - b) $118,71 \text{ m}^3$.
 - c) $442,8 \text{ m}^3$.
 - d) $0,118 \text{ m}^3$.
- I.14 Um gás de 40 litros a $15 \text{ }^\circ\text{C}$ encontra-se encerrado num sistema termodinâmico isobárico. O seu volume se a temperatura for elevada para $75 \text{ }^\circ\text{C}$ será de:
- a) 200 m^3 .
 - b) $0,2 \text{ m}^3$.
 - c) $0,03 \text{ m}^3$.
 - d) $0,048 \text{ m}^3$.
- I.15 A variação da energia interna para que um sistema termodinâmico absorvendo 354 cal realize um trabalho de 320 J é de:
- a) 34 J
 - b) 674 J
 - c) $1166,8 \text{ J}$
 - d) $1806,8 \text{ J}$
- I.16 A variação da energia interna de um sistema termodinâmico que absorve 120 cal quando sobre ele é realizado um trabalho de 350 cal é de:
- a) 470 J
 - b) -230 J
 - c) 1974 J
 - d) -966 J
- I.17 A variação da energia interna de um sistema termodinâmico donde se extraem 420 cal num processo isovolúmico é de:
- a) 420 J
 - b) 100 J
 - c) -1764 J
 - d) 0 J

1.18 Um dado sistema termodinâmico sem sofrer variação da sua temperatura expande-se contra uma pressão externa de 10^5 Pa quando lhe são fornecidos 10^4 cal. A variação do volume do referido sistema é:

- a) 10^{-1} m^3
- b) 10 dm^3
- c) $0,42 \text{ m}^3$
- d) $23,8 \text{ m}^3$

1.19 Considera a figura apresentada ao lado, que representa o gráfico da variação da pressão em função da variação do volume ($P \times V$). Tendo em conta que o gás sofre transformações durante o ciclo $X \rightarrow Y \rightarrow Z \rightarrow X$ à temperatura de 600 K, o gráfico ($P \times T$), de entre os apresentados abaixo, que corresponde ao ciclo $X \rightarrow Y \rightarrow Z \rightarrow X$ é:



- a)
- b)
- c)
- d)

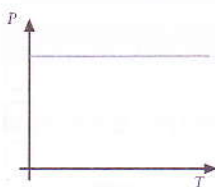
1.20 Do gráfico ($P \times V$) do exercício anterior, podemos afirmar que:

- a) a transformação $X \rightarrow Y$ é uma transformação isotérmica.
- b) a transformação $X \rightarrow Z$ é uma transformação isobárica.
- c) a transformação $Y \rightarrow Z$ é uma transformação isocórica.
- d) nenhuma das opções anteriores está correcta.

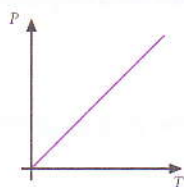
1.21 Um determinado gás ideal sofre uma expansão isotérmica, uma compressão isobárica e um aquecimento isovolúmico segundo o ciclo $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 1$. O diagrama, de entre os apresentados abaixo, que representa o referido ciclo é:

- a)
- b)
- c)
- d)

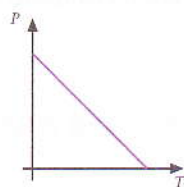
1.22 Para uma transformação isocórica, o seu gráfico representativo é:



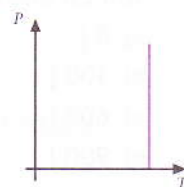
a)



b)



c)



d)

1.23 Uma certa massa de gás ideal sofre transformações ocupando os estados 1, 2 e 3. O estado que corresponde ao de maior temperatura:

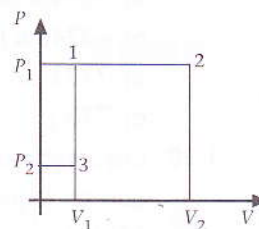
a) é o estado 1.

b) é o estado 2.

c) é o estado 3.

d) nenhuma das opções.

-



1.24 Para um sistema gasoso ter sido levado do estado 1 para o estado 2 através do caminho 1→3→2, foi fornecida a energia de 10^4 J ao sistema e realizado um trabalho de 2 kJ. Se o sistema gasoso tivesse sido levado através do caminho 1→4→2, a quantidade de calor que entraria no sistema para realizar um trabalho de 8×10^3 J seria:

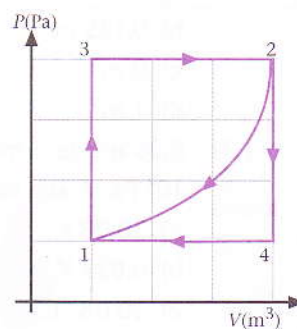
a) $1,6 \times 10^4$ J

b) 0 J

c) $1,0006 \times 10^4$ J

d) 2×10^4 J

-



1.25 O valor da temperatura de um gás, se 0,32 moles deste ocupam um volume de 7,8 dm³ à pressão de 10^4 Pa, é:

a) 29332,1 K

b) 340,92 K

c) 29,33 K

d) 0,034 K

-

1.26 Um gás de 0,6 m³ a 25 °C encontra-se num sistema termodinâmico isobárico. O seu volume, se a sua temperatura for elevada para 30 °C, é:

a) 0,61 m³

b) 1,63 m³

c) 0,72 m³

d) 1,38 m³

-

1.27 O valor da variação da energia interna para que um sistema termodinâmico absorvendo 345 J realize um trabalho de 73 J é:

a) 418 J

b) 272 J

c) 25,2 KJ

d) 4,72 KJ

-

- 1.28 O valor da variação de energia interna de um sistema termodinâmico que absorve 300 cal quando sobre ele é realizado um trabalho de 300 J é:
- a) 0 J
- b) 300 J
- c) 600 J
- d) 900 J
- 1.29 A variação da energia interna de um sistema termodinâmico donde se extraem 773 cal num processo isocórico é:
- a) 3246,6 cal
- b) -3246,6 J
- c) 7773 cal
- d) 773 J
- 1.30 O acréscimo de volume de um sistema termodinâmico cuja energia interna é constante, que se expande contra uma pressão externa de 125 Pa quando lhe são fornecidos 10^3 J, é:
- a) 8 m^3
- b) $0,125 \text{ m}^3$
- c) 0 m^3
- d) 1 m^3
- 1.31 $0,05 \text{ m}^3$ de 2 moles de um gás encontram-se encerrados num recipiente à pressão de 10^4 Pa. A sua temperatura é:
- a) 30,08 K
- b) 0,033 K
- c) 30,08 °C
- d) 0,033 °C
- 1.32 Os valores do número de moles bem como do número de moléculas, dado que $0,73 \text{ m}^3$ de um gás a 276 K exercem uma pressão de 10^3 Pa sobre o êmbolo do recipiente que o contém, são, respectivamente:
- a) 3,14 moles e $1,894 \times 10^{24}$ moléculas
- b) 1,917 moles e $0,318 \times 10^{23}$ moléculas
- c) 3,14 moles e $5,21 \times 10^{-24}$ moléculas
- d) 0,318 moles e $1,917 \times 10^{23}$ moléculas
- 1.33 Num processo, à pressão constante de 2×10^5 Pa, um gás aumenta o seu volume de 8 litros para 13 litros. O trabalho realizado pelo sistema é:
- a) 5×10^{-3} J
- b) -10^3 J
- c) 10^3 J
- d) -5×10^{-3} J

Vamos experimentar...

Experiência 1

Relação entre a pressão e o volume num processo isotérmico

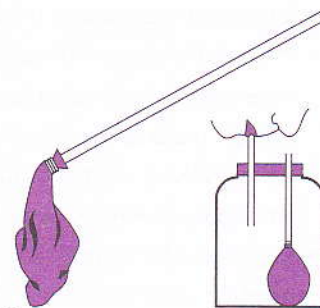
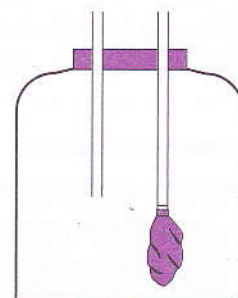
Objectivo:

- Verificar a ocorrência de um processo isotérmico de um gás.

Materiais: Um balão; dois tubos finos de vidro; uma borracha ou fita-cola; um vasilhame (pode ser um frasco de maionese); cortiça (para servir de tampa do frasco).

Procedimentos:

- Faz uma tampa justa para o vasilhame com a cortiça.
- Ajusta a boca do balão à extremidade de um dos tubos, introduz uma dada quantidade de ar e veda de forma a não haver alteração da quantidade de ar existente no interior do balão.
- Faz dois furos na tampa de cortiça através dos quais irás fazer passar, bem ajustados, os dois tubos.
- Fecha o vasilhame com a tampa de cortiça introduzindo, no seu interior, os dois tubos com o balão.
- De seguida, aspira a extremidade do tubo não ajustado ao balão e tapa-o imediatamente.
- Destapa o tubo e deixa repor o ar no interior do sistema.
- Expira e introduz mais ar no interior do sistema.
- Regista as observações.



..... Figura 8: Montagem da experiência.

Tratamento dos resultados da experiência

1. Responde às questões:
 - 1.1 Por que razão o balão «enche» e «esvazia» de ar?
 - 1.2 Qual o parâmetro de estado controlado com a aspiração e expiração para o interior do sistema e qual o parâmetro que se manteve constante?
 - 1.3 Ao aspirar o ar do interior do vasilhame, a pressão no seu interior aumenta ou diminui?
2. Estabelece, de forma qualitativa, a relação entre pressão e volume da amostra de gás usada na experiência.
3. Verifica a concordância dos resultados obtidos e a Lei de Boyle-Mariotte.

Vamos experimentar...

Experiência 2

Determinação da constante universal dos gases perfeitos

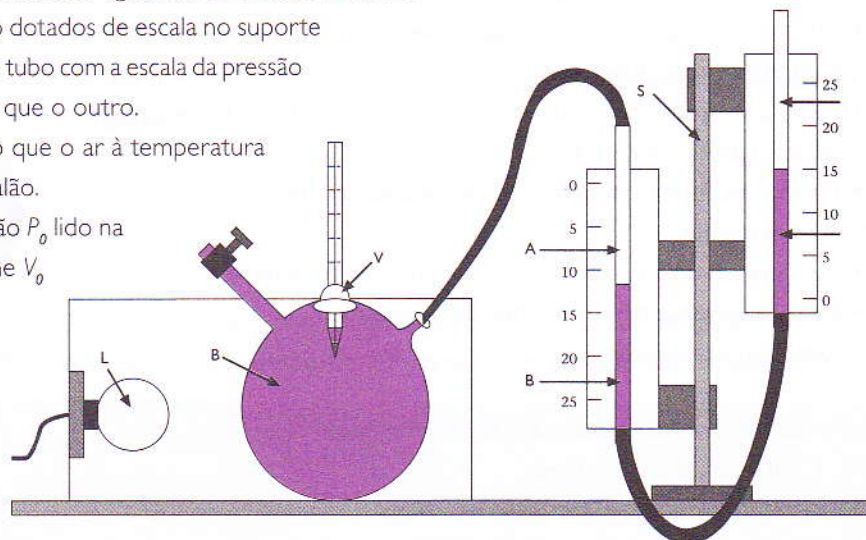
Objectivo:

- Determinar a constante universal dos gases perfeitos.
- Verificar as transformações de um gás.

Materiais: Um balão de vidro contendo uma válvula; um suporte tripé; uma caixa; dois tubos de vidro dotados de escala (uma escala de volume e outra da pressão); dois tubos de borracha; um termómetro; uma lâmpada incandescente de 100 W; uma fonte de tensão de 220 V.

Procedimentos:

- Monta a lâmpada *L* e coloca o balão de vidro *B* no interior da caixa deixando sair a válvula *V* e o termómetro parcialmente introduzido no balão.
- Liga os dois tubos *AB* e *CD* entre si por meio do tubo de borracha e liga o tubo inferior (com a escala de volume), por meio do tubo de borracha, ao balão de vidro.
- Introduce a mesma quantidade de água nos dois tubos de vidro.
- Monta os tubos de vidro dotados de escala no suporte tripé *S* de tal modo que o tubo com a escala da pressão esteja a maior altura do que o outro.
- Abre a válvula de modo que o ar à temperatura ambiente penetre no balão.
- Regista o valor da pressão P_0 lido na escala, o valor do volume V_0 correspondente ao volume do balão e o valor da temperatura inicial t_0 .
- A seguir fecha a válvula de modo a permitir o contacto do balão apenas com o tubo *AB* e liga a lâmpada *L* à tomada.
- Repara que a variação da temperatura do ar contido no balão dá origem à variação do volume e da pressão. Por essa razão, anota os valores da variação do volume ΔV e da pressão ΔP correspondentes a uma variação de temperatura de 2 °C.



..... Figura 9: Montagem da experiência.

Vamos experimentar...

Tratamento dos resultados da experiência

1. Continua a observar as transformações do gás e anota os resultados na Tabela 1, correspondente ao aquecimento do gás.

N.º da Experiência	Grandeza	P_0 (Pa)	V_0 (m ³)	t_0 (°C)	T (K)	ΔV (m ³)	ΔP (Pa)	PV (Nm)	nT (mol · K)	R ($\frac{J}{mol \cdot K}$)
1										
2										
3										
4										
5										
6										

..... Tabela 1: Resultados correspondentes ao aquecimento do gás.

2. Calcula a massa do gás a partir da expressão $m = \rho \cdot V_0$ tendo em conta a densidade do ar à temperatura conhecida lida no termómetro (observa a Tabela 2 correspondente à densidade do ar para diferentes temperaturas e pressões). Usa a expressão $n = \frac{m}{M}$ para calcular o número de moles, onde a massa molar do ar é $M = \frac{30 \text{ kg}}{\text{k} \cdot \text{mol}}$.

t (°C)	20	22	24	26	28	30
P (mmHg)						
740	1,211	1,203	1,951	1,187	1,179	1,171
750	1,227	1,219	2,111	1,203	1,195	1,187
760	1,244	1,235	1,227	1,219	1,211	1,203
770	1,260	1,252	1,243	1,235	1,221	1,219
780	1,277	1,268	1,259	1,251	1,243	1,224

..... Tabela 2: Densidade do ar (kg/m³) para diferentes temperaturas e pressão.

3. Calcula o valor de R com base na igualdade $R = \frac{PV}{nT}$ e o valor médio R .
4. Meia hora depois, desliga a lâmpada e, novamente para uma variação de temperatura de 2 °C, regista os dados na Tabela 3, correspondente ao arrefecimento do gás.

N.º da Experiência	Grandeza	P_0 (Pa)	V_0 (m ³)	t_0 (°C)	T (K)	ΔV (m ³)	ΔP (Pa)	PV (Nm)	nT (mol · K)	R ($\frac{J}{mol \cdot K}$)
1										
2										
3										
4										
5										
6										

..... Tabela 3: Resultados correspondentes ao arrefecimento do gás.

5. Responde às questões:
- 5.1 O que entendes por gás ideal?
- 5.2 Mostra que R é a constante universal dos gases perfeitos.
- 5.3 Traça o gráfico da constante universal dos gases perfeitos em função da temperatura $R(T)$ para o aquecimento e para o arrefecimento.

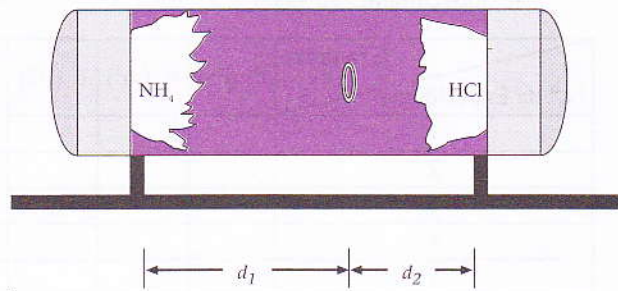
Experiência 3

Difusão de um gás

Objectivo:

- Verificar a difusão de um gás.

Materiais: Um tubo de vidro de 70 cm de comprimento e 8 mm de diâmetro; amónia; 1 mol/litro de ácido clorídrico (HCl).



..... Figura 10: Montagem da experiência.

Procedimentos:

- Coloca o tubo de vidro num suporte com escala.
- Prepara duas tampas com tamanho adequado para fechar as extremidades do tubo.
- Marca as extremidades – NH₃ e HCl – com uma caneta.
- Coloca duas porções de algodão embebidas em amónia líquida no interior do tubo de tal forma que não formem poças de solução.
- Depois de colocares as porções de algodão e de teres fechado o tubo com as tampas, acciona o cronómetro e deixa os gases difundirem ao longo do tubo.
- Verificar-se-á a formação de um anel branco; nesse instante, marca o tempo e o ponto em que se formou o anel para ambas as extremidades.

Tratamento dos resultados da experiência

1. Regista os dados na tabela abaixo e calcula a razão das velocidades de uma partícula de NH₃ e de uma partícula de HCl com base na expressão:

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{\sqrt{d_2}}{\sqrt{d_1}}$$

N.º da Experiência	d ₁ (m)	d ₂ (m)	t (s)	$\frac{\sqrt{d_2}}{\sqrt{d_1}}$
1				
2				
3				
4				
5				

2. Responde às questões:
 - 2.1 O que entendes por difusão?
 - 2.2 O cheiro das flores e o aroma da comida são um exemplo da difusão. O que condiciona a difusão?
 - 2.3 Qual é a relação entre a difusão e a temperatura?
 - 2.4 Determina o valor mais provável para a relação entre as velocidades de difusão dos gases em estudo.

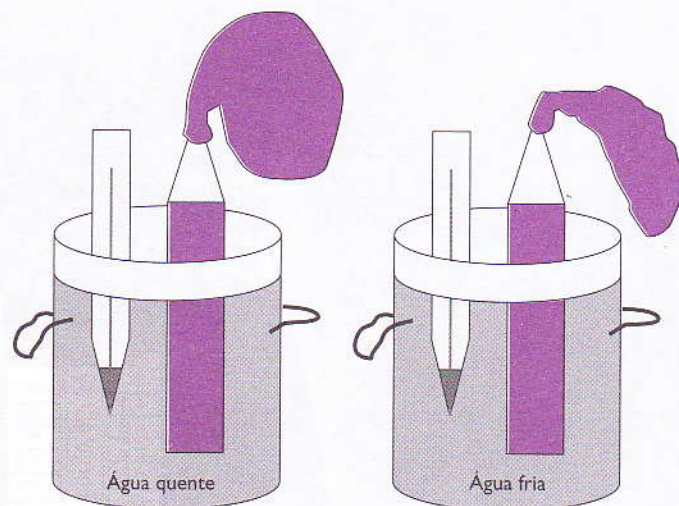
Experiência 4**Processo isobárico num sistema gasoso****Objectivo:**

- Verificar a transformação isobárica de um determinado gás.

Materiais: Dois balões de ar; duas garrafas plásticas de 5 l; duas panelas com tampa de cortiça; água quente; água fria; um cronómetro; dois termómetros.

Procedimentos:

- Na boca de cada garrafa plástica coloca a boca de um balão.
- Fura as tampas de tal forma que fiquem ajustadas às garrafas.
- Coloca água quente numa panela (aproximadamente $90\text{ }^{\circ}\text{C}$) e noutra coloca água fria com gelo.
- Introduce imediatamente uma garrafa em cada panela juntamente com as tampas e acciona o cronómetro.
- Observa a transformação gasosa que ocorre após 3 minutos.

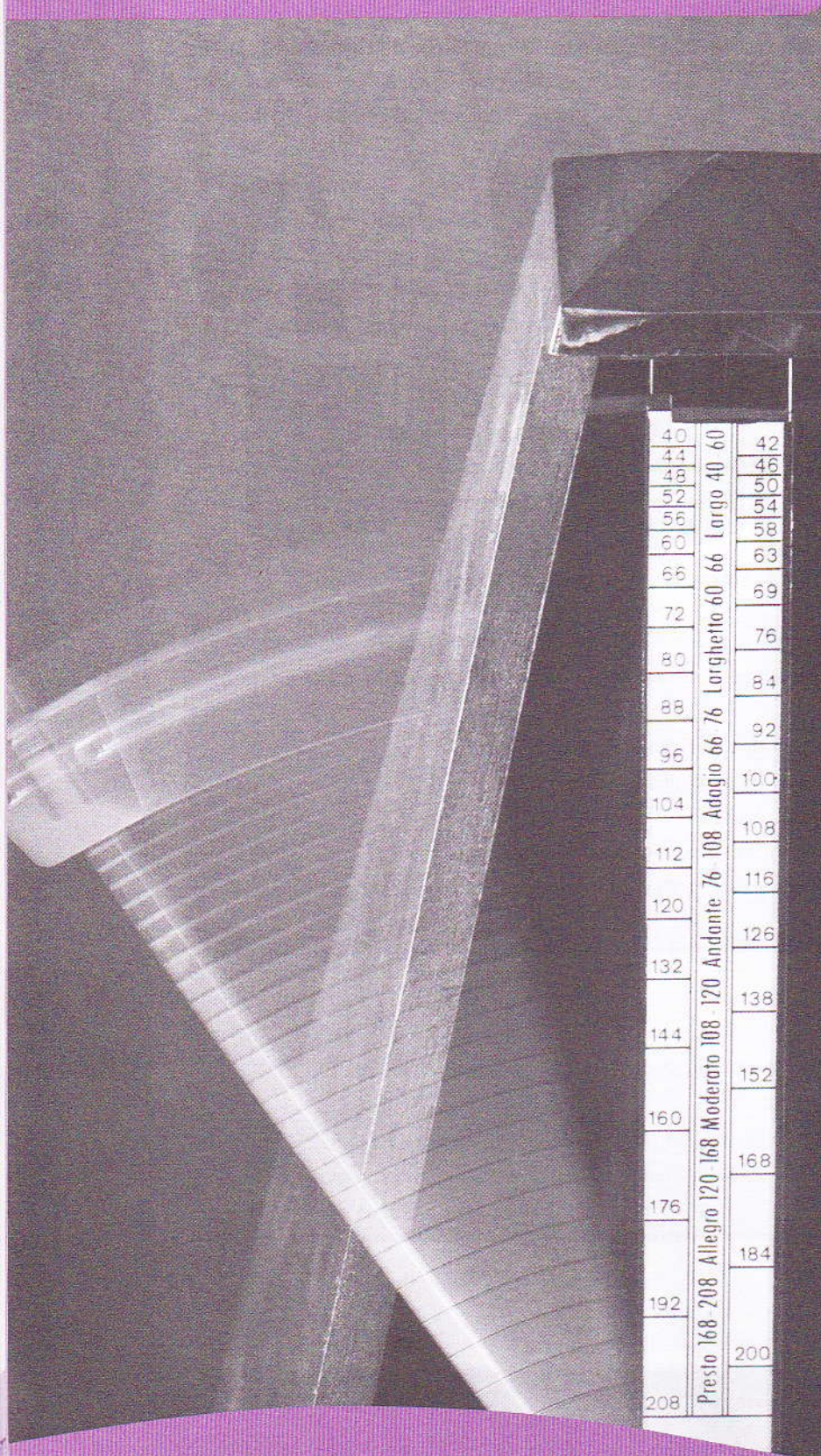


..... Figura 11: Montagem da experiência.

Tratamento dos resultados da experiência

- I. Repete o procedimento da experiência 5 vezes, anota as tuas observações e responde às questões:
 - I.1 O que acontece ao balão da garrafa mergulhada na água quente?
 - I.2 O que acontece ao balão da garrafa mergulhada na água fria?
 - I.3 O que entendes por processo isobárico?
 - I.4 Qual é a relação entre a temperatura e o volume num processo isobárico?
 - I.5 Verifica a consistência das tuas observações com a relação estabelecida por Charles e Gay-Lussac.

Oscilações mecânicas



No final desta unidade, deverás ser capaz de:

- caracterizar oscilações mecânicas;
- interpretar o gráfico da elongação em função do tempo;
- deduzir a equação da velocidade em função do tempo com base no cálculo diferencial;
- interpretar o gráfico da velocidade em função do tempo;
- deduzir a equação da aceleração em função do tempo com base no cálculo diferencial;
- interpretar o gráfico da aceleração em função do tempo;
- aplicar as equações de Thompson na resolução de exercícios concretos.

1. Características das oscilações mecânicas

No dia-a-dia, certamente já viste o movimento de vaivém de um pêndulo de relógio ou balanço de um barco (ou canoa) no mar. Estes movimentos acontecem com uma certa regularidade na Natureza, sendo um movimento efectuado em dois sentidos opostos. Estes tipos de movimentos mecânicos denominam-se oscilações mecânicas ou movimentos oscilatórios.

Oscilações mecânicas são movimentos mecânicos que sucedem repetidamente com o tempo, com uma periodicidade mais ou menos regular.

Refira-se que a trajectória percorrida por um oscilador é sempre a mesma em sentidos opostos (por exemplo, o vaivém efectuado pelo pêndulo do relógio). Os corpos que realizam oscilações chamam-se *osciladores*. Os principais osciladores mecânicos são o *pêndulo gravítico simples* e o *pêndulo elástico*. De entre os movimentos oscilatórios, o mais importante é o movimento harmónico simples porque descreve muitas oscilações encontradas na Natureza e é relativamente simples de descrever através de conceitos matemáticos.

As características de uma oscilação mecânica são:

- **Elongação (y)** – qualquer afastamento do oscilador em relação à sua posição de equilíbrio;
- **Amplitude (A)** – é o máximo afastamento do oscilador em relação à sua posição de equilíbrio;
- **Período (T)** – o tempo necessário para que o oscilador realize uma oscilação completa:

$$T = \frac{t}{n},$$

onde: T – é o período; t – é o tempo; n – é o número de oscilações.

No Sistema Internacional de Unidades, a unidade de período chama-se *segundo* (s):

$$[T] = \frac{[t]}{n} \Rightarrow [T] = \text{s (segundo)}.$$

- **Frequência (f)** – o número de oscilações realizadas na unidade de tempo, isto é, a frequência é o inverso do período:

$$f = \frac{n}{t} \Leftrightarrow f = \frac{1}{T}.$$

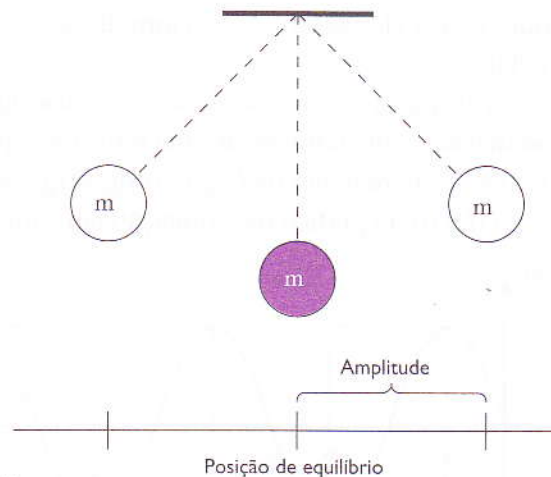
No Sistema Internacional de Unidades, a unidade de frequência chama-se *Hertz* (Hz):

$$[f] = \frac{1}{[T]} \Rightarrow [f] = \frac{1}{\text{s}} = \text{Hz (Hertz)}.$$

- **Frequência cíclica ou angular (ω)** – a rapidez com que o ângulo de fase varia durante as oscilações.

$$\omega = 2\pi f$$

A unidade de frequência cíclica ou angular é a mesma que a da frequência, isto é, Hertz (Hz).



..... Figura 1: O movimento de vaivém do pêndulo de um relógio constitui uma oscilação mecânica.

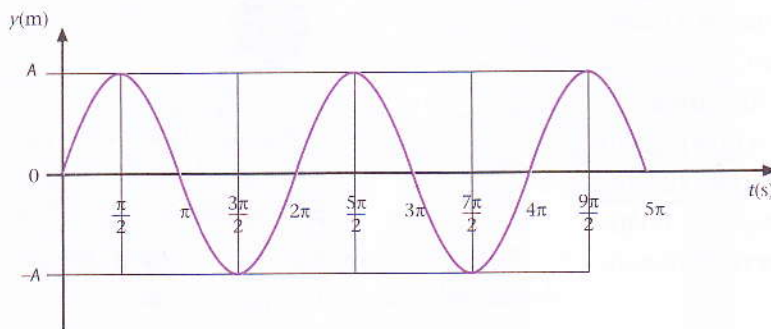
2. Equação e gráfico da elongação em função do tempo

Se um oscilador efectuar um movimento mecânico em torno da sua posição de equilíbrio, a variação da sua elongação em função do tempo é dada pela seguinte expressão matemática:

$$y(t) = A \operatorname{sen}(\omega t + \varphi_0),$$

onde: y – é a elongação; A – é a amplitude; ω – é a frequência cíclica; t – é o tempo; φ_0 – é a fase inicial.

A expressão $(\omega t + \varphi_0) = \varphi$ chama-se *fase das oscilações*. A fase determina não só o valor da coordenada como também as características específicas do sistema oscilatório. A fase das oscilações é expressa em *radianos (rad)*. Sublinhe-se que a fase inicial φ_0 é o valor da fase no instante t igual a zero ($t = 0$). O gráfico da elongação em função do tempo é dado da seguinte forma:



.... Figura 2: Gráfico da elongação em função do tempo ($y \times t$).

O movimento harmónico simples acima está descrito em termos da função seno, no entanto, também pode ser descrito pela função cosseno. A única alteração estaria numa diferença de $\frac{\pi}{2}$ na fase inicial. Como a função seno ou cosseno varia de -1 a $+1$, o deslocamento da partícula varia entre $-A$ e $+A$. O deslocamento máximo ou a elongação máxima, A , em relação à posição de equilíbrio, é a amplitude do movimento harmónico simples. As funções seno e cosseno repetem-se cada vez que o ângulo aumenta 2π , daí a periodicidade do movimento com período igual a $\frac{2\pi}{\omega}$. A frequência, f , é igual ao número de oscilações completas, por unidade de tempo, e relaciona-se com a frequência angular, ω , pela equação, $\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$.

3. Equação e gráfico da velocidade em função do tempo

A equação da velocidade em função do tempo descreve como a velocidade varia em função do tempo. Podemos escrever a expressão da velocidade de um oscilador em função do tempo derivando a expressão da elongação em função do tempo.

Do cálculo da derivada de uma função sabe-se que:

$$x' = 1; c' = 0 \ (c = \text{const}); (5x)' = 5; (\operatorname{sen}x)' = \operatorname{cos}x; (\operatorname{cos}x)' = -\operatorname{sen}x.$$

Assim, apliquemos o cálculo da derivada da função $y(t)$ para encontrar a expressão da velocidade $v(t)$:

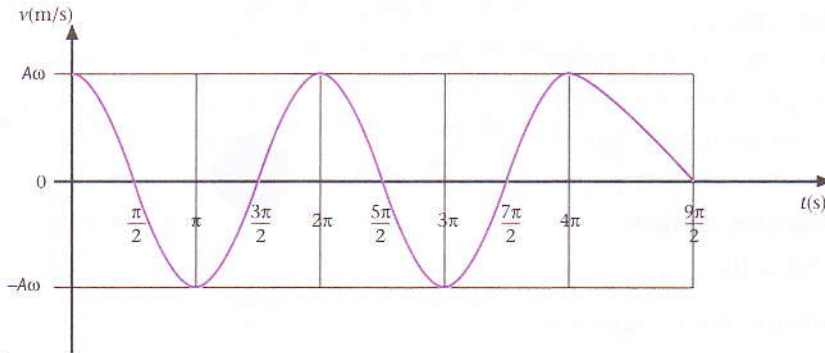
$$\begin{aligned} v(t) &= \frac{dy(t)}{dt} \Rightarrow v(t) = \frac{d[A \operatorname{sen}(\omega t + \varphi_0)]}{dt} = A \operatorname{cos}(\omega t + \varphi_0) \cdot (\omega t + \varphi_0)' \\ v(t) &= A \operatorname{cos}(\omega t + \varphi_0) \cdot (\omega \cdot 1 + 0) = A\omega \operatorname{cos}(\omega t + \varphi_0) \end{aligned}$$

Assim, escrevemos a expressão da velocidade de um oscilador pela equação:

$$v(t) = A\omega \cos(\omega t + \varphi_0)$$

Da análise da equação, verificamos que o valor máximo é atingido quando o cosseno assume valor igual à unidade. Isto acontece para $\omega t + \varphi_0 = 0$. Nestas condições, $v(t) = A\omega$. Sublinhe-se, então, que o produto $A\omega = v_{\text{máx}}$ denomina-se *velocidade máxima do oscilador*.

O gráfico da velocidade em função do tempo é dado da seguinte forma:



..... Figura 3: Gráfico da velocidade em função do tempo ($v \times t$).

3.1 Equação e gráfico da aceleração em função do tempo

A equação da aceleração em função do tempo descreve a variação da aceleração do oscilador em função do tempo. À semelhança do procedimento para encontrar a equação da velocidade em função do tempo vamos derivar a equação da velocidade:

$$a(t) = \frac{dv(t)}{dt} \Rightarrow v(t) = \frac{d[A\omega \cos(\omega t + \varphi_0)]}{dt} = -A\omega \text{sen}(\omega t + \varphi_0) \cdot (\omega t + \varphi_0)'$$

$$a(t) = -A\omega \text{sen}(\omega t + \varphi_0) \cdot (\omega \cdot 1 + 0) = -A\omega^2 \text{sen}(\omega t + \varphi_0)$$

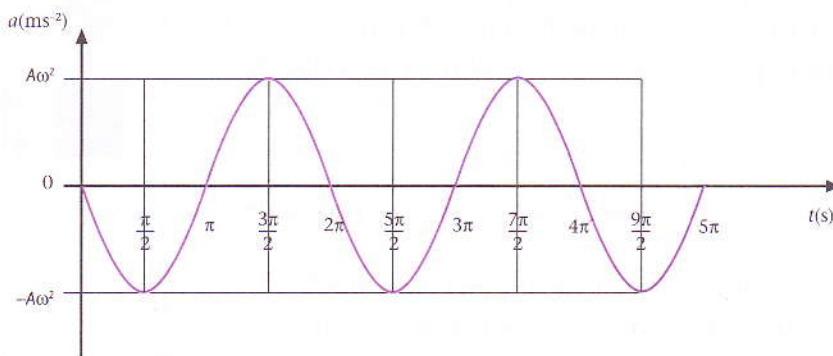
Assim, escrevemos a expressão da aceleração de um oscilador pela equação:

$$a(t) = -A\omega^2 \text{sen}(\omega t + \varphi_0).$$

Sendo $y(t) = A \text{sen}(\omega t + \varphi_0)$, temos que $a(t) = -\omega^2 \cdot y$, o que indica que a aceleração é sempre proporcional e de sentido oposto ao deslocamento.

Tendo em conta que a elongação máxima de um movimento harmónico simples é dado pela amplitude, A , o produto $A\omega^2 = a_{\text{máx}}$ denomina-se *aceleração máxima do oscilador*.

O gráfico da aceleração em função do tempo é dado da seguinte forma:



..... Figura 4: Gráfico da aceleração em função do tempo ($a \times t$).

4. Equações de Thompson

Agora vamos calcular o período de oscilação dos principais osciladores mecânicos, nomeadamente o pêndulo gravítico simples e o pêndulo elástico, usando as equações de Thompson.

O pêndulo gravítico simples é constituído por uma pequena partícula de massa m suspensa por um fio inextensível de comprimento l e de massa desprezável preso noutra extremidade (figura 5).

Para efectuar uma oscilação completa o oscilador deverá, por exemplo, sair de A, passar por B e atingir C, passar novamente por B e retornar ao ponto A. Repare-se que, para sair de A e retornar a esse ponto, o oscilador percorre quatro estágios, a saber:

$$\overline{AB} \rightarrow \overline{BC} \rightarrow \overline{CB} \rightarrow \overline{BA}.$$

O tempo para percorrer cada um dos estágios é o mesmo.

Assim, podemos escrever o período de uma oscilação completa de modo: $T = 4t_{AB}$.

Experimentalmente, é possível mostrar que o período das oscilações de um pêndulo gravítico simples não varia com a amplitude do movimento nem com a massa do pêndulo. A equação de Thompson para o período das oscilações de um pêndulo gravítico simples está expressa na forma:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}},$$

onde: T – é o período; l – é o comprimento do pêndulo; g – é a aceleração de gravidade ($g = 9,81 \frac{m}{s^2}$).

Repare-se que, da equação de Thompson para o período das oscilações de um pêndulo gravítico simples, a frequência cíclica toma a forma:

$$\omega = \sqrt{\frac{g}{l}}, \text{ dado que } \omega = \frac{2\pi}{T}.$$

O pêndulo elástico é constituído por uma pequena partícula de massa m ligada a uma mola elástica de constante elástica K , sendo a mola presa noutra extremidade (figura 6).

Por analogia com a análise feita para o pêndulo simples, escrevemos, com base na figura, a expressão de cálculo do período de modo: $T = 4t_{AB}$.

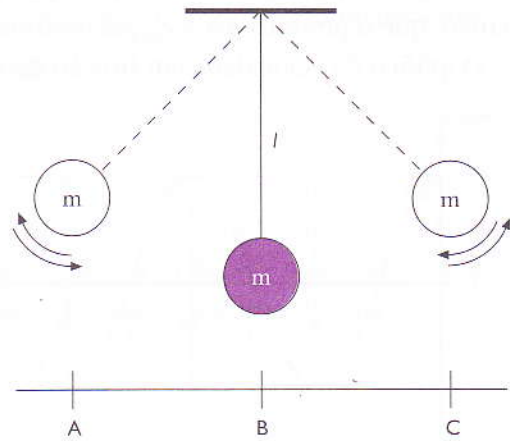
A equação de Thompson para o período das oscilações de uma mola elástica está expressa na forma:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{K}},$$

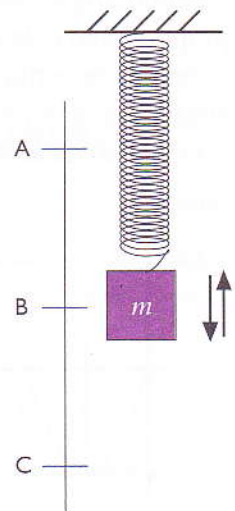
onde: T – é o período; m – é a massa do corpo suspenso; K – é a constante elástica da mola.

A frequência cíclica para o período das oscilações de uma mola elástica de constante elástica K , partindo da equação de Thompson, toma a forma:

$$\omega = \sqrt{\frac{K}{m}}.$$



..... Figura 5: Pêndulo gravítico simples.



..... Figura 6: Pêndulo elástico.

Conceitos básicos

- Oscilador:** qualquer corpo que realiza oscilações. A trajectória percorrida por um oscilador é sempre a mesma, mas em sentidos opostos.
- Oscilações mecânicas:** movimentos mecânicos que sucedem repetidamente com o tempo com uma periodicidade mais ou menos regular.
 - Características de uma oscilação:**
 - Elongação (y) – qualquer afastamento do oscilador da sua posição de equilíbrio.
 - Amplitude (A) – elongação máxima do oscilador da sua posição de equilíbrio.
 - Período (T) – tempo t necessário para que o oscilador realize uma oscilação completa: $T = \frac{t}{n}$, onde: n – é o número de oscilações. No Sistema Internacional de Unidades, a unidade de período chama-se *segundo* (s): $[T] = \frac{[t]}{n} \Rightarrow [T] = \text{s}$ (segundo).
 - Frequência (f):** é o inverso do período: $f = \frac{n}{t} \Leftrightarrow f = \frac{1}{T}$. No Sistema Internacional de Unidades, a unidade de frequência chama-se *Hertz* (Hz): $[f] = \frac{1}{[T]} \Rightarrow [f] = \frac{1}{\text{s}} = \text{Hz}$ (Hertz).
 - Frequência cíclica ou angular (ω):** rapidez com que o ângulo de fase varia durante as oscilações: $\omega = 2\pi f$. A unidade de frequência cíclica ou angular é Hertz (Hz).
- Equação da elongação em função do tempo:** $y(t) = A \sin(\omega t + \varphi_0)$; onde: y – é a elongação; A – é a amplitude; ω – é a frequência cíclica; t – é o tempo; φ_0 – é a fase inicial.
- Fase das oscilações:** $\varphi = \omega t + \varphi_0$. A fase determina não só o valor da coordenada, como também as características específicas do sistema oscilatório. É expressa em *radianos* (rad). A fase inicial φ_0 é o valor da fase no instante t igual a zero ($t = 0$).
- Equação da velocidade em função do tempo:** $v(t) = A\omega \cos(\omega t + \varphi_0)$, onde: $v_{\text{máx}} = A\omega$
 - Equação da aceleração em função do tempo:** $a(t) = -A\omega^2 \sin(\omega t + \varphi_0)$, onde: $a_{\text{máx}} = A\omega^2$.
- Equações de Thompson para um pêndulo gravítico simples:** $T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$, onde: T – é o período; l – é o comprimento do pêndulo; g – é a aceleração de gravidade ($g = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$); $\omega = \sqrt{\frac{g}{l}}$
- Equações de Thompson para uma mola elástica:** $T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{K}}$, onde: T – é o período; m – é a massa do corpo suspenso; K – é a constante elástica da mola; $\omega = \sqrt{\frac{K}{m}}$.

Exercícios resolvidos

1. Um oscilador efectua as suas oscilações segundo a equação $y(t) = 0,6 \sin\left(\frac{\pi}{4}t + \frac{\pi}{10}\right)$ em unidades do Sistema Internacional.

- 1.1 Indica a amplitude, o período e a fase inicial.

Resposta:

$$A = 0,6 \text{ m}$$

$$\varphi_0 = \frac{\pi}{10}$$

$$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T} \Rightarrow T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{\frac{\pi}{4} \text{ Hz}} \Leftrightarrow T = 8 \text{ s}$$

- 1.2 Escreve a equação da velocidade e a da aceleração em função do tempo.

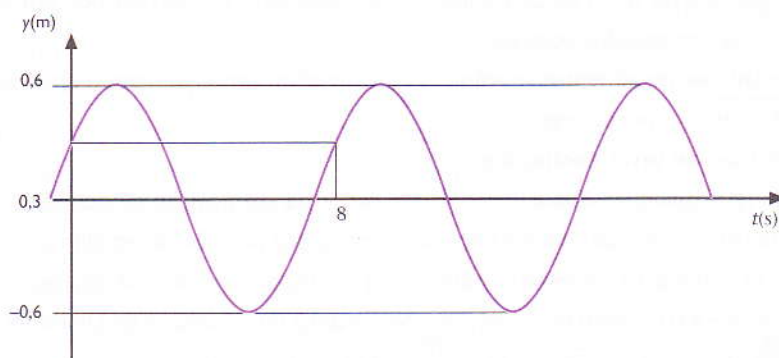
Resposta:

$$v(t) = \frac{0,6\pi}{4} \cos\left(\frac{\pi}{4}t + \frac{\pi}{10}\right)$$

$$a(t) = -\frac{0,6\pi^2}{16} \sin\left(\frac{\pi}{4}t + \frac{\pi}{10}\right)$$

1.3 Representa graficamente a elongação em função do tempo.

Resposta:



2. Um corpo de massa 80 g suspenso numa mola elástica oscila com uma frequência de 4 Hz. Qual é a constante elástica da mola?

Dados

$$m = 80 \text{ g} = 80 \times 10^{-3} \text{ kg}$$

$$f = 4 \text{ Hz}$$

$$K = ?$$

Resolução

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{K}} \Rightarrow T^2 = 4\pi^2 \frac{m}{K} \Rightarrow K = 4\pi^2 \frac{m}{T^2}$$

$$\frac{1}{T} = f$$

$$K = 4\pi^2 m f^2 = 4\pi^2 \cdot 80 \times 10^{-3} \text{ kg} \cdot (4 \text{ Hz})^2$$

$$K = 50,48 \text{ N/m}$$

Resposta: A constante elástica da mola é de 50,48 N/m.

Exercícios não resolvidos

I. Assinala, com X, a opção correcta.

I.1 Um movimento de vaivém efectuado por um determinado corpo é necessariamente:

- a) uma oscilação.
- b) um movimento uniforme.
- c) um movimento circular uniforme.
- d) nenhuma das opções está correcta.

I.2 A trajectória percorrida por um oscilador mecânico durante o seu vaivém:

- a) é sempre uma linha recta.
- b) é sempre uma linha parabólica.
- c) é uma linha recta vertical.
- d) nenhuma das opções está correcta.

I.3 Cada ponto da trajectória atingido pelo oscilador durante o seu movimento oscilatório chama-se:

- a) amplitude.
- b) amplitude máxima.
- c) elongação.
- d) elongação máxima.

I.4 O período das oscilações de um oscilador mecânico:

- a) é o número de oscilações realizadas na unidade de tempo.
- b) corresponde a uma oscilação realizada na unidade de tempo.
- c) é o tempo necessário para se efectuar uma oscilação.
- d) depende da amplitude.

1.5 Um oscilador efectua as suas oscilações segundo a equação $y(t) = 0,7\text{sen}\left(\frac{\pi}{4}t + \frac{\pi}{12}\right)$ em unidades do Sistema Internacional.

1.5.1 A amplitude, o período e a fase inicial são, respectivamente:

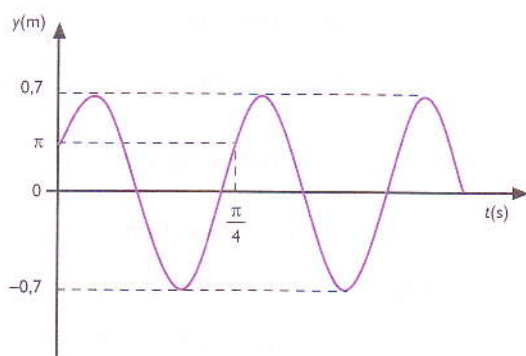
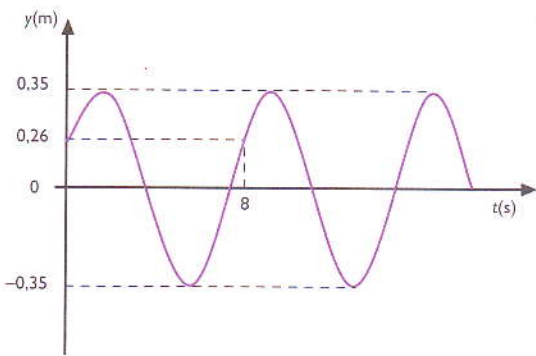
- a) $0,7\text{ m}; \frac{1}{8}\text{ s}; \frac{\pi}{12}$
- b) $0,7\text{ m}; 8\text{ s}; \frac{\pi}{12}$
- c) $0,7\text{ m}; 8\text{ s}; \frac{\pi}{4}$
- d) $0,7\text{ m}; 8\text{ s}; \frac{\pi}{4}$

1.5.2 A equação da velocidade e a da aceleração em função do tempo são:

- a) $v(t) = 0,7\text{cos}\left(\frac{\pi}{4}t + \frac{\pi}{12}\right)$ e $a(t) = -\frac{0,7\pi^2}{16}\text{sen}\left(\frac{\pi}{4}t + \frac{\pi}{12}\right)$
- b) $v(t) = \frac{0,7\pi}{4}\text{cos}(8t + \frac{\pi}{12})$ e $a(t) = -\frac{0,7\pi^2}{16}\text{sen}\left(\frac{\pi}{4}t + \frac{\pi}{12}\right)$
- c) $v(t) = \frac{0,7\pi}{4}\text{cos}\left(\frac{\pi}{4}t + \frac{\pi}{12}\right)$ e $a(t) = -\frac{0,7\pi^2}{16}\text{sen}\left(\frac{\pi}{4}t + \frac{\pi}{12}\right)$
- d) $v(t) = \frac{\pi}{4}\text{cos}(8t + \frac{\pi}{12})$ e $a(t) = -\frac{0,7\pi^2}{16}\text{sen}\left(\frac{\pi}{4}t + \frac{\pi}{12}\right)$

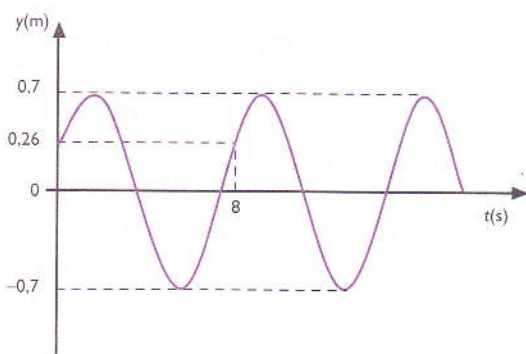
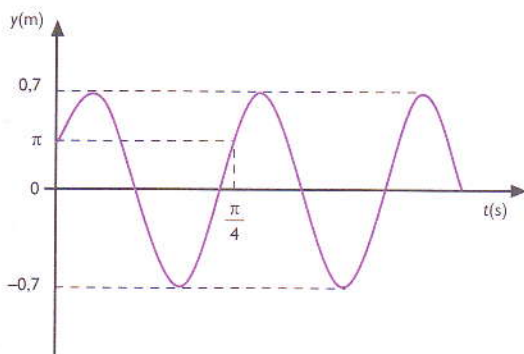
1.5.3 O gráfico que representa a elongação em função do tempo é:

- a) b)



- c)

- d)



1.6 Um corpo de massa 10 g suspenso numa mola elástica oscila com uma frequência de 5 Hz. A constante elástica da mola é:

- a) 9,86 N/m
- b) $3,94 \times 10^3$ N/m
- c) 0,39 N/m
- d) 1,57 N/m

1.7 A distância entre dois pontos extremos atingidos por um oscilador mecânico é $\overline{AB} = 40$ cm. Sabendo que, para percorrer essa distância, o oscilador gasta 1 segundo e tendo em conta que a fase inicial é $\frac{\pi}{2}$, a equação da velocidade em função do tempo será:

- a) $v(t) = \frac{\pi}{5} \cos\left(\frac{\pi}{2}t + \frac{\pi}{2}\right)$
- b) $v(t) = \frac{2\pi}{5} \cos(\pi t + \frac{\pi}{2})$
- c) $v(t) = \frac{\pi}{5} \cos(\pi t + \frac{\pi}{2})$
- d) $v(t) = \frac{\pi}{2} \cos(\pi t + \frac{\pi}{2})$

1.8 Um corpo oscila segundo a equação $y(t) = 6\text{sen}(3\pi t + \frac{\pi}{3})$ em unidades do Sistema Internacional. Decorridos 2 s:

1.8.1 A equação da velocidade é:

- a) $v(t) = 18\pi \cos(3\pi t + \frac{\pi}{3})$
- b) $v(t) = 18\pi \text{sen}(3\pi t + \frac{\pi}{3})$
- c) $v(t) = 6\cos(3\pi t + \frac{\pi}{3})$
- d) $v(t) = 6\text{sen}(3\pi t + \frac{\pi}{3})$

1.8.2 A equação da aceleração é:

- a) $a(t) = -54\pi^2 \text{sen}(6\pi t + \frac{\pi}{6})$
- b) $a(t) = -54\pi^2 \cos(6\pi t + \frac{\pi}{6})$
- c) $a(t) = -54\pi^2 \text{sen}(3\pi t + \frac{\pi}{3})$
- d) $a(t) = -54\pi^2 \cos(3\pi t + \frac{\pi}{3})$

1.8.3 A fase inicial é:

- a) $\varphi_0 = \frac{\pi}{6}$
- b) $\varphi_0 = \frac{\pi}{3}$
- c) $\varphi_0 = -\frac{\pi}{6}$
- d) $\varphi_0 = -\frac{\pi}{3}$

1.8.4 A frequência é:

a) $f = \frac{1}{2\pi}$ Hz

b) $f = \frac{3}{2\pi}$ Hz

c) $f = \frac{2}{3}$ Hz

d) $f = \frac{2}{3\pi}$ Hz

1.8.5 A frequência cíclica é:

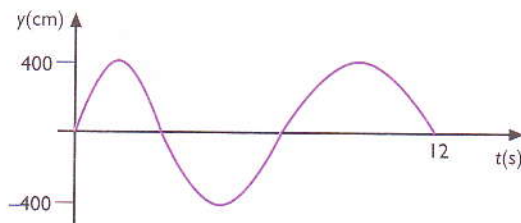
a) $\omega = 3\pi$ Hz

b) $\omega = \frac{1}{3\pi}$ Hz

c) $\omega = \frac{3}{2\pi}$ Hz

d) $\omega = \frac{2}{3\pi}$ Hz

1.9 Dado o gráfico abaixo, a equação da velocidade em função do tempo é:



a) $v(t) = 400\cos\left(\frac{\pi}{4}t\right)$

b) $v(t) = 100\pi\cos\left(\frac{\pi}{4}t\right)$

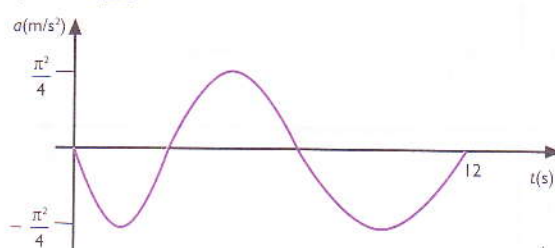
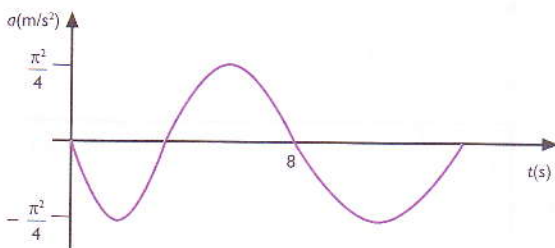
c) $v(t) = 4\cos\left(\frac{\pi}{4}t\right)$

d) $v(t) = \pi\cos\left(\frac{\pi}{4}t\right)$

1.10 Relativamente ao exercício anterior, o gráfico da aceleração em função do tempo é:

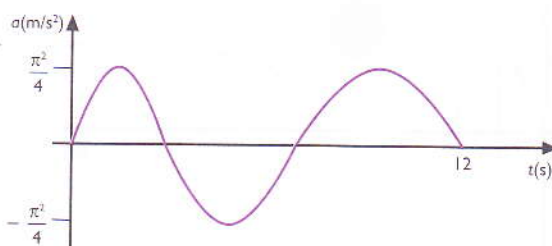
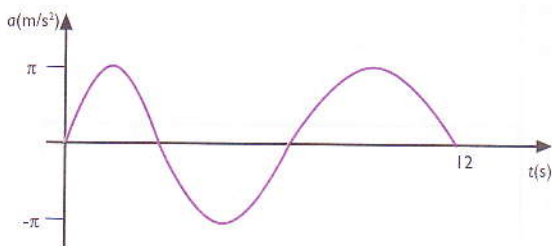
a)

c)

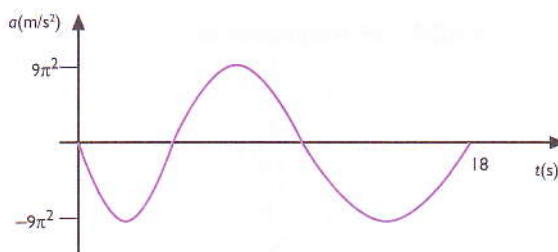


b)

d)



I.11 A partir do gráfico da aceleração em função do tempo representado à direita.



I.11.1 A equação da velocidade em função do tempo é:

- a) $v(t) = 9\pi^2 \cos\left(\frac{\pi}{6} t\right)$
- b) $v(t) = 9\pi^2 \cos\left(\frac{\pi}{12} t\right)$
- c) $v(t) = 324 \cos\left(\frac{\pi}{12} t\right)$
- d) $v(t) = 54\pi \cos\left(\frac{\pi}{6} t\right)$

I.11.2 A equação da elongação em função do tempo é:

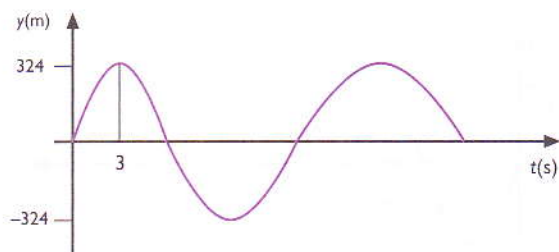
- a) $y(t) = 3\pi \sin\left(\frac{\pi}{6} t\right)$
- b) $y(t) = 324 \sin\left(\frac{\pi}{6} t\right)$
- c) $y(t) = 3\pi \sin\left(\frac{\pi}{18} t\right)$
- d) $y(t) = 324 \sin\left(\frac{\pi}{18} t\right)$

I.11.3 O valor da fase inicial é:

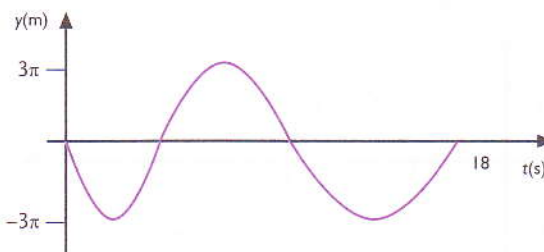
- a) 0 rad
- b) $\frac{\pi}{6}$ rad
- c) $\frac{\pi}{12}$ rad
- d) $\frac{\pi}{18}$ rad

I.11.4 O gráfico da elongação em função do tempo é:

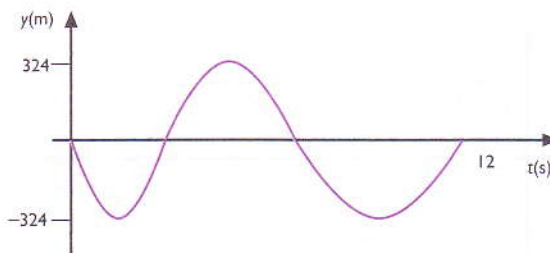
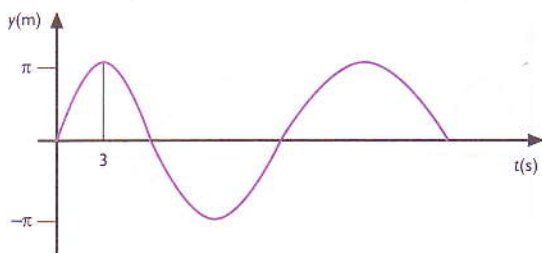
- a)
- c)



- b)



- d)



1.12 Um pêndulo gravítico simples de 20 cm de comprimento está em movimento. O intervalo de tempo em que passa pelo seu ponto de equilíbrio é:

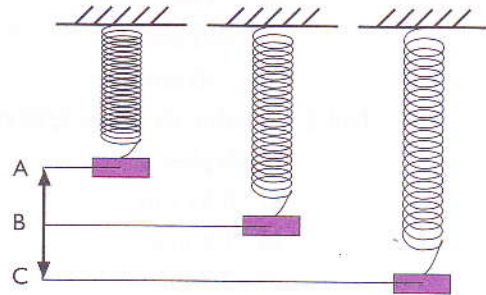
(Usa $g = 9,81 \text{ m/s}^2$.)

- a) 10 s
- b) 8,97 s
- c) 0,89 s
- d) 0,22 s

1.13 O pêndulo da figura ao lado realiza oscilações, gastando 0,25 s ao mover-se de A para B. A distância \overline{AC} é de 5 cm.

1.13.1 A amplitude do movimento é:

- a) 5 cm
- b) 2,5 cm
- c) 0,25 cm
- d) 0,05 cm



1.13.2 O período do movimento é:

- a) 0,44 s
- b) 1,003 s
- c) 1 s
- d) 3,17 s

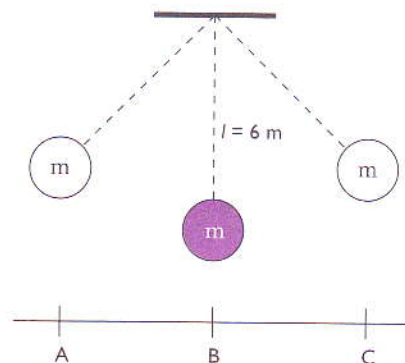
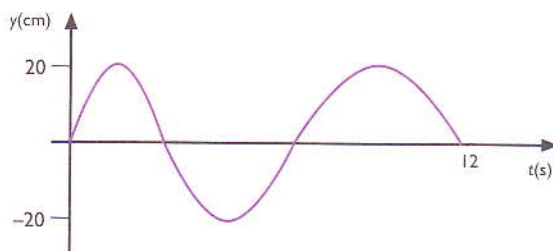
1.13.3 O número de oscilações completas que o pêndulo realiza em 10 s é:

- a) 10
- b) 3
- c) 23
- d) 1

1.13.4 A constante elástica da mola se a massa do oscilador for de 112 g é:

- a) 4,42 N/m
- b) 22,8 N/m
- c) 0,43 N/m
- d) 4,39 N/m

1.14 Considera os dois gráficos abaixo apresentados. O gráfico à esquerda representa as oscilações realizadas pelo pêndulo à direita.



- I.14.1 O período das oscilações realizadas pelo pêndulo é:
- a) 20 s
 - b) 12 s
 - c) 8 s
 - d) 6 s
- I.14.2 O valor da distância \overline{AB} é:
- a) 40 cm
 - b) 20 cm
 - c) -20 cm
 - d) -40 cm
- I.14.3 O valor da aceleração de gravidade do local onde o pêndulo realizou as suas oscilações é:
- a) 0,59 m/s²
 - b) 1,6 m/s²
 - c) 3,7 m/s²
 - d) 6,5 m/s²
- I.15 O período de oscilação de um pêndulo de 9,81 m de comprimento é de (usa $g = 9,81 \text{ m/s}^2$):
- a) 6,28 s
 - b) 9,81 s
 - c) 39,4 s
 - d) 2,5 s
- I.16 O comprimento de um pêndulo cujo período é de 3 s é (usa $g = 9,81 \text{ m/s}^2$):
- a) 2,24 m
 - b) 0,05 m
 - c) 0,02 m
 - d) 43,03 m

Vamos experimentar...

Experiência 1

Pêndulo simples e determinação da aceleração da gravidade

Objectivos:

- Determinar a aceleração da gravidade mediante o estudo do movimento de um pêndulo simples.
- Verificar a independência do período das oscilações de um pêndulo simples da amplitude.

Material: Um pêndulo simples; um cronómetro (usa um cronómetro digital de um relógio electrónico ou de um telemóvel); uma régua.

Procedimentos:

- Para esta experiência os alunos devem organizar-se em grupos de, no mínimo, três alunos.
- Mede o comprimento do pêndulo e regista o valor numa tabela.
- Com o oscilador disposto na posição de equilíbrio, coloca debaixo deste o zero da régua.
- Mantendo a régua nessa posição, afasta o oscilador até uma amplitude de 20 cm, lida horizontalmente na régua.
- Larga o oscilador e verifica, com o auxílio do cronómetro, o tempo que leva para atingir novamente o ponto em que foi largado.
- Repete este procedimento cinco vezes.
- Agora faz o procedimento anteriormente descrito para as amplitudes de 30 cm, 40 cm, 50 cm e 60 cm e regista todos os valores das leituras numa tabela como a Tabela I.

N.º da Experiência	A (m)	t (s)	\bar{t} (s)	n	T (s)	l (m)	g (m/s ²)
1	20 cm	t ₁		5			
		t ₂					
		t ₃					
		t ₄					
		t ₅					
2	30 cm	t ₁		5			
		t ₂					
		t ₃					
		t ₄					
		t ₅					
3	40 cm	t ₁		5			
		t ₂					
		t ₃					
		t ₄					
		t ₅					
4	50 cm	t ₁		5			
		t ₂					
		t ₃					
		t ₄					
		t ₅					

N.º da Experiência	A (m)	t (s)	\bar{t} (s)	n	T (s)	l (m)	g (m/s ²)
5	60 cm	t ₁		5			
		t ₂					
		t ₃					
		t ₄					
		t ₅					

..... Tabela 1: Tabela para o preenchimento das leituras e tratamento dos resultados da experiência.

Tratamento dos resultados da experiência

- Para o primeiro valor da amplitude, calcula o período usando o valor médio de cinco medições do tempo: $T = \frac{t}{n}$, onde $\bar{t} = (t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5) / 5$.
 1.1 Repete este cálculo do período para os restantes valores da amplitude.
- Calcula, para cada valor da amplitude, o valor da aceleração de gravidade g e indica estes valores na tabela.
- Existe alguma dependência entre a amplitude e o período das oscilações?

Experiência 2

Dependência do período das oscilações de um pêndulo gravítico simples do comprimento

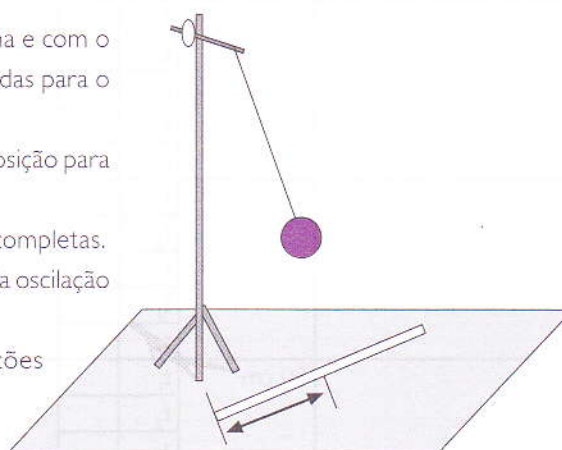
Objectivo:

- Verificar a dependência do período das oscilações de um pêndulo gravítico simples do seu comprimento.

Materiais: Uma pequena bola esférica; cinco fios de algodão ou de sisal de diferentes comprimentos (20 cm, 30 cm, 40 cm, 50 cm e 60 cm) ou um fio comprido variando o seu comprimento para os valores indicados; um cronómetro (usa um cronómetro digital de um relógio electrónico ou de um telemóvel); uma régua de 60 cm; um suporte universal.

Procedimentos:

- Monta um pêndulo com a pequena bola, com a linha e com o suporte universal de acordo com as medidas indicadas para o comprimento do pêndulo.
- Depois, coloca a pequena bola numa determinada posição para uma amplitude de 50 cm.
- Larga a pequena bola e conta até cinco oscilações completas.
- Com um cronómetro, regista o tempo gasto em cada oscilação completa.
- Repete este procedimento para cinco oscilações completas.



..... Figura 6: Montagem da experiência.

Tratamento dos resultados da experiência

1. Regista o tempo de cada oscilação completa numa tabela como a que se segue (que deves copiar e ampliar, acrescentando linhas para cada uma das experiências/amplitudes, à semelhança da tabela apresentada na experiência 1) e repete o procedimento descrito para os restantes comprimentos do pêndulo.

N.º da Experiência	A (cm)	l (cm)	t (s)	\bar{t} (s)	n	T (s)	l (m)	g (m/s ²)
1	50	20	t ₁		5			9,81
			t ₂					
			t ₃					
			t ₄					
			t ₅					

2. Responde às questões:
- 2.1 Há variação no período de oscilação de um pêndulo gravítico simples dependendo do seu comprimento?
 - 2.2 Qual é a dependência entre o período de oscilação de um pêndulo gravítico simples e o seu comprimento?
 - 2.3 Se esta experiência fosse realizada na Lua, onde a aceleração de gravidade é $g = 1,6 \text{ m/s}^2$, os valores do período aumentariam ou diminuiriam?
 - 2.4 Com base nos resultados obtidos, calcula a frequência e diz qual é a dependência que a frequência tem do comprimento do pêndulo.

Experiência 3**Determinação da constante elástica e do período das oscilações de um pêndulo elástico****Objectivos:**

- Determinar a constante elástica de uma mola elástica.
- Verificar a dependência do período das oscilações de um pêndulo elástico da massa.
- Representar o gráfico da força elástica de uma mola em função da deformação sofrida por esta.

Materiais: Uma mola helicoidal; 5 corpos de massas $m_1 < m_2 < m_3 < m_4 < m_5$; um suporte universal; uma régua; um cronómetro; uma balança.

Procedimentos:

- Suspende a mola helicoidal no suporte universal e marca nele a posição de equilíbrio da mola (corresponde à extremidade inferior da mola).
- Mede, com o auxílio da balança, a massa de cada um dos cinco corpos e, a seguir, suspende o corpo de massa m_1 na extremidade livre da mola helicoidal.
- A partir da posição de equilíbrio, mede até à extremidade inferior alcançada pelo corpo de massa m_1 .

- Regista o valor medido que corresponde à deformação da mola x . Refira-se que o corpo de massa m_1 irá imprimir uma força peso sobre a mola dada pela expressão $P_1 = m_1 \cdot g$, que é equilibrada pela força elástica da mola segundo a lei de Hooke decorrente de $F_1 = Kx_1$. Sabe-se que no equilíbrio do pêndulo elástico é válida a igualdade: $m_1 \cdot g = Kx_1$ e, a partir desta vem que $K = m_1 \cdot g / x_1$. A partir desta expressão calcula e anota o valor da constante elástica da mola numa tabela como a apresentada no tratamento dos resultados da experiência.
- Agora, puxa o corpo do pêndulo até um determinado valor correspondente à elongação (deformação) máxima da mola $x_{máx} = A$; larga o corpo e imediatamente acciona o cronómetro.
- Conta até cinco oscilações completas, anota o número de oscilações, o tempo para uma oscilação completa bem como o valor da elongação máxima na tabela.
- Repete este procedimento para os cinco corpos de massa diferente e o mesmo valor da elongação máxima ($x_{máx} = A = const.$)

Tratamento dos resultados da experiência

1. Repete o procedimento acima descrito para os restantes corpos e anota os resultados.

N.º da Experiência	m (kg)	A (m)	x (m)	t (s)	\bar{t} (s)	n	T (s)	F (N)	g (m/s ²)
1	50	20		t_1		5			9,81
				t_2					
				t_3					
				t_4					
				t_5					

2. Calcula o valor do período T com base na expressão: $T = \frac{\bar{t}}{n}$.
3. Responde às questões abaixo:
 - 3.1 Qual é o conteúdo da Lei de Hooke?
 - 3.2 O que representa a constante elástica de uma mola elástica?
 - 3.3 O que entendes por deformação de uma mola elástica?
 - 3.4 Qual é a dependência entre a massa e o período de uma mola elástica?
4. Representa o gráfico da força elástica da mola em função da deformação.

Soluções

Unidade 1

Páginas 20 – 22

- I. 1.1 c); 1.2 b); 1.3 a); 1.4 b); 1.5 a);
1.6 b); 1.7 a); 1.8 a); 1.9 c); 1.10 a);
1.11 d); 1.12 c); 1.13 a); 1.14 c); 1.15 b);
1.16 a); 1.17 a); 1.18 b); 1.19 a).

Páginas 36 – 42

- I. 1.1 d); 1.2 b); 1.3 c); 1.4 b); 1.5 d);
1.6 d); 1.7 b); 1.8 b); 1.9 a); 1.10 c);
1.11 c); 1.12 d); 1.13 b); 1.14 b); 1.15 d);
1.16 a); 1.17 b); 1.18 1.18.1 a); 1.18.2 d);
1.19 d); 1.20 a); 1.21 a); 1.22 c); 1.23 d);
1.24 b); 1.25 a); 1.26 d); 1.27 c); 1.28 a);
1.29 a); 1.30 c); 1.31 c); 1.32 b); 1.33 d);
1.34 1.34.1 a); 1.34.2 a); 1.35 1.35.1 b);
1.35.2 a) 1.35.3 a); 1.36 b); 1.37 a);
1.38 b); 1.39 a).

Unidade 2

Páginas 66 – 72

- I. 1.1 c); 1.2 d); 1.3 b); 1.4 c); 1.5 d);
1.6 a); 1.7 c); 1.8 c); 1.9 b); 1.10 b);
1.11 c); 1.12 c); 1.13 b); 1.14 d); 1.15 c);
1.16 a); 1.17 c); 1.18 a); 1.19 a); 1.20 a);
1.21 a); 1.22 c); 1.23 d); 1.24 b);
1.25 1.25.1 b); 1.25.2 d); 1.25.3 c);
1.26 b); 1.27 d); 1.28 a); 1.29 c);
1.30 a); 1.31 c); 1.32 c); 1.33 c);
1.34 a); 1.35 a); 1.36 c); 1.37 d); 1.38 c).

Unidade 3

Páginas 89 – 96

- I. 1.1 c); 1.2 b); 1.3 c); 1.4 a); 1.5 c);
1.6 c); 1.7 d); 1.8 c); 1.9 b); 1.10 d);
1.11 c); 1.12 d); 1.13 a); 1.14 d); 1.15 b);
1.16 a); 1.17 c); 1.18 c); 1.19 c); 1.20 b);

- 1.21 b); 1.22 d); 1.23 a); 1.24 c); 1.25 d);
1.26 b); 1.27 d); 1.28 c); 1.29 a); 1.30 b);
1.31 d); 1.32 c); 1.33 b); 1.34 c); 1.35 d);
1.36 b); 1.37 a); 1.38 b); 1.39 b), a) e c); 1.40 a);
1.41 c); 1.42 1.42.1 a); 1.42.2 b); 1.42.3 b);
1.43 c); 1.44 a); 1.45 a).

Unidade 4

Páginas 107 – 111

- I. 1.1 a); 1.2 b); 1.3 a); 1.4 b); 1.5 c); 1.6 c);
1.7 c); 1.8 c); 1.9 a); 1.10 b); 1.11 d); 1.12 d);
1.13 a); 1.14 b); 1.15 a); 1.16 a); 1.17 b); 1.18 b);
1.19 c); 1.20 b); 1.21 c); 1.22 b); 1.22.1 a);
1.22.2 c); 1.23 1.23.1 d); 1.23.2 a); 1.23.3 b);
1.24 a); 1.25 a); 1.25.1 b).

Unidade 5

Páginas 123 – 128

- I. 1.1 d); 1.2 a); 1.3 b); 1.4 d); 1.5 d);
1.6 c); 1.7 a); 1.8 d); 1.9 a); 1.10 d);
1.11 d); 1.12 b); 1.13 a); 1.14 d); 1.15 c);
1.16 c); 1.17 c); 1.18 c); 1.19 a); 1.20 a);
1.21 d); 1.22 b); 1.23 b); 1.24 a); 1.25 c);
1.26 a); 1.27 b); 1.28 c); 1.29 b); 1.30 a);
1.31 a); 1.32 d); 1.33 b).

Unidade 6

Páginas 140 – 146

- I. 1.1 d); 1.2 d); 1.3 c); 1.4 c); 1.5 1.5.1 b);
1.5.2 c); 1.5.3 d); 1.6 a); 1.7 a); 1.8 1.8.1 a);
1.8.2 c); 1.8.3 b); 1.8.4 c); 1.8.5 a); 1.9 d);
1.10 a); 1.11 1.11.1 d); 1.11.2 b); 1.11.3 a);
1.11.4 a); 1.12 c); 1.13 1.13.1 b); 1.13.2 c);
1.13.3 a); 1.13.4 a); 1.14 1.14.1 c); 1.14.2 b);
1.14.3 c); 1.15 a); 1.16 a).

Ficha técnica

Título: Pré-Universitário – Física 12

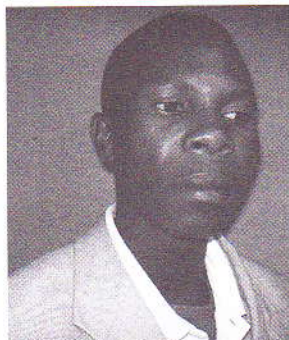
Editor: Longman Moçambique

Impressão e acabamentos: Creda Communications

N8792

Autor:

Estevão Manuel João



Frequenta a licenciatura em Física, Ramo de Física Educacional, pela Universidade Eduardo Mondlane desde 2006. Frequentou ainda o curso de licenciatura em Física Aplicada da Universidade Eduardo Mondlane (2001-2005).

Professor de Física e Matemática na Escola Secundária Josina Machel desde 2004.

Autor de materiais didáticos de Física.

© Longman Moçambique, Lda.

Avenida 24 de Julho, n.º 776

Maputo, Moçambique

Reservados todos os direitos. É proibida a reprodução desta obra por qualquer meio (fotocópia, *offset*, fotografia, etc.) sem o consentimento prévio da Editora, abrangendo esta proibição o texto, a ilustração e o arranjo gráfico. A violação destas regras será passível de procedimento judicial, de acordo com o estipulado no Código dos Direitos de Autor, D. L. 4 de Fevereiro de 2001.

Maputo – 2010 Longman Moçambique, Lda., 1.ª Edição

ISBN 9780636112629

Registado no INLD sob o número:

Créditos fotográficos:

Pág. 10 – Vetergor/Dreamstime; pág. 11 – Silverv/Dreamstime; pág. 15 – Mariaam/Dreamstime; pág. 16 – Yogeshaditya/Dreamstime e Crashoran/Dreamstime; pág. 18 – Budda/Dreamstime; pág. 19 – Fotomixer/Dreamstime, Andjic/Dreamstime e Stockstudios/Dreamstime; pág. 23 – Kvkirillov/Dreamstime; pág. 24 – Oliwkowygaj/Dreamstime; pág. 25 – Witoldkr1/Dreamstime e Vvo/Dreamstime; pág. 27 – Wattsco/Dreamstime, Annto/Dreamstime e Bloopters/Dreamstime; pág. 43 – Rui Santos; pág. 45 – Rui Santos; pág. 46 – Rui Santos; pág. 48 – Dwights/Dreamstime; pág. 51 – Recose/Dreamstime; pág. 56 – Jarom78/Dreamstime e Praseodimio/Dreamstime; pág. 76 – Lush/Dreamstime; pág. 85 – US Federal Government e Corbis/Great Stock; pág. 98 – Dewitt/Dreamstime; pág. 110 – Macchia/Dreamstime e Asbestos/Dreamstime; pág. 102 – Carolinasmith/Dreamstime e TomN/Dreamstime; pág. 114 – Weefanphoto/Dreamstime; pág. 134 – Fotowan/Dreamstime.

Todos os esforços foram feitos no sentido de se obter permissão para usar material com *copyright*. Se involuntariamente utilizámos materiais com *copyright*, pedimos que nos informe de modo a podermos atribuir os créditos devidos.

SÍMBOLOS DA REPÚBLICA DE MOÇAMBIQUE

Bandeira



Emblema



Hino Nacional

Pátria Amada

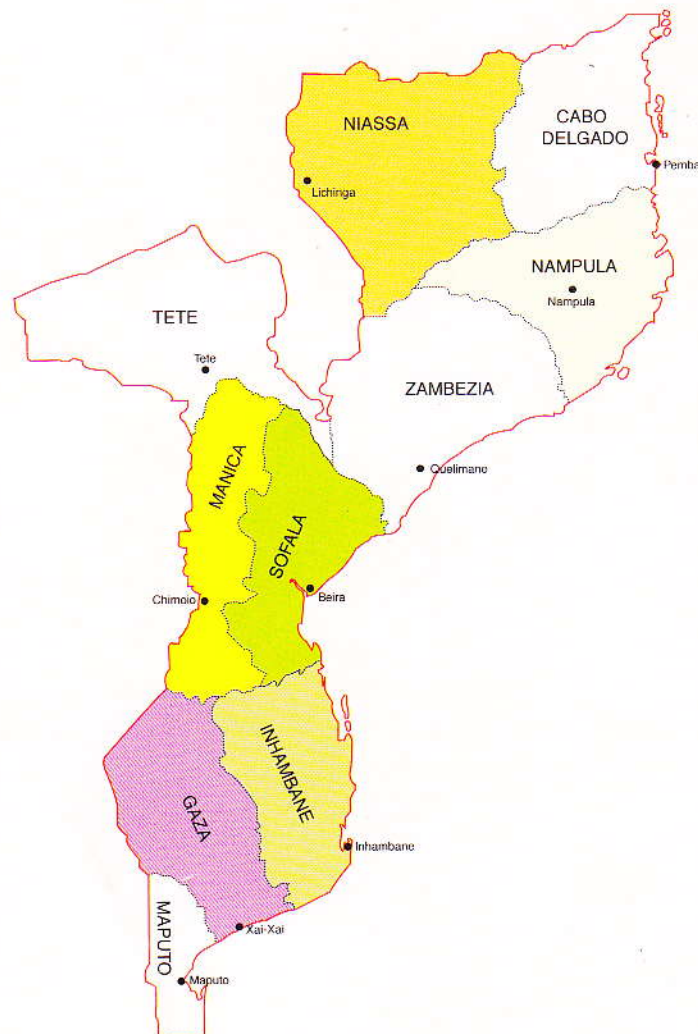
Na memória de África e do mundo
Pátria bela dos que ousaram lutar
Moçambique o teu nome é liberdade
O sol de Junho para sempre brilhará.

Coro

Moçambique nossa terra gloriosa
Pedra a pedra construindo o novo dia
Milhões de braços, uma só força
Ó pátria amada vamos vencer.

Povo unido do Rovuma ao Maputo
Colhe os frutos do combate pela paz
Cresce o sonho ondulado na Bandeira
E vai lavrando na certeza do amanhã.

Flores brotando no chão do teu suor
Pelos montes, pelos rios pelo mar
Nós juramos por ti, ó Moçambique.
Nenhum firano nos irá escravizar.



ISBN 978-06361-126-2-9



9 780636 112629



Longman
Moçambique