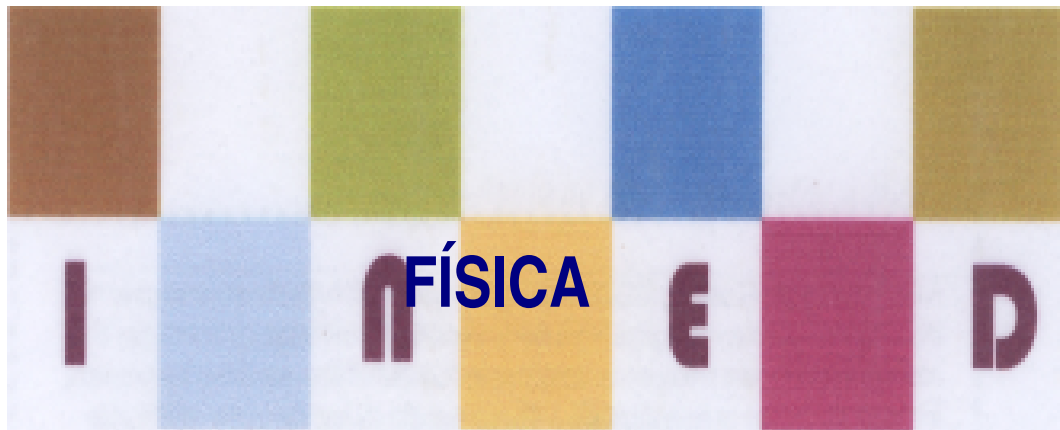


# MÓDULO 4



RADIAÇÃO DO CORPO NEGRO

FÍSICA ATÓMICA E NUCLEAR

# Conteúdos

Acerca deste Módulo	1
Lição 1	5
Lição 2	11
Lição 3	19
Lição 4	25
Lição 5	34
Lição 6	39
Lição 7	43
Lição 8	50
Lição 9	60
Lição 10	65
Lição 11	72
Lição 12	77
Lição 13	82
Lição 14	89

---

<b>Lição 15</b>	<b>97</b>
<hr/>	
<b>Lição 16</b>	<b>108</b>
<hr/>	
<b>Lição 17</b>	<b>113</b>
<hr/>	
<b>Lição 18</b>	<b>118</b>
<hr/>	
<b>Lição 19</b>	<b>124</b>
<hr/>	
<b>Lição 20</b>	<b>132</b>
<hr/>	
<b>Lição 21</b>	<b>137</b>
<hr/>	
<b>Lição 22</b>	<b>142</b>
<hr/>	
<b>Lição 23</b>	<b>150</b>
<hr/>	
<b>Teste de Preparação de final de Módulo 4</b>	<b>156</b>
<hr/>	
<b>Soluções do Módulo 4</b>	<b>159</b>
<hr/>	



## Acerca deste Módulo

FÍSICA

---

### Como está estruturado este Módulo

#### A visão geral do curso

Este curso está dividido por módulos autoinstrucionais, ou seja, que vão ser o seu professor em casa, no trabalho, na machamba, enfim, onde quer que você deseja estudar.

Este curso é apropriado para você que já concluiu a 7ª classe mas vive longe de uma escola onde possa frequentar a 8ª, 9ª e 10ª classes, ou está a trabalhar e à noite não tem uma escola próxima onde possa continuar os seus estudos, ou simplesmente gosta de ser auto didacta e é bom estudar a distância.

Neste curso a distância não fazemos a distinção entre a 8ª, 9ª e 10ª classes. Por isso, logo que terminar os módulos da disciplina estará preparado para realizar o exame nacional da 10ª classe.

O tempo para concluir os módulos vai depender do seu empenho no auto estudo, por isso esperamos que consiga concluir com todos os módulos o mais rápido possível, pois temos a certeza de que não vai necessitar de um ano inteiro para concluí-los.

Ao longo do seu estudo vai encontrar as actividades que resolvemos em conjunto consigo e seguidamente encontrará a avaliação que serve para ver se percebeu bem a matéria que acaba de aprender. Porém, para saber se resolveu ou respondeu correctamente às questões colocadas, temos as resposta no final do seu módulo para que possa avaliar o seu despenho. Mas se após comparar as suas respostas com as que encontrar no final do módulo, tem sempre a possibilidade de consultar o seu tutor no Centro de Apoio e Aprendizagem – CAA e discutir com ele as suas dúvidas.

No Centro de Apoio e Aprendizagem, também poderá contar com a discussão das suas dúvidas com outros colegas de estudo que possam ter as mesmas dúvidas que as suas ou mesmo dúvidas bem diferentes que não tenha achado durante o seu estudo mas que também ainda tem.

#### Conteúdo do Módulo



Cada Módulo está subdividido em Lições. Cada Lição inclui:

- Título da lição.
- Uma introdução aos conteúdos da lição.
- Objectivos da lição.
- Conteúdo principal da lição com uma variedade de actividades de aprendizagem.
- Resumo da unidade.
- Actividades cujo objectivo é a resolução conjunta consigo estimado aluno, para que veja como deve aplicar os conhecimentos que acaba de adquirir.
- Avaliações cujo objectivo é de avaliar o seu progresso durante o estudo.
- Teste de preparação de Final de Módulo. Esta avaliação serve para você se preparar para realizar o Teste de Final de Módulo no CAA.

---

## Habilidades de aprendizagem



Estudar à distância é muito diferente de ir a escola pois quando vamos a escola temos uma hora certa para assistir as aulas ou seja para estudar. Mas no ensino a distância, nós é que devemos planejar o nosso tempo de estudo porque o nosso professor é este módulo e ele está sempre muito bem disposto para nos ensinar a qualquer momento. Lembre-se sempre que “*o livro é o melhor amigo do homem*”. Por isso, sempre que achar que a matéria esta a ser difícil de perceber, não desanime, tente parar um pouco, reflectir melhor ou mesmo procurar a ajuda de um tutor ou colega de estudo, que vai ver que irá superar toas as suas dificuldades.

Para estudar a distância é muito importante que planeie o seu tempo de estudo de acordo com a sua ocupação diária e o meio ambiente em que vive.

---

## Necessita de ajuda?



Ajuda

Sempre que tiver dificuldades que mesmo após discutir com colegas ou amigos achar que não está muito claro, não tenha receio de procurar o seu tutor no CAA, que ele vai lhe ajudar a supera-las. No CAA também vai dispor de outros meios como livros, gramáticas, mapas, etc., que lhe vão auxiliar no seu estudo.



# Lição 1

---

## Ondas Electromagnéticas

### Introdução

No seu dia a dia, bem como nas classes anteriores, já ouviu falar de ondas. Nessas classes o conceito de onda foi sempre associado às oscilações. Por isso, é importante recordar que onda é a propagação das oscilações no espaço e no tempo.

As oscilações mecânicas dão origem às ondas mecânicas e as oscilações eléctricas dão origem às ondas electromagnéticas.

Ao concluir esta unidade você será capaz de:

- *Classificar* as radiações electromagnéticas de acordo com a sua frequência ou comprimento de onda.
- *Calcular* a frequência ou o comprimento de onda de uma radiação electromagnética.as características de uma oscilação mecânica.



#### Objectivos

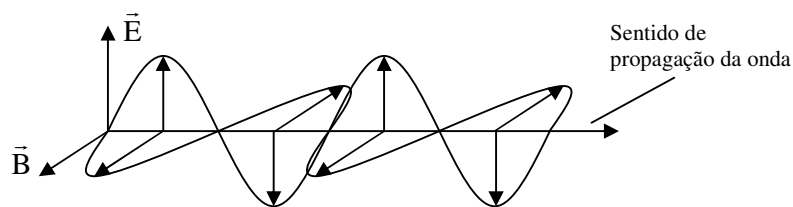
## Ondas Electromagnéticas

As ondas electromagnéticas são assim designadas, porque as oscilações eléctricas criam um campo magnético variável e por sua vez o campo magnético variável cria um campo eléctrico variável.

A ideia de que um campo eléctrico variável cria um campo magnético variável foi proposta por Maxwell em 1864. Nesta base, Maxwell previu que quando uma carga eléctrica oscila, ela deve emitir uma onda electromagnética que consiste de um campo eléctrico variável acompanhado de um campo magnético também variável com a mesma frequência de oscilação.

Os valores do vector da intensidade do campo eléctrico “E” e do vector da indução electromagnética “B”, variam periódicamente e oscilam em planos perpendiculares entre si e em relação ao seu sentido de propagação. Por isso, as ondas electromagnéticas são ondas transversais, veja a figura.





Marxwell mostrou também que a velocidade de todas as ondas electromagnéticas é dada pela expressão:

$$c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \cdot \epsilon_0}}, \text{ onde } \mu_0 \text{ é a permeabilidade}$$

magnética do vácuo ( $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H.m}^{-1}$ ) e  $\epsilon_0$  é a constante dieléctrica do vácuo ( $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ C}^2 \cdot \text{N}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ ). Assim,

$$c = \frac{1}{\sqrt{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 8,85 \cdot 10^{-12}}} = \frac{1}{\sqrt{1,12 \cdot 10^{-17}}} = 2,9986 \cdot 10^8 \text{ m/s} \approx 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

## ESPECTRO DAS ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS

Como já deve saber, as ondas são caracterizadas pela sua frequência ou pelo seu comprimento de onda e que estas duas grandezas são inversamente proporcionais, ou seja, isso, quanto maior é o comprimento de onda, menor é a sua frequência e vice versa. Por isso para as ondas mecânicas é válida a relação  $V = \lambda \cdot f$ .

Esta relação também é válida para as ondas electromagnéticas, só que no lugar de “V” coloca-se a letra “c”, que como vimos atrás representa a velocidade da luz no vácuo. Assim,

$$c = \lambda \cdot f$$

Onde  $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ . O comprimento de onda no SI é expresso em metros “m”. Porém também se usa o nanómetro “nm” (onde  $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$ ).

Esta velocidade representa a velocidade máxima que se pode atingir na natureza.

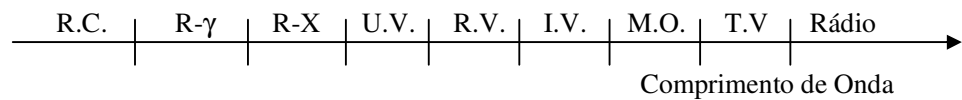
Esta relação também mostra que para as ondas electromagnéticas também existe uma relação de inversa proporcionalidade entre o comprimento de onda e a frequência.



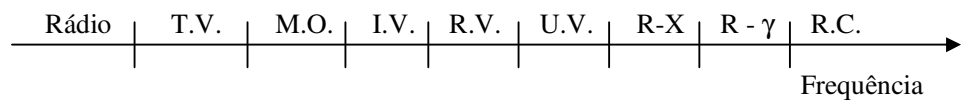
O facto de as ondas serem caracterizadas pelo seu comprimento de onda ou pela sua frequência, leva-nos ao conceito de espectro das ondas electromagnéticas. Deste modo:

O espectro das ondas electromagnéticas, é o conjunto de todas as ondas ou radiações electromagnéticas, ordenadas de acordo com a sua frequência ou do seu comprimento de onda.

(a) Classificação segundo o comprimento de onda



(b) Classificação segundo a frequência



Na figura está representado o espectro das ondas electromagnéticas, ou seja, toda a família das ondas electromagnéticas. Na figura (a) as ondas electromagnéticas foram classificadas de acordo com o seu comprimento de onda e na (b) de acordo com a sua frequência. Como se pode ver, as ondas de Rádio e televisão são as de maior comprimento de onda e a radiação cósmica, são as de menor comprimento de onda. Porém, devido a relação de inversa proporcionalidade entre o comprimento e a frequência, as ondas de rádio e televisão são as ondas de menor frequência e a radiação cósmica as de maior frequência, veja figura (b).

**Ora viva caro aluno! Terminado o estudo do texto desta lição, faça um pequeno resumo da matéria nela tratada e compare-o ao que se apresenta a seguir.**

---

## Resumo da lição



### Resumo

Nesta lição você aprendeu que:

- As ondas electromagnéticas são a propagação das oscilações eléctricas e magnéticas no espaço e no tempo.
- As ondas electromagnéticas são ondas transversais porque o vector da intensidade do campo eléctrico “E” e do vector da indução electromagnética “B”, variam periodicamente e oscilam em planos perpendiculares entre si e em relação ao seu sentido de propagação.
- A velocidade da luz no vácuo é de  $3 \cdot 10^8$  m/s. Esta velocidade representa a velocidade máxima que se pode atingir na natureza.
- A relação entre o comprimento de onda e a frequência das ondas electromagnéticas é dada pela expressão:

$$c = \lambda \cdot f$$

Onde “c” é a velocidade da luz no vácuo, “λ” é o comprimento de onda e “f” é a frequência.

- O comprimento de onda também pode ser expresso em nanómetros “nm” (onde  $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$ ).
- O espectro das ondas electromagnéticas, é o conjunto de todas as ondas ou radiações electromagnéticas, ordenadas de acordo com a sua frequência ou do seu comprimento de onda.

**Amigo estudante passe à realização das actividades de fixação e assegure a compreensão da matéria que acaba de aprender. Força!**

## Actividades de Fixação



### Actividades

Estimado aluno, bem vindo à secção das actividades de fixação. Realize-as com cuidado e muita atenção. Mão à obra!

1. Calcule o comprimento de onda de radiação ultra violeta cuja frequência é de  $10^{15}$  Hz em unidades do SI
2. Expresse o comprimento de onda em nanómetros.

**Já terminou a realização das actividades de fixação? Então compare as suas respostas com as que se apresentam na chave de correcção.**

### Chave de Correção

Para resolver este exercício. Precisamos apenas de tirar os dados e ter em conta que a velocidade da luz no vácuo é de  $3 \cdot 10^8$  m/s.

1.

Dados	Fórmula	Resolução
$f = 10^{15}$ Hz $c = 3 \cdot 10^8$ m/s $\lambda = ?$	$c = \lambda \cdot f$	$3 \cdot 10^8 = \lambda \cdot 10^{15}$ $\Rightarrow \lambda = \frac{3 \cdot 10^8}{10^{15}}$ $\Rightarrow \lambda = 3 \cdot 10^{-7}$ m

**Resposta:** O comprimento de onda é de  $3 \cdot 10^{-7}$  m.

2. Para resolver esta alínea devemos ter em conta que  $1 \text{ nm} = 10^{-9}$  m.

$$1 \text{ nm} \quad \text{—————} \quad 10^{-9} \text{ m}$$

$$X \quad \text{—————} \quad 3 \cdot 10^{-7} \text{ m}$$

$$X = \frac{1 \text{ nm} \cdot 3 \cdot 10^{-7} \text{ m}}{10^{-9} \text{ m}} \Rightarrow X = 300 \text{ nm}$$

**Resposta:** O comprimento de onda é de 300 nm.

**Muito bem, caro aluno! Se acertou em todas as questões das actividades de fixação passe à realização das actividades de avaliação. Caso não, reestude o texto, o resumo e refaça todas as actividades desta lição.**

---

## Atividade de Avaliação



### Avaliação

**Caro aluno, resolva no seu caderno de exercícios as actividades que se propõem e avalie o seu progresso.**

1.
  - a) Calcule o comprimento de onda de radiação infravermelha de  $3,75 \cdot 10^{14}$  Hz.
  - b) Expresse o comprimento de onda calculado na alínea anterior em nanómetros.
2. A radiação de microondas pode ter um comprimento de onda de 1 nm.
  - a) Expresse o comprimento de onda da radiação de microondas em unidades do SI.
  - b) Calcule a frequência da radiação de microondas.

**Caro aluno compare as suas soluções com as que se apresentam no fim do módulo e passe ao estudo da lição seguinte se tiver acertado em todas as questões aqui propostas. Sucessos!**

## Lição 2

# Propriedades das ondas Electromagnéticas

## Introdução

Apesar da diferença entre os diversos tipos de ondas electromagnéticas, todas elas possuem propriedades comuns. Por isso, nesta lição iremos estudar as propriedades gerais bem e as propriedades específicas das radiações electromagnéticas. Iremos também aprender a importância do conhecimento destas propriedades para a nossa vida diária.

Ao concluir esta unidade você será capaz de:

- *Identificar* as propriedades das ondas electromagnéticas.
- *Explicar* a aplicação das propriedades das ondas electromagnéticas na tecnologia.



### Objectivos

Em seguida são dadas algumas propriedades que são comuns a todas as ondas electromagnéticas. Estas propriedades ditam a aplicação das radiações electromagnéticas na ciência, na técnica e no nosso quotidiano.

As propriedades gerais das ondas electromagnéticas podem ser resumidas da seguinte forma:

- Propagam-se em linha recta,
- No mesmo meio propagam-se com velocidade constante, sendo no vácuo igual a  $3 \cdot 10^8$  m/s ( $c = 3 \cdot 10^8$  m/s).
- Atravessam corpos opacos,
- São reflectidas por superfícies metálicas,
- Provocam elevação da temperatura dos corpos que atravessam ou absorvem,
- Sofrem reflexão, refração, interferência, dispersão, polarização, etc.

- Quanto maior o seu comprimento de onda maior é o seu poder de penetração (poder de atravessar as substâncias),
- Quanto menor é seu comprimento de onda maior é o seu poder de dispersão (fácilmente as ondas se espalham).

Da óptica sabemos que a luz se propaga em linha recta. Mas como já sabe, a luz é também uma onda electromagnética. Por isso, não só a luz se propaga em linha recta, mas todas as outras ondas electromagnéticas também se propagam em linha recta.

A letra “c” representa uma constante universal que é , como já deve saber, a velocidade de propagação da luz no vácuo. Em outros meios como a água, o vidro, o plástico, etc, a velocidade da luz é relativamente menor.

Quando escutamos a rádio o vemos televisão em casa ou em qualquer outro sítio, não precisamos abrir as janelas e portas para recebermos o sinal de rádio ou de televisão. Isto deve-se ao facto de as ondas electromagnéticas atravessarem corpos opacos. Porém são reflectidas por superfícies metálicas. Por isso, as superfícies das antenas parabólicas são metálicas. Assim, as ondas electromagnéticas que incidem sobre a superfície da antena, são reflectidas para o captador de sinais, colocado no foco da superfície parabólica da antena, o qual envia os sinais para a televisão.

Um radar detecta a aproximação de um avião, porque as ondas electromagnéticas por ele emitidas, que neste caso é constituída por microondas, são reflectidas pela superfície metálica do avião e retorna ao radar-

A Tabela que se segue apresenta a banda de comprimentos de onda e das frequências de todo o espectro das ondas electromagnéticas e as aplicações mais importantes de cada radiação na ciência e na técnica.

Nome	Banda de $\lambda$ (m)	Banda de f (Hz)	Aplicação
Ondas Longas	$1.10^4 - 1.10^3$	$3.10^4 - 3.10^5$	Comunicação a longa distância
Ondas Médias	$1.10^3 - 1.10^2$	$3.10^5 - 3.10^6$	Estação de rádio local
Ondas Curtas	$1.10^2 - 1.10^1$	$3.10^6 - 3.10^7$	Rádios amadores
VHF (Very High Frequency)	$1.10^1 - 1.10^0$	$3.10^7 - 3.10^8$	Emissão local de rádio em FM (frequência modulada)
UHF (Ultra High Frequency)	$1.10^0 - 1.10^{-1}$	$3.10^8 - 3.10^9$	Emissor de televisão



Nome	Banda de $\lambda$ (m)	Banda de f (Hz)	Aplicação
Microondas	$1.10^{-1} - 1.10^{-3}$	$3.10^9 - 3.10^{11}$	Telefones celulares, satélites e radares
Infravermelha	$1.10^{-3} - 7.10^{-7}$	$3.10^{11} - 4.10^{14}$	Radiação térmica e fibras ópticas
Radiação visível	$7.10^{-7} - 4.10^{-7}$	$4.10^{14} - 8.10^{14}$	Iluminação e comunicação visual
Ultravioleta	$4.10^{-7} - 1.10^{-9}$	$8.10^{14} - 3.10^{17}$	Fotoquímica
Raios- X	$1.10^{-9} - 1.10^{-11}$	$3.10^{17} - 3.10^{19}$	Medicina
Raios - $\gamma$	$1.10^{-11} - 1.10^{-13}$	$3.10^{19} - 3.10^{21}$	Esterilização de alimentos
Radiação cósmica	$1.10^{-13} -$	$3.10^{21} -$	

Em seguida faremos um breve estudo das radiações que compõem o espectro das radiações electromagnéticas. Ocupar-nos-emos, fundamentalmente, das suas propriedades bem como das suas aplicações na ciência e na técnica.

Iniciaremos o nosso estudo pela radiação Infravermelha e ultravioleta, ao que se vai seguir a Radiação visível, seguida dos raios-x e raios- $\gamma$ .

## Propriedades e Aplicações da Radiação Infravermelha (I.V.)

As principais propriedades e aplicações deste tipo de radiação electromagnética podem ser resumidas da seguinte forma:

- É radiação invisível entre os 780 nm e 1 cm.
- seu comprimento de onda é inversamente proporcional à temperatura do corpo que a absorve.
- Provoca aumento da temperatura dos corpos que a absorvem.
- É usada no tratamento de rupturas musculares, para secar tinta de corpos após a sua pintura, nos fogões e fornos de cozinha, etc.



- São detectados através de detectores fotográficos, fotoelétricos, etc.

À excepção das radiação visível, todas as radiações electromagnéticas são invisíveis ao olho humano.

Considera-se que todos os corpos são emissores de radiação infravermelha, mas quanto maior é a temperatura do corpo menor é o comprimento de onda da radiação infravermelha por ele emitida. Isso significa que os corpos mais quentes emitem radiação infravermelha de pequenos comprimento de onda e os corpos mais frios emitem radiação infravermelha de maior comprimento de onda.

Este facto é usado para ver e mesmo fotografar no escuro no escuro. Para ver no escuro usam-se os chamados detectores de raios infravermelhos e para fotografar no escuro usam-se filmes sensíveis à radiação infravermelha.

## Propriedades e Aplicações da Radiação Ultravioleta (U.V.)

- É radiação invisível cuja banda de comprimentos de onda se situa entre 1 nm e 380 nm.
- É absorvida pelo ozono ( $O_3$ ) e por superfícies fluorescentes.
- Produz queimadura quando incide sobre a pele humana, podendo causar o chamado câncer ou cancro da pele.
- Quando absorvido por substâncias fluorescentes é emitida na forma de radiação visível.
- É usada no fabrico de lâmpadas fluorescentes, de tintas e detergentes de lavar roupa, para aumentar o seu brilho.

Como sabe, a radiação ultravioleta é invisível. Porém, quando incide sobre uma substância fluorescente é reflectida na forma de radiação visível. Por isso é que as substâncias fluorescentes apresentam um brilho mais intenso do que as não fluorescentes.

**Caro aluno, já terminou o estudo do texto sobre as propriedades das ondas electromagnéticas e a respectiva aplicação na ciência e na técnica? Então faça um pequeno resumo do que acabou de aprender e compare-o com o que se apresenta a seguir.**

---

## Resumo da lição



### Resumo

Nesta lição você aprendeu que:

- As ondas electromagnéticas propagam-se em linha recta, no mesmo meio propagam-se com velocidade constante, sendo no vácuo igual a  $3.10^8$  m/s ( $c = 3.10^8$  m/s), atravessam corpos opacos, são reflectidas por superfícies metálicas, provocam elevação da temperatura dos corpos que atravessam ou absorvem, sofrem reflexão, refacção, interferência, dispersão, polarização, quanto maior o seu comprimento de onda maior é o seu poder de penetração, quanto menor é seu comprimento de onda maior é o seu poder de dispersão.
- A radiação Infravermelha é radiação invisível entre os 780 nm e 1 cm, o seu comprimento de onda é inversamente proporcional à temperatura do corpo que a absorve, provoca aumento da temperatura dos corpos que a absorvem, é usada no tratamento de rupturas musculares, para secar tinta de corpos após a sua pintura, nos fogões e fornos de cozinha, são detectados através de detectores fotográficos, fotoeléctricos.
- A radiação ultravioleta é radiação invisível cuja banda de comprimentos de onda se situa entre 1 nm e 380 nm, é absorvida pelo ozono ( $O_3$ ) e por superfícies fluorescentes, produz queimadura quando incide sobre a pele humana, podendo causar o chamado câncer ou cancro da pele, quando absorvido por substâncias fluorescentes é emitida na forma de radiação visível, é usada no fabrico de lâmpadas fluorescentes, de tintas e detergentes de lavar roupa, para aumentar o seu brilho.

**Certamente o seu resumo condiz com o que acaba de estudar nesta secção, então passe à realização das actividades de fixação.**

---

## Actividades de Fixação

**Estimado aluno, resolva no seu caderno de exercícios as actividades que se propõem a seguir e avalie o seu progresso.**

1. Enumere quatro propriedades comuns de todas as ondas electromagnéticas.
2. Que tipo de radiação electromagnética:
  - a) produz queimadura sobre a pele humana quando nos expomos longo tempo ao sol?
  - b) Atravessa uma camada fina de chumbo?
  - c) É usada na comunicação via satélite?
  - d) É usada num remote control de um receptor de TV?

**Ótimo estimado aluno, terminada a resolução das actividades de fixação, compare as suas respostas com as que se apresentam na chave de correcção**

### Chave de Correcção

1. As propriedades comuns das ondas electromagnéticas (apenas quatro) são:
  - Propagam-se em linha recta,
  - No mesmo meio propagam-se com velocidade constante, sendo no vácuo igual a  $3 \cdot 10^8$  m/s ( $c = 3 \cdot 10^8$  m/s).
  - Atravessam corpos opacos,
  - São reflectidas por superfícies metálicas,
2. Que tipo de radiação electromagnética:
  - a) Raios Ultravioleta.
  - b) Raios gama.
  - c) Microondas.
  - d) Raios Infravermelhos.

**Caro aluno, se acertou em todas as questões das actividades de fixação, passe à realização das actividades de avaliação.**

## Avaliação



### Avaliação

**Querido estudante, resolva todas as actividades de avaliação e me você mesmo o seu grau da compreensão da matéria tratada nesta lição. Força!**

1. Enumere quatro propriedades comuns de todas as ondas electromagnéticas.
2. Que tipo de radiação electromagnética:
  - a) produz queimadura sobre a pele humana quando nos expomos longo tempo ao sol?
  - b) Atravessa uma camada fina de chumbo?
  - c) É usada na comunicação via satélite?
  - d) É usada num remote control de um receptor de TV?
3. A figura representa o espectro das ondas electromagnéticas.

Radio	Micro ondas	A	Radiação visível	U.V.
-------	-------------	---	------------------	------

- a) Que radiações preenchem as zonas A e B?
- b) Que radiação possui menor comprimento de onda? E maior frequência?
- c) Que radiação é usada para diagnósticos médicos? E nos sistemas de segurança?
4. Dadas três fontes de ondas electromagnéticas.
  - (a) uma antena transmissora das emissões radiofónicas da Rádio Moçambique.
  - (b) Uma máquina de raios-x.
  - (c) Um transformador de um rádio.

Em ordem decrescente da frequência das radiações emitidas pelas fontes, tem-se:

A: (a) (b) (c)

B: (b) (a) (c)

C: (b) (c) (a)

D: (a) (c) (b)

E: (c) (b) (a)

**Caro aluno, compare as suas soluções com as que se apresentam no fim do módulo e passe ao estudo da lição seguintes se tiver acertado em todas as questões das actividades de avaliação. Sucessos!**

## Lição 3

### O Espectro Óptico

#### Introdução

Querido aluno, já estudou as propriedades gerais das ondas eletromagnéticas e as propriedades específicas bem como as aplicações das radiações infravermelha e ultravioleta.

Nesta lição vai aprender as propriedades da radiação visível bem como a importância do seu conhecimento na explicação de diversos fenômenos naturais.

Ao concluir esta unidade você será capaz de:

- *Classificar* as radiações eletromagnéticas visíveis de acordo com a sua frequência ou comprimento de onda.
- *Calcular* a frequência ou o comprimento de onda de uma radiação eletromagnética. as características de uma oscilação mecânica.



#### Objectivos

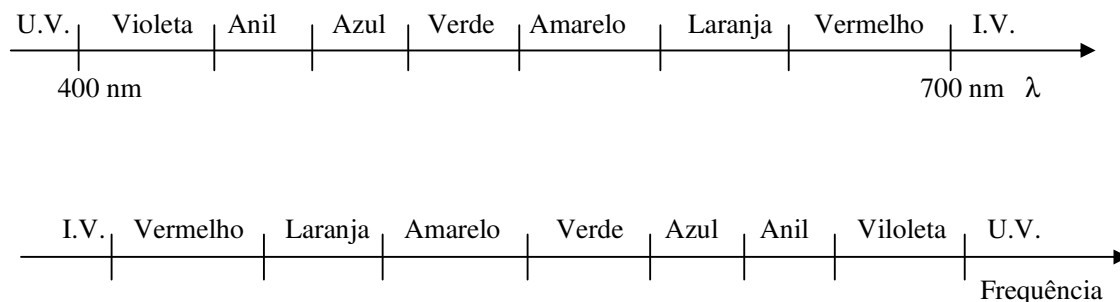
#### Espectro Óptico

A radiação ou luz visível é composta por ondas eletromagnéticas cuja banda de comprimentos de onda se situa entre os 380 nm e os 780 nm. Porém esta radiação é composta por outras radiações que também se distinguem pelo seu comprimento de onda ou da sua frequência.

O espectro óptico é o conjunto de todas as radiações que compõem a radiação visível, ordenadas de acordo com o seu comprimento de onda ou da sua frequência.

As cores que representam o espectro óptico são a vermelha, azul, verde, amarela, laranja e vermelha. Na figura está representado o espectro óptico. Como pode ver, a cor de maior comprimento de onda é a vermelha e a de menor comprimento de onda é a violeta. Mas como o comprimento de onda é inversamente proporcional à frequência, a cor vermelha é a de menor frequência e a violeta a de maior frequência.

A sobreposição de todas as radiações que constituem o espectro óptico dão origem a chamada luz branca.



A Tabela apresenta a banda de comprimentos de onda e das frequências das radiações que constituem o espectro óptico.

<b>Côr da Radiação</b>	<b>Banda de <math>f</math> (<math>10^{14}</math> Hz)</b>	<b>Banda de <math>\lambda</math> (nm)</b>
Violeta	7,9 – 6,6	380 – 455
Azul	6,6 – 6,1	455 – 492
Verde	6,1 – 5,2	492 – 575
Amarela	5,2 – 5,0	575 – 597
Laranja	5,0 – 4,8	597 – 623
Vermelha	4,8 – 3,8	623 – 780

O conhecimento do espectro óptico permite-nos explicar certos fenómenos naturais tais como o arco iris, as cores dos corpos, etc.

O arco iris, por exemplo, é resultado da dispersão da luz branca nas gotas minúsculas do vapor de água na atmosfera. Por isso, as cores do arco iris são as que constituem o espectro óptico.

Já dissemos que as cores dos corpos podem ser explicadas com base no espectro óptico. Desta forma, um corpo que se apresenta verde quando sobre ele incide luz branca, é porque ele reflecte a cor verde e absorve todas as outras radiações que constituem o espectro óptico. Por sua vez, um corpo que se apresente vermelho quando sobre ele incide luz branca, é porque ele reflecte a cor vermelha e absorve todas as outras radiações que constituem o espectro óptico. Por isso um corpo que se apresente



branco é porque reflecte todas as radiações que incidem sobre ele, enquanto que um corpo que se apresente negro (preto) é porque absorve todas as radiações que incidem sobre ele. Assim se pode explicar o facto de em dias quentes ser aconselhável o uso de roupas claras ao invés de escuras, pois enquanto que as roupas claras reflectem as radiações electromagnéticas as escuras absorvem – nas.

Outro facto curioso é a cor do céu ao amanhecer, ao entardecer e durante o dia. Como sabe ao amanhecer e ao entardecer o céu apresenta-se de cor alaranjada com tendência para o vermelho. Isto deve-se ao facto de o sol se encontrar muito afastado da terra. Assim, as radiações que chegam até a nós são as de maior comprimento de onda, neste caso as cores laranja e vermelha, pois como sabe, quanto maior é o comprimento de onda da radiação, maior é o seu poder de atravessar substâncias. Porém durante o dia, o sol está próximo de nós e apresenta-se azul, que é uma das cores de menor comprimento de onda. E como também vimos, anteriormente, quanto menor é o comprimento de onda, maior é o seu poder de se espalhar.

Outro fenómeno também muito interessante está relacionado com a existência das algas verdes e vermelhas no mar. Como a cor vermelha é a de maior comprimento de onda, consequentemente é a cor que atinge maior profundidade nas águas do mar enquanto que a verde atinge menor profundidade devido ao seu menor comprimento de onda. Assim, se explica que as algas vermelhas se encontrem no fundo do mar e as algas verdes a menores profundidades.

**Terminou o estudo do texto? Então continue fazendo um pequeno resumo da matéria nele tratada e comparando-o ao que se apresenta a seguir. Mão à obra!**



## Resumo da lição



### Resumo

Nesta lição você aprendeu que:

- O espectro óptico é o conjunto de todas as radiações que compõem a radiação visível, ordenadas de acordo com o seu comprimento de onda ou da sua frequência.
- As cores que representam o espectro óptico são a vermelha, azul, verde, amarela, laranja e vermelha.
- A cor de maior comprimento de onda é a vermelha e a de menor comprimento de onda é a violeta. Mas como o comprimento de onda é inversamente proporcional à frequência, a cor vermelha é a de menor frequência e a violeta a de maior frequência.
- A sobreposição de todas as radiações que constituem o espectro óptico dão origem a chamada luz branca.
- O arco iris, por exemplo, é resultado da dispersão da luz branca nas gotas minúsculas do vapor de água na atmosfera.
- Um corpo que se apresenta branco é porque reflete todas as radiações que incidem sobre ele, enquanto que um corpo que se apresenta negro (preto) é porque absorve todas as radiações que incidem sobre ele.

**Certamente o seu resumo condiz com o que se apresenta nesta secção. Então continue o estudo desta lição resolvendo as actividades de fixação.**

## Actividades de Fixação

**Caro estudante, resolva no seu caderno de exercícios as actividades que se apresenta a seguir e assegure a compreensão da matéria que acabou de aprender.**

- Uma estação de rádio de alta frequência (VHF) transmite numa frequência de 100 MHz (1 MHz = 10<sup>6</sup> Hz). Se a velocidade das ondas é de 3.108 m/s calcule:
  - O comprimento de ondas das referidas ondas.
  - O tempo gasto a precorrer 60 km.
- A frequência dos raios infravermelhos é da ordem dos:  
A: 10<sup>14</sup>    B: 10<sup>17</sup>    C: 10<sup>9</sup>    D: 10<sup>15</sup>    E: 10<sup>13</sup>
- Uma substância que absorve radiação (a) e emite parte da energia absorvida na forma de (b), é chamada (c).

Escolha a variante correcta, para preencher os espaços vazios.

	(a)	(b)	(c)
A:	infravermelha	luz visível	fluorescente
B:	infravermelha	luz visível	radiante
C:	ultravioleta	luz visível	fluorescente
D:	ultravioleta	luz visível	radiante
E:	luz visível	ultravioleta	fluorescente

**Isso mesmo caro aluno, se você resolveu com sucesso as questões das actividades de fixação, compare as suas respostas com as que se apresentam na chave de correcção.**

**Chave de Correcção**

## Actividades de Avaliações



### Avaliações

Caro aluno, resolva no seu caderno de exercícios as actividades que se propõem a seguir e avalie o seu progresso.

- Uma estação de rádio de alta frequência (VHF) transmite numa frequência de 100 MHz (1 MHz = 10<sup>6</sup> Hz). Se a velocidade das ondas é de 3.108 m/s calcule:
  - O comprimento de ondas das referidas ondas.
  - O tempo gasto a precorrer 60 km.
- A frequência dos raios infravermelhos é da ordem dos:
 

A: 10<sup>14</sup>    B: 10<sup>17</sup>    C: 10<sup>9</sup>    D: 10<sup>15</sup>    E: 10<sup>13</sup>
- Uma substância que absorve radiação (a) e emite parte da energia absorvida na forma de (b), é chamada (c).

Escolha a variante correcta, para preencher os espaços vazios.

	(a)	(b)	(c)
A:	infravermelha	luz visível	fluorescente
B:	infravermelha	luz visível	radiante
C:	ultravioleta	luz visível	fluorescente
D:	ultravioleta	luz visível	radiante
E:	luz visível	ultravioleta	fluorescente

Caro aluno, compare as suas soluções com as que se apresentam no fim do módulo e passe ao estudo da lição seguintes se tiver acertado em todas as questões das actividades de avaliação. Sucessos!

# Lição 4

## Radiação do Corpo Negro

### Introdução

Caro aluno já viu que todo corpo pode ser considerado emissor de radiação infravermelha em virtude da sua temperatura e que quanto maior é a temperatura do corpo menor é o seu comprimento de onda.

Nesta lição vamos aprofundar o nosso conhecimento sobre a radiação infravermelha emitida pelos corpos a diferentes temperaturas.

Ao concluir esta unidade você será capaz de:



### Objectivos

- *Explicar* as formas de transmissão de calor por condução, convecção e radiação.
- *Explicar* a radiação do corpo negro com base na Teoria de Prévost.

## RADIAÇÃO DO CORPO NEGRO

### Radiação térmica

A radiação térmica, é a radiação electromagnética que um corpo emite à custa da sua energia interna, isto é, a custa da sua temperatura.

A radiação térmica é constituída, fundamentalmente, por radiação infravermelha.

### Formas de transmissão de calor

Existem três formas de troca de calor entre os corpos:

1. Por condução,
2. Por convecção, e,
3. Por radiação.

A troca de calor por **condução** ocorre quando se põe em contacto dois corpos e o calor se transmite de um ponto para outro do corpo sem que haja transporte de matéria. Por isso a transferência de calor por condução ocorre apenas nos sólidos. Por exemplo, quando colocamos parte de uma colher metálica em água quente, a colher acaba aquecendo toda.

A troca de calor por **convecção** ocorre quando as partículas que constituem o corpo se deslocam dum ponto para outro devido à variação da sua densidade. Esta forma de transferência de calor ocorre nos líquidos e gases. Por exemplo, quando aquecemos um líquido ou um gás a sua densidade diminui. Assim, as partículas que constituem o líquido ou gás, movem-se das altas temperaturas para as baixas temperaturas. Um exemplo interessante da transmissão de calor por convecção ocorre ao se aquecer água numa panela, por exemplo, até que ela ferva.

Como a chama encontra-se na parte de baixo da panela, a água do fundo desta acaba ficando mais quente que a de cima. Assim, a densidade da água do fundo da panela diminui e sobe. Mas como a água de cima está mais fria, e por isso tem maior densidade, esta desce. Por isso é que quando a água ferve cria-se uma espécie de remoinho. Este facto deve-se ao movimento da água de baixo para cima e de cima para baixo, isto é, devido a transferência de calor por convecção.

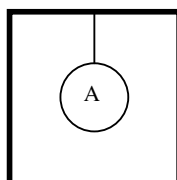
A troca de calor por **radiação** é aquela que ocorre através de ondas ou radiações electromagnéticas. Estas radiações são constituídas, fundamentalmente, por raios infravermelhos. Por exemplo, o calor do sol é transmitido até à terra por radiação, isto é, através de ondas electromagnéticas. Como sabe, esta radiação é constituída essencialmente por radiação infravermelha.

### Teoria de Prévost sobre a troca de calor

A figura representa um corpo A a uma temperatura  $T_A$ , colocado dentro de um compartimento B, cuja temperatura  $T_B$  mantém-se constante. Dentro do compartimento reina o vácuo e o fio que suspende o corpo A, é não condutor térmico. Como vê, entre o corpo A e B só pode haver troca de calor por forma de radiação, porque não havendo contacto entre os corpos o calor não se pode transmitir por condução. Mas como dentro do compartimento reina o vácuo, também não pode haver troca de calor por convecção. Assim podemos discutir duas possibilidades seguintes:

Se  $T_A > T_B$ , a temperatura de A vai diminuir e a de B vai aumentar até que se iguale a temperatura de B ( $T_A = T_B$ ).

Se  $T_A < T_B$ , a temperatura de A vai aumentar e a de B vai diminuir até que se iguale a temperatura de B ( $T_A = T_B$ ).



Como vê, pode parecer que quando se atinge o equilíbrio cessa a troca de calor.

Em 1792, Prévost, sugeriu que uma vez atingido o equilíbrio não cessa a troca de calor entre os corpos. Acontece, simplesmente, que a quantidade de calor que vai de A para B é igual a quantidade de calor que é absorvida por B .

Desta forma se estabeleceu uma nova teoria, que ficou conhecida como teoria de Prévost que é hoje aceite. Assim,

Quando um corpo está a mesma temperatura que o meio que o circunda, a radiação emitida para o meio que o circunda é igual a radiação absorvida pelo mesmo meio.

Como consequência da teoria de Prévost, significa que um corpo que é um bom absorvente de radiação é também um bom emissor, pois caso contrário, a sua temperatura iria aumentar para além (acima) da temperatura do meio circundante.

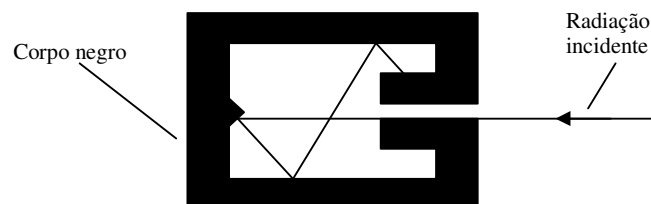
Como vimos anteriormente, o corpo negro é aquele que absorve toda a radiação que incide sobre ele. Assim,

Corpo negro é aquele que melhor absorve e emite radiação electromagnética.

Isto é consequência directa da teoria de Prévost. O corpo negro é considerado um absorvedor “perfeito” de radiação. Na prática um corpo negro é um modelo que consiste numa cavidade, com uma esfera, por exemplo, veja a figura, com o seu interior completamente negro e um pequeno orifício, onde toda a radiação que por ele entra tem poucas chances de sair. Porém se aquecermos o corpo até uma certa temperatura, da cavidade irá imergir (sair) radiação electromagnética a que dá o nome da radiação do corpo negro. Assim,

A Radiação do corpo negro, é a radiação electromagnética emitida por um corpo negro quando aquecido a uma certa temperatura.

Já vimos que todo corpo pode ser considerado emissor de radiação infravermelha em virtude da sua temperatura e que quanto maior é a temperatura do corpo menor é o seu comprimento de onda.

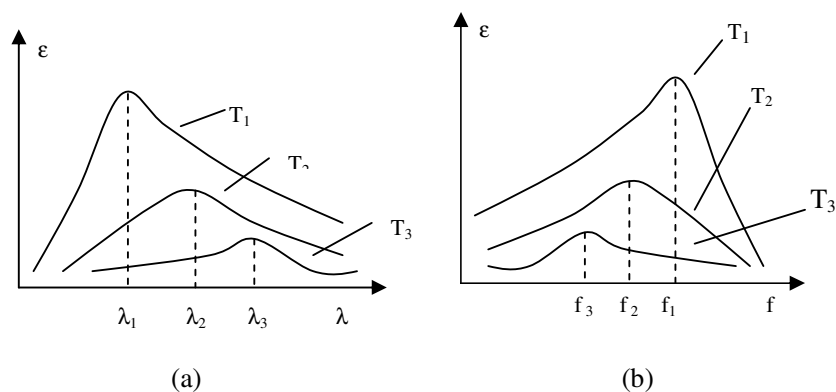


Para caracterizarmos a radiação do corpo negro necessitamos de definir uma nova grandeza física, a emissividade “ $\epsilon$ ”.

A emissividade, é a energia emitida por um corpo na unidade de tempo e na unidade de superfície.

A emissividade mede a quantidade de energia que sai da superfície de um corpo na unidade de tempo. A sua unidade no S.I. é o Watt por metro quadrado “W.m<sup>-2</sup>”.

Fazendo uma análise espectral da radiação dum corpo negro, isto é, medindo a emissividade em função do comprimento de onda ou da frequência, para diferentes temperaturas, obtém-se a família de curvas apresentadas nas figuras (a) e (b).



Note que:  $T_1 > T_2 > T_3$

Com base nas curvas é fácil concluir que:

- Quando a temperatura do corpo negro cresce, a emissividade de cada banda de comprimentos de onda também cresce.
- Mesmo a 1000 K, apenas uma pequena fracção da radiação do corpo negro é constituída por radiação visível.
- Para cada temperatura  $T$ , a emissividade tem um máximo à um determinado comprimento de onda ou determina da frequência, a partir do qual a emissividade decresce com o aumento do comprimento de onda ou da frequência.
- Quanto maior é a temperatura do corpo menor é o comprimento de onda máximo da radiação emitida e conseqüente mente maior é a frequência (pois  $f$  é inversamente proporcional a  $\lambda$ ).
- Quanto maior é a temperatura maior é a emissividade.
- A área subentendida pela curva espectral, dá-nos a emissividade total à uma determinada temperatura.



**Caro aluno, terminado o estudo do texto, continue resumindo-o e comparando o seu resumo ao que se apresenta na secção seguinte.**



---

## Resumo da lição



### Resumo

Nesta lição você aprendeu que:

- A radiação térmica, é a radiação electromagnética que um corpo emite à custa da sua energia interna, isto é, a custa da sua temperatura.
- A radiação térmica é constituída, fundamentalmente, por radiação infravermelha.
- A troca de calor por **condução** ocorre quando se põe em contacto dois corpos e o calor se transmite de um ponto para outro do corpo sem que haja transporte de matéria. A transferência de calor por condução ocorre apenas nos sólidos.
- A troca de calor por **convecção** ocorre quando as partículas que constituem o corpo se deslocam dum ponto para outro devido à variação da sua densidade. Esta forma de transferência de calor ocorre nos líquidos e gases.
- A troca de calor por **radiação** é aquela que ocorre através de ondas ou radiações electromagnéticas.
- A teoria de Prévost estabelece que - quando um corpo está a mesma temperatura que o meio que o circunda, a radiação emitida para o meio que o circunda é igual a radiação absorvida pelo mesmo meio.
- Um corpo que é um bom absorvente de radiação é também um bom emissor, pois caso contrário, a sua temperatura iria aumentar para além (acima) da temperatura do meio circundante.
- Corpo negro é aquele que melhor absorve e emite radiação electromagnética.
- A Radiação do corpo negro, é a radiação electromagnética emitida por um corpo negro quando aquecido a uma certa temperatura.
- A emissividade, é a energia emitida por um corpo na unidade de tempo e na unidade de superfície. A emissividade mede a quantidade de energia que sai da superfície de um corpo na unidade de tempo. A sua unidade no S.I. é o Watt por metro quadrado “ $W.m^{-2}$ ”.
- Fazendo uma análise espectral da radiação dum corpo negro, conclui-se que:
  - Quando a temperatura do corpo negro cresce, a emissividade de cada banda de comprimentos de onda



também cresce.

- Mesmo a 1000 K, apenas uma pequena fracção da radiação do corpo negro é constituída por radiação visível.
- Para cada temperatura  $T$ , a emissividade tem um máximo à um determinado comprimento de onda ou determina da frequência, a partir do qual a emissividade decresce com o aumento do comprimento de onda ou da frequência.
- Quanto maior é a temperatura do corpo menor é o comprimento de onda máximo da radiação emitida e consequente mente maior é a frequência (pois  $f$  é inversamente proporcional a  $\lambda$ ).
- Quanto maior é a temperatura maior é a emissividade.
- A área subentendida pela curva espectral, dá-nos a emissividade total à uma determinada temperatura.

**Ótimo, caro amigo! O seu resumo condiz com o que acabou de estudar nesta secção, então passe à realização das actividades de fixação.**

---

## Actividades de Fixação

**Caro aluno, realize as actividades de fixação e assegure a compreensão da matéria que acabou de estudar. Mão na massa!**

1. Assinale com “V” as afirmações verdadeiras e com “F” as que são falsas.
  - a) A radiação térmica é constituída, fundamentalmente, por radiação infravermelha.
  - b) Quando um corpo está a mesma temperatura que o meio que o circunda, não há troca de calor entre o corpo e o meio.
  - c) Quando um corpo está a mesma temperatura que o meio que o circunda, a radiação emitida para o meio que o circunda é igual a radiação absorvida pelo mesmo meio.

- d) Um corpo que é um bom absorvente de radiação é também um bom emissor.
- e) Corpo negro é aquele que melhor absorve e emite radiação electromagnética.
- f) Quando a temperatura do corpo negro cresce, a emissividade de cada banda de comprimentos de onda também cresce.
- g) Quanto maior é a temperatura do corpo maior é o comprimento de onda máximo da radiação emitida.
- h) Quanto maior é a temperatura do corpo maior é a frequência mínima da radiação emitida.

**Ótimo, caro amigo! Terminada a realização das actividades de fixação, compare as suas respostas com as que se apresenta ca chave de correcção.**

#### **Chave de correcção**

- 1. a) V
- b) F
- c) V
- d) V
- e) V
- f) V
- g) F
- h) V

Caro aluno, se acertou em todas as actividades de fixação desta lição, então passe à realização das respectivas actividades de avaliação.

## Avaliação



### Avaliação

**Amigo aluno, resolva no seu caderno de exercícios as questões que seguem e avalie você mesmo o seu nível da compreensão da matéria tratada nesta lição.**

1. Assinale com “V” as afirmações verdadeiras e com “F” as que são falsas.
  - i) A radiação térmica é constituída, fundamentalmente, por radiação infravermelha.
  - j) Quando um corpo está a mesma temperatura que o meio que o circunda, não há troca de calor entre o corpo e o meio.
  - k) Quando um corpo está a mesma temperatura que o meio que o circunda, a radiação emitida para o meio que o circunda é igual a radiação absorvida pelo mesmo meio.
  - l) Um corpo que é um bom absorvente de radiação é também um bom emissor.
  - m) Corpo negro é aquele que melhor absorve e emite radiação electromagnética.
  - n) Quando a temperatura do corpo negro cresce, a emissividade de cada banda de comprimentos de onda também cresce.
  - o) Quanto maior é a temperatura do corpo maior é o comprimento de onda máximo da radiação emitida.
  - p) Quanto maior é a temperatura do corpo maior é a frequência mínima da radiação emitida.

**Ótimo amigo! Agora compare as suas soluções com as que se apresentam no fim do módulo e passe ao estudo ad lição seguinte se tiver acertado em 100% na resolução das questões das actividades de avaliação.**

## Lição 5

### Leis da Radiação do Corpo Negro – Lei de Wien

#### Introdução

Na lição anterior vimos as propriedades da radiação do corpo negro. Porém estas propriedades conduzem-nos as leis fundamentais da radiação emitida pelos corpos a uma dada temperatura.

Nesta lição iremos interpretar e aplicar a primeira das duas leis - a Lei de Wien, e na lição seguinte iremos aprender a segunda lei – a Lei de Stefan – Boltzman.

Ao concluir esta unidade você será capaz de:

- *Explicar* a Lei de Wien.
- *Aplicar* a Lei de Wien na resolução de exercícios concretos.



#### Objectivos

### Leis da Radiação do Corpo Negro

#### 1. Lei de Wien

Do gráfico vimos que quanto maior é a temperatura do corpo negro, menor é o comprimento de onda máximo. Isto significa que existe uma relação de inversa proporcionalidade entre a temperatura do corpo e o comprimento de onda máximo da radiação por ele emitida. Esta conclusão constitui a chamada lei de Wien. Por isso,

A Lei de Wien estabelece que o comprimento de onda máximo da radiação emitida por um corpo negro é inversamente proporcional à sua temperatura  $\left( \lambda_{\max} \sim \frac{1}{T} \right)$ .



Como consequência da Lei de Wien temos a equação:

$$\lambda_{\max} = \frac{b}{T}$$

onde  $b$  é a constante de Wien ( $b = 2,7 \cdot 10^{-3} \text{ m.K}$ ),  $T$  é a temperatura em Kelvin “K”, e  $\lambda_{\max}$  é o comprimento de onda máximo da radiação emitida pelo corpo negro que vem expressa em metros “m” no S.I.

**Ótimo querido estudante, terminado estudo do texto desta lição; resuma-o e compre-o ao resumo que encontrará a seguir.**

---

## Resumo da lição



### Resumo

Nesta lição você aprendeu que:

- A Lei de Wien estabelece que o comprimento de onda máximo da radiação emitida por um corpo negro é inversamente proporcional à sua temperatura  $\left( \lambda_{\max} \sim \frac{1}{T} \right)$ .
- Como consequência da Lei de Wien temos a equação:

$$\lambda_{\max} = \frac{b}{T}$$

**Maravilha! O seu resumo condiz perfeitamente com o apresentado nesta secção. Agora realize as actividades que se seguem e assegure a compreensão da matéria que acabou de aprender.**

## Actividades de Fixação



### Actividades

Caro aluno, resolva com cuidado e muita atenção as actividades de fixação que se seguem.

1. Uma lâmpada emite radiação verde de 500 nm de comprimento de onda. Calcule a temperatura a que se encontra a referida lâmpada.
2. A frequência da radiação emitida por uma estrela supergigante é de  $6 \cdot 10^{15}$  Hz. Estime a temperatura da estrela.

**Amigo aluno, já terminou a resolução das questões das actividades de fixação? Então confira as suas respostas com as que se apresentam na chave de correcção. Anda!**

### Chave de Correção

1. Para resolvermos este exercício precisamos apenas de tirar os dados e aplicar a equação que resulta da Lei de Wien. O valor da constante de Wien pode-se usar:  $3 \cdot 10^{-3}$  m.K.

Dados	Fórmula	Resolução
$\lambda = 500 \text{ nm} = 5 \cdot 10^{-7} \text{ m}$ $b = 3 \cdot 10^{-3} \text{ m.K}$ $T = ?$	$\lambda_{\text{max}} = \frac{b}{T}$	$5 \cdot 10^{-7} = \frac{3 \cdot 10^{-3}}{T}$ $T = \frac{3 \cdot 10^{-3}}{5 \cdot 10^{-7}}$ $T = 6000 \text{ K}$

**Resposta:** A lâmpada encontra-se a uma temperatura de 6000 K.

2. Para resolver este exercício temos primeiro que calcular o comprimento de onda correspondente a frequência dada e em seguida aplicar a equação que traduz a Lei de Wien.

Dados	Fórmula	Resolução
$f = 6 \cdot 10^{15} \text{ Hz}$ $b = 3 \cdot 10^{-3} \text{ m.K}$ $T = ?$	$c = \lambda \cdot f$ $\lambda_{\text{max}} = \frac{b}{T}$	$3 \cdot 10^8 = \lambda \cdot 6 \cdot 10^{15}$ $\lambda = \frac{3 \cdot 10^8}{6 \cdot 10^{15}}$ $\lambda = 5 \cdot 10^{-8} \text{ m}$



		$5 \cdot 10^{-8} = \frac{3 \cdot 10^{-3}}{T}$ $T = \frac{3 \cdot 10^{-3}}{5 \cdot 10^{-8}}$ $T = 6 \cdot 10^4 \text{ K}$
--	--	--

**Resposta:** A temperatura da estrela é de 60000 K.

**Amigo estudante, continue o estudo desta lição realizando as actividades de avaliação que constam da secção seguintes.**

---

## Actividades de Avaliação



### Avaliação

**Amigo aluno, resolva no seu caderno as actividades que se propõem a seguir e avalie você mesmo o seu nível da apreensão da matéria tratada nesta lição. Mãos à obra!**

1. A chama de um fogão a gás emite radiação cujo comprimento de onda máximo é de 700 nm. Calcule a temperatura da referida chama.
2. Estime a temperatura de um pedaço de ferro aquecido, sabendo que a frequência mínima da radiação por ele emitida é de  $3 \cdot 10^{14}$  Hz.
3. Qual é o comprimento de onda máximo da radiação emitida pelo corpo humano a uma temperatura de  $37^\circ\text{C}$ ?
4. Em locais de total escuridão pode-se tirar uma foto “normal” usando um flash luminoso de radiação visível. Nestas condições, as partes negras do corpo fotografado saem novamente negras e as partes brancas também igualmente brancas na fotografia. Porém, se tirar uma fotografia na base de radiação infravermelha emitida pelo corpo (fotografia na base de infravermelho), as partes negras do corpo aparecem mais vivas (claras) do que as partes mais claras. Explique essa diferença.



5. Dois corpos incandescentes A e B, emitem, respectivamente radiação de cor laranja e azul. (a) Qual deles se encontra à maior temperatura? Justifique. (b) Com base no espectro óptico, dê um possível comprimento de onda para a radiação emitida pelo corpo A e s emitida pelo corpo B.
6. Explique porque é que:
- a) a chama de um fogão à gás é laranja na sua parte externa e azul na parte interna?
- b) a estrela Sirius A muda constantemente de cor?

A radiação visível situa-se na banda dos 400 nm a 700 nm. Quais são as temperaturas máximas e mínimas que um corpo negro deve ter para que emita radiação cujo comprimento de onda máximo esteja nessa banda de comprimentos de onda.

**Caro amigo, compare as suas soluções com as que se apresentam no fim do módulo. Lembre-se que só poderá passar ao estudo da lição seguinte se tiver acertado em todas as questões das actividades de avaliação!**

## Lição 6

### Leis da Radiação do Corpo Negro – Lei de Stefan Boltzman

#### Introdução

Caro aluno, já sabe que as propriedades da radiação do corpo negro conduzem-nos as leis fundamentais da radiação emitida pelos corpos a uma dada temperatura.

Nesta lição iremos interpretar a aplicar a a Lei de Stefan – Boltzman.

Ao concluir esta unidade você será capaz de:

- *Explicar* a Lei de Stefan - Boltzman.
- *Aplicar* a Lei de Stefan - Boltzman na resolução de exercícios concretos.



#### Objectivos

#### Lei de Stefan-Boltzman

Do gráfico vimos que quanto maior é a temperatura maior é a emissividade do corpo negro. Isto mostra que existe uma relação de directa proporcionalidade entre a emissividade e a temperatura.

A Lei de Stefan-Boltzman, estabelece que a emissividade de um corpo negro é directamente proporcional à quarta potência da sua temperatura ( $\varepsilon \sim T^4$ ).

Como consequência da Lei de Stefan-Boltzman temos a equação:

$$\varepsilon = \sigma \cdot T^4$$

onde  $\sigma$  é a constante de Stefan-Boltzman ( $\sigma = 5,7 \cdot 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$ ).

Ótimo querido estudante, terminado estudo do texto desta lição; resume-o e compre-o ao resumo que encontrará a seguir.

---

## Resumo da lição



### Resumo

Nesta lição você aprendeu que:

- A Lei de Stefan-Boltzman, estabelece que a emissividade de um corpo negro é directamente proporcional à quarta potência da sua temperatura ( $\varepsilon \sim T^4$ ).
- Como consequência da Lei de Stefan – Boltzman temos a equação:

$$\varepsilon = \sigma.T^4$$

**Maravilha! O seu resumo condiz perfeitamente com o apresentado nesta secção. Agora realize as actividades que se seguem e assegure a compreensão da matéria que acabou de aprender.**

## Actividades de Fixação



### Actividades

Caro aluno, resolva com cuidado e muita atenção as actividades de fixação que se seguem.

1. Uma lâmpada emite radiação verde de 400 nm de comprimento de onda.
  - a) Calcule a temperatura a que se encontra a referida lâmpada.
  - b) Calcule a emissividade da mesma.

Amigo aluno, já terminou a resolução das questões das actividades de fixação? Então confira as suas respostas com as que se apresentam na chave de correção. Anda!

### Chave de Correção

- a) Para resolvermos este exercício precisamos apenas de tirar os dados e aplicar a equação que resulta da Lei de Wien. O valor da constante de Wien pode-se usar:  $3 \cdot 10^{-3}$  m.K.

Dados	Fórmula	Resolução
$\lambda = 400 \text{ nm} = 4 \cdot 10^{-7} \text{ m}$ $b = 3 \cdot 10^{-3} \text{ m.K}$ $T = ?$	$\lambda_{\text{max}} = \frac{b}{T}$	$4 \cdot 10^{-7} = \frac{3 \cdot 10^{-3}}{T}$ $T = \frac{3 \cdot 10^{-3}}{4 \cdot 10^{-7}}$ $T = 7,5 \cdot 10^3 \text{ K}$

**Resposta:** A lâmpada encontra-se a uma temperatura de 7500 K.

- a) Para calcular a emissividade temos que aplicar a equação resultante da Lei de Stefan – Boltzman.

Dados	Fórmula	Resolução
$T = 7500 \text{ K}$ $\sigma = 5,7 \cdot 10^{-8} \text{ W.m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$ $\varepsilon = ?$	$\varepsilon = \sigma \cdot T^4$	$\varepsilon = 5,7 \cdot 10^{-8} \cdot (7500)^8$ $\varepsilon = 5,7 \cdot 10^{-8} \cdot 3,2 \cdot 10^{16}$ $\varepsilon = 1,8 \cdot 10^9 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$

**Resposta:** A emissividade da lâmpada é de  $1,8 \cdot 10^9 \text{ W.m}^{-2}$

Amigo estudante, continue o estudo desta lição realizando as actividades de avaliação que constam da secção seguintes.

## Actividades de Avaliação



### Avaliação

**Amigo aluno, resolva no seu caderno as actividades que se propõem a seguir e avalie você mesmo o seu nível da apreensão da matéria tratada nesta lição. Mãos à obra!**

1. Na astronomia as estrelas são classificadas segundo a sua classe espectral a qual é função da temperatura. As classes são designadas pelas letras O, B, A, F, G, K, M, sendo “O” a classe das estrelas mais quentes e “M” das menos quentes. Na classe B, por exemplo, encontram-se estrelas cuja temperatura varia entre os 11000 e 30000 K. Porém na classe G compreende estrelas com temperaturas entre os 5000 e 6000 K.
  - a) Calcule, em nm, a banda de comprimentos de onda da radiação emitida pelas estrelas do tipo G.
  - b) Com base na tabela dada, diga em que zona do espectro das ondas electromagnéticas se encontra esta radiação emitida pelas estrelas do tipo G?

Radiação	Banda de Comprimentos de onda
Ultravioleta	1 a 400
Radiação visível	400 a 700
Infravermelha	700 a 1000

- c) A estrela capella emite radiação cujo comprimento de onda máximo é de 557 nm. A que classe espectral pertence?
  - d) A estrela Rigel emite radiação cuja frequência mínima é de  $1,2 \cdot 10^{15}$  Hz. Estime a sua temperatura e classifique-a.
2. Calcule a emissividade de uma estrela Supergigante cuja temperatura é de 30000 K.
3. A emissividade do sol é de cerca de  $7,4 \cdot 10^7$  W/m<sup>2</sup>. Estime a temperatura do sol.

**Caro amigo, compare as suas soluções com as que se apresentam no fim do módulo. Lembre-se que só poderá passar ao estudo da lição seguinte se tiver acertado em todas as questões das actividades de avaliação!**

# Lição 7

## Gráficos $\epsilon(\lambda)$ e $\epsilon(f)$

### Introdução

Caro aluno, já sabe que a emissividade, é a energia emitida por um corpo na unidade de tempo e na unidade de superfície e ela mede a quantidade de energia que sai da superfície de um corpo na unidade de tempo.

Nesta lição vamos aprofundar o nosso conhecimento sobre a radiação do corpo negro ao interpretar e esboçar os gráficos da emissividade em função do comprimento de onda e da frequência emitida pelo mesmo,

Ao concluir esta unidade você será capaz de:



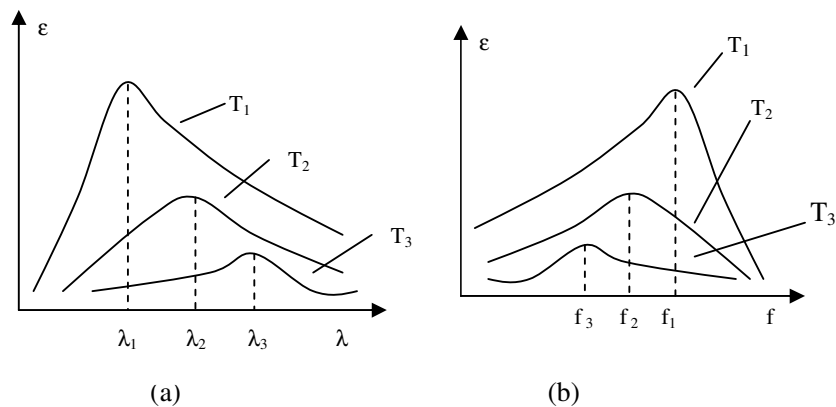
#### Objectivos

- Apresentar esboços do gráfico da emissividade em função do comprimento de onda e da frequência -  $\epsilon(\lambda)$  e  $\epsilon(f)$ .
- Interpretar o gráfico da emissividade em função do comprimento de onda e da frequência -  $\epsilon(\lambda)$  e  $\epsilon(f)$ .

### Gráfico da Emissividade em Função do Comprimento de Onda

Já aprendemos que na análise espectral da radiação dum corpo negro, isto é, medindo a emissividade em função do comprimento de onda ou da frequência, para diferentes temperaturas, obtém-se a família de curvas.

Agora que já possui conhecimentos sobre as Leis de Wien e Stefan – Boltzman podemos com parar estas famílias de curvas com estas leis, veja figuras (a) e (b).



Note que:  $T_1 > T_2 > T_3$

Da análise podemos concluir que:

- Quando a temperatura do corpo negro cresce, a emissividade de cada banda de comprimentos de onda e na banda de frequências também cresce.

Como vê, esta conclusão está de acordo com a Lei de Stefan - Boltzman.

- Para cada temperatura  $T$ , a emissividade tem um máximo à um determinado comprimento de onda ou determina da frequência, a partir do qual a emissividade decresce com o aumento do comprimento de onda ou da frequência.
- Quanto maior é a temperatura do corpo menor é o comprimento de onda máximo da radiação emitida e consequente mente maior é a frequência (pois  $F$  é inversamente proporcional a  $\lambda$ ).

Esta conclusão está de acordo com a Lei de deslocamento de Wien. Por isso, no gráfico da emissividade em função do comprimento de onda há um deslocamento para a direita enquanto que no gráfico da emissividade em função da frequência há um deslocamento para a esquerda..

Para calcular a área subentendida por qualquer das curvas espectrais é necessário calcular emissividade total do corpo negro aplicando a equação resultante da Lei de Stefan – Boltzman.

**Querido aluno, terminado o estudo do texto desta lição; faça um pequeno resumo da matéria nela tratada e compare-o ao que se apresenta a seguir.**

## Resumo da lição



### Resumo

Nesta lição você aprendeu que:

- Quando a temperatura do corpo negro cresce, a emissividade de cada banda de comprimentos de onda e na banda de frequências também cresce.
- Para cada temperatura  $T$ , a emissividade tem um máximo à um determinado comprimento de onda ou determina da frequência, a partir do qual a emissividade decresce com o aumento do comprimento de onda ou da frequência.
- Quanto maior é a temperatura do corpo menor é o comprimento de onda máximo da radiação emitida e conseqüente mente maior é a frequência (pois  $f$  é inversamente proporcional a  $\lambda$ ).

**Isso mesmo caro aluno! O seu resumo condiz com o que acabou de estudar nesta secção, então passe à realização das actividades de fixação que constam da secção seguinte.**



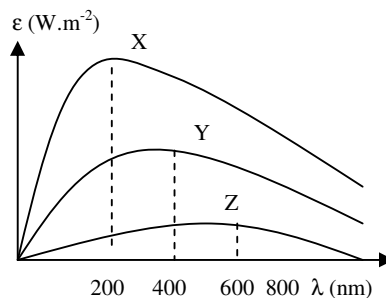
## Actividades



### Actividades

Caro aluno, resolva no seu caderno de exercícios as questões que se seguem e assegure a compreensão da matéria aprendida no estudo do texto e do resumo desta lição.

- O gráfico representa a emissividade de três estrelas X, Y e Z em função do comprimento de onda.



- Sem efectuar nenhum cálculo, compare a temperatura das três estrelas.
- Calcule a temperatura da estrela X.
- Calcule a emissividade da estrela Y.
- Calcule a área subentendida pela gráfico da estrela “Z”.
- Em quantas vezes a emissividade da estrela X é maior que a de Y?

**Ótimo querido aluno, se você acertou em todas as questões das actividades de fixação, compare as suas respostas com as que se apresentam na chave de correcção.**

### Chave de Correcção

Para resolvermos este exercício devemos nos apoiar nas leis de Wien e de Stefan - Boltzman.

- Da Lei de Stefan - Boltzman sabemos que quanto maior é a temperatura maior é a emissividade. Por isso, a estrela de maior temperatura é a “X”, depois segue-se a “Y” e finalmente a “Z”.
- Neste caso temos que tirar os dados observando o gráfico que no caso da estrela “X” o comprimento de onda máximo é de 200 nm.

Dados	Fórmula	Resolução
$\lambda = 200 \text{ nm} = 2 \cdot 10^{-7} \text{ m}$ $b = 3 \cdot 10^{-3} \text{ m.K}$ $T = ?$	$\lambda_{\text{max}} = \frac{b}{T}$	$2 \cdot 10^{-7} = \frac{3 \cdot 10^{-3}}{T}$ $T = \frac{3 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 10^{-7}}$ $T = 15000 \text{ K}$

**Resposta:** A temperatura da estrela “X” é de 15000 K.

- c) Para determinar a emissividade da estrela “Y” temos que calcular em primeiro lugar a sua temperatura da mesma forma como calculamos para a estrela “X”. Só depois é que vamos aplicar a Lei de Stefan – Boltzman.

Dados	Fórmula	Resolução
$\lambda = 600 \text{ nm} = 6 \cdot 10^{-7} \text{ m}$ $b = 3 \cdot 10^{-3} \text{ m.K}$ $T = ?$	$\lambda_{\text{max}} = \frac{b}{T}$	$6 \cdot 10^{-7} = \frac{3 \cdot 10^{-3}}{T}$ $T = \frac{3 \cdot 10^{-3}}{6 \cdot 10^{-7}}$ $T = 5000 \text{ K}$
	$\varepsilon = \sigma \cdot T^4$	$\varepsilon = 5,7 \cdot 10^{-8} \cdot (5000)^4$ $\varepsilon = 5,7 \cdot 10^{-8} \cdot 6,25 \cdot 10^8$ $\varepsilon = 3,563 \cdot 10^6 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$

**Resposta:** A emissividade da estrela “Y” é de  $1,84 \cdot 10^7 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ .

- d) A área subentendida pelo gráfico da estrela “Z” é igual a emissividade. Por isso, para resolvermos esta alínea vamos proceder de forma semelhante a da alínea anterior.

Dados	Fórmula	Resolução
$\lambda = 400 \text{ nm} = 4 \cdot 10^{-7} \text{ m}$ $b = 3 \cdot 10^{-3} \text{ m.K}$ $T = ?$	$\lambda_{\text{max}} = \frac{b}{T}$  $\epsilon = \sigma \cdot T^4$	$4 \cdot 10^{-7} = \frac{3 \cdot 10^{-3}}{T}$  $T = \frac{3 \cdot 10^{-3}}{4 \cdot 10^{-7}}$ $T = 7500 \text{ K}$  $\epsilon = 5,7 \cdot 10^{-8} \cdot (7500)^4$ $\epsilon = 5,7 \cdot 10^{-8} \cdot 3,2 \cdot 10^{15}$ $\epsilon = 1,84 \cdot 10^7 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$

**Resposta:** A área subentendida pelo gráfico da estrela “Z” é igual a  $1,84 \cdot 10^7 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ .

- e) Para calcular o número de vezes que a emissividade da estrela “X” é maior do que a da estrela “Y”, temos que dividir a

emissividade da estrela “X” pela da estrela “Y”  $\left( \frac{\epsilon_X}{\epsilon_Y} = ? \right)$ .

Assim,

Dados	Fórmula	Resolução
$T_X = 15000 \text{ K}$ $T_Y = 7500 \text{ K}$  $\frac{\epsilon_X}{\epsilon_Y} = ?$	$\epsilon_A = \sigma \cdot T_A^4 ; \epsilon_B = \sigma \cdot T_B^4$ $\Rightarrow \frac{\epsilon_A}{\epsilon_B} = \frac{\sigma \cdot T_A^4}{\sigma \cdot T_B^4}$ $\Rightarrow \frac{\epsilon_A}{\epsilon_B} = \frac{T_A^4}{T_B^4}$ $\Rightarrow \frac{\epsilon_A}{\epsilon_B} = \left( \frac{T_A}{T_B} \right)^4$	$\frac{\epsilon_A}{\epsilon_B} = \left( \frac{15000}{7500} \right)^4$ $\frac{\epsilon_A}{\epsilon_B} = (2)^4$ $\frac{\epsilon_A}{\epsilon_B} = 16$ $\epsilon_A = 16\epsilon_B$

**Resposta:** A emissividade da estrela “X”, é dezasseis vezes maior do que a da estrela “Y”.

**Caro aluno, se acertou em todas as questões das actividades de fixação, passe à realização das actividades de avaliação.**

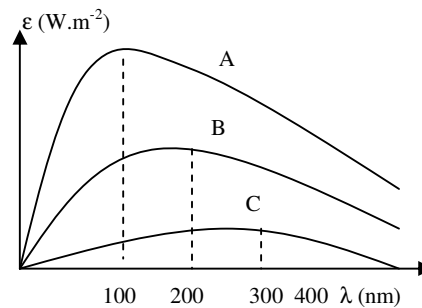
## Actividades de Avaliação



### Avaliação

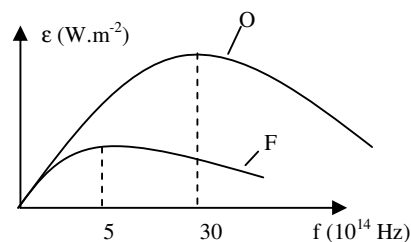
Caro aluno, resolva as questões das actividades de avaliação e meça você mesmo o seu grau de compreensão da matéria estudada nesta lição. Mãos a obras!

1. Observe o gráfico da emissividade em função do comprimento de onda de três estrelas A, B e C.



- a) Sem efectuar nenhum cálculo, compare a temperatura das três estrelas.
- b) Calcule a temperatura da estrela A.
- c) Calcule a emissividade da estrela B.
- d) Calcule a área subentendida pelo gráfico da estrela C.
- e) Em quantas vezes a emissividade da
- f) estrela A é maior que a de B?

2. O gráfico representa a emissividade duma estrela do tipo “O” e outra do tipo “F” em função da frequência.



- a) Determine a temperatura da estrela do tipo O.
- b) Calcule a emissividade da estrela do tipo F.
- c) Represente nos mesmo eixos o gráfico da emissividade de uma estrela cuja temperatura é de 20000 K.

**Estimado aluno, compare as suas soluções com as que se apresenta no fim do módulo e passe ao estudo da lição seguinte se tiver a alcançado 100% de acertos na resolução das actividades avaliação. Sucessos!**

## Lição 8

---

# Física Atómica – Fenómeno Fotoeléctrico

## Introdução

Após o estudo das radiações electromagnéticas, suas propriedades e aplicações, vamos entrar num novo capítulo da Física, a Física Atómica.

Nesta lição vamos aprender um fenómeno cuja explicação intrigou durante longos anos e que culminou com a descoberta de um novo ramo da Física, a Mecânica Quântica.

Ao concluir esta unidade você será capaz de:

- Definir a física atómica.
- Aplicar as leis do fenómeno fotoeléctrico na resolução de exercícios concretos.



### Objectivos

## FÍSICA ATÓMICA

A Física atómica é o ramo da Física que se ocupa das interacções ao nível da electrosfera dos átomos.

Isto significa que a Física atómica ocupa-se dos fenómenos relacionados com os electrões.

Neste capítulo iremos estudar o Fenómeno Fotoeléctrico, os Raios-x e os níveis de energia no átomo de hidrogénio.

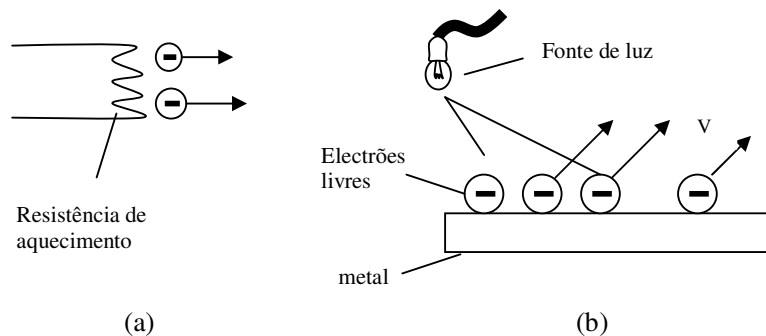
## FENÓMENO FOTOELÉCTRICO

Da Química sabe que nos metais, os electrões da última camada são chamados electrões livres ou de valência, pois são os electrões que se movimentam livremente no átomo e são responsáveis pela valência que caracteriza a ligação do metal com qualquer outro elemento. Por isso,

estes electrões, encontram-se nas superfícies dos metais, assim como no seu interior.

Os electrões livres da superfície de um metal podem ser retirados do átomo de duas formas:

- Através do fornecimento de energia térmica ao átomo, isto é, aquecendo o metal, veja figura (a), - Emissão termoelectrónica, ou,
- Através de energia luminosa, isto é, fazendo incidir luz sobre a superfície de um metal, veja figura (b), Emissão fotoeléctrica (pois considera-se que a luz é constituída por partículas que não possuem nem massa nem carga, chamadas fotões).



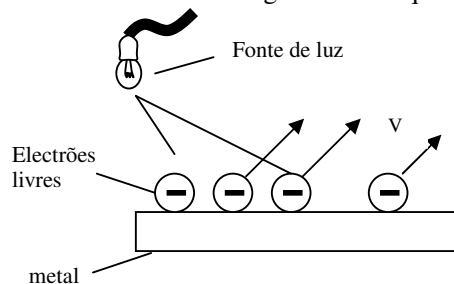
Assim podemos concluir que:

*A Emissão Termoelectrónica é a emissão dos electrões livres da superfície de um metal, à custa de energia térmica.*

*Emissão Fotoeléctrica, é a emissão dos electrões livres da superfície de um metal, à custa de energia luminosa.*

### Leis do Fenómeno Fotoeléctrico

O fenómeno fotoeléctrico, tal como os demais fenómenos, obedece a princípios ou leis básicas, que são deduzidas experimentalmente. Porém, comecemos por nos familiarizar com alguns termos que iremos usar de ora em diante.



*Radiação incidente, é a radiação ou luz que incide sobre a superfície do metal e que provem da fonte luminosa.*

*Fotoelectrões são os electrões emitidos da superfície do metal (com uma determinada velocidade  $V$ ).*

Já sabemos que durante o fenómeno fotoeléctrico são emitidos electrões – os fotoelectrões. Por isso, é importante saber quantos fotoelectrões são emitidos em cada segundo, isto é, em cada unidade de tempo, durante a dedução experimental das leis que regem o fenómeno. Assim,

A corrente fotoeléctrica “ $I$ ”, é o número de fotoelectrões emitidos na unidade de tempo, durante o fenómeno fotoeléctrico.

Do seu dia a dia, sabe que uma lâmpada de 100 W ilumina melhor do que outra de 60 W. Por isso, quanto maior é a potência da fonte luminosa, maior é a sua capacidade de iluminar, isto é, maior é a sua intensidade luminosa.

### **1ª Lei do fenómeno fotoeléctrico**

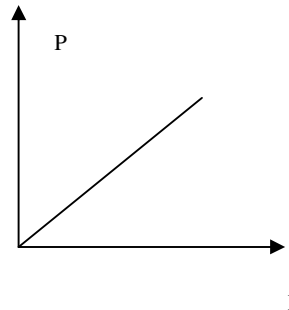
Experimentalmente verificou-se que durante o fenómeno fotoeléctrico, o número de fotoelectrões emitidos na unidade de tempo (corrente fotoeléctrica), aumenta com o aumento da intensidade da fonte luminosa, ou seja, com o aumento da potência luminosa da fonte. Por isso,

*1ª Lei do fenómeno fotoeléctrico - A intensidade da corrente fotoeléctrica, ou seja, o número de fotoelectrões emitidos na unidade de tempo, é directamente proporcional à intensidade da fonte luminosa.*

Mas como a intensidade da fonte luminosa depende da potência da fonte, podemos afirmar que a intensidade da corrente fotoeléctrica é directamente proporcional à potência da fonte. Isto significa que:

- se a potência da fonte duplica, a corrente fotoeléctrica também duplica.
- se a potência da fonte triplica, a corrente fotoeléctrica também triplica.
- se a potência da fonte diminui quatro vezes, a corrente fotoeléctrica também diminui quatro vezes, etc.

Como a corrente fotoelétrica é directamente proporcional à potencia da fonte, o gráfico da potência “P” em função da intensidade da corrente fotoelétrica “I” deve ser uma linha recta, veja a figura.



Já vimos que durante o fenómeno fotoelétrico, a intensidade da corrente fotoelétrica, ou seja, o número de fotoelectrões emitidos na unidade de tempo é directamente proporcional à intensidade luminosa da fonte. Isto significa que quanto maior é a intensidade luminosa da fonte, maior é o número de fotoelectrões emitidos. Porém, experimentalmente verificou-se que a velocidade máxima dos fotoelectrões não se altera com o aumento da intensidade luminosa ou potência da lâmpada.

Experimentalmente verificou-se que para variarmos a velocidade máxima dos fotoelectrões emitidos deveríamos variar a frequência da radiação incidente, ou seja, variar a frequência da luz emitida pela fonte que provoca o fenómeno fotoelétrico. Isto significa que existe uma relação de directa proporcionalidade entre a frequência da radiação incidente e a velocidade dos fotoelectrões emitidos. Por isso podemos enunciara a 2<sup>a</sup> Lei do Fenómeno Fotoelétrico da seguinte forma:

*2<sup>a</sup> Lei do Fenómeno Fotoelétrico – a velocidade máxima dos fotoelectrões emitidos é directamente proporcional à frequência da radiação incidente.*

Isto significa que quanto maior (ou menor) é a frequência da radiação incidente, maior (menor) é a velocidade máxima dos fotoelectrões emitidos.

Já sabemos que a velocidade máxima dos fotoelectrões varia com a frequência da radiação incidente. Por isso, se diminuirmos a frequência da radiação incidente, chegaremos a um ponto em que a velocidade máxima dos fotoelectrões se torna nula ( $V_{\max} = 0$ ). A frequência da radiação incidente cuja velocidade máxima dos fotoelectrões emitidos é nula dá-se o nome de frequência limite ou limite vermelho e representa-se por “ $f_0$ ”. Assim podemos enunciar a 3<sup>a</sup> Lei do Fenómeno Fotoelétrico.



*3ª Lei do Fenómeno Fotoeléctrico – Existe uma frequência mínima, chamada frequência limite ou limite vermelho, à partir da qual se dá início ao fenómeno fotoeléctrico.*

A frequência limite ou limite vermelho é característica de cada metal e tem um valor constante para determinado metal.

Com base na 3ª Lei do Fenómeno Fotoeléctrico podemos concluir que:

- Se a frequência da radiação incidente “ $f$ ” for maior do que a frequência limite “ $f_0$ ”, ocorre o fenómeno fotoeléctrico.
- Se a frequência da radiação incidente “ $f$ ” for menor do que a frequência limite “ $f_0$ ”, não ocorre o fenómeno fotoeléctrico.
- Se a frequência da radiação incidente “ $f$ ” for igual do que a frequência limite “ $f_0$ ”, ocorre o fenómeno fotoeléctrico, mas a velocidade máxima dos fotoelectrões emitidos será nula.

Ao comprimento de onda correspondente à frequência limite, dá-se o nome de comprimento de onda máximo “ $\lambda_0$ ” à partir do qual não ocorre o fenómeno fotoeléctrico, pois não se esqueça que a frequência e o comprimento de onda são grandezas inversamente proporcionais.

De realçar que quando a frequência da radiação incidente é igual à frequência limite, a velocidade máxima dos fotoelectrões emitidos é nula e conseqüentemente a energia cinética dos fotoelectrões emitidos será também nula.

A primeira Lei é fácil perceber do ponto de vista da teoria das ondas electromagnéticas porque se a radiação tem maior intensidade, maior intensidade deve ser absorvida pelos electrões. E por isso é possível emitir mais electrões. Também seria compreensível que os electrões emitidos tenham velocidades que vão de zero até um valor máximo, pois sabemos que no átomo os electrões possuem energias diferentes dependendo da camada em que se encontram. Mas nesta base, seria então de esperar que o aumento da intensidade da radiação incidente provocasse um aumento da velocidade máxima ou da energia cinética máxima dos fotoelectrões. Porém não é o que se verifica experimentalmente. Portanto a dependência da velocidade máxima dos fotoelectrões emitidos em função da frequência, bem como da existência de uma frequência limite tornou-se um enigma para a chamada mecânica clássica. Assim nasce a Teoria Quântica.

**Caro aluno, faça um pequeno resumo daquilo que acabou de aprender no estudo do texto desta lição e compare-o ao que se apresenta na secção seguinte.**

## Resumo da lição



### Resumo

Nesta lição você aprendeu que:

- A Física atômica é o ramo da Física que se ocupa das interações ao nível da electrosfera dos átomos.
- A Emissão Termoelectrónica é a emissão dos electrões livres da superfície de um metal, à custa de energia térmica.
- Emissão Fotoeléctrica, é a emissão dos electrões livres da superfície de um metal, à custa de energia luminosa.
- Radiação incidente, é a radiação ou luz que incide sobre a superfície do metal e que provem da fonte luminosa.
- Foelectrões são os elctrões emitidos da superfície do metal (com uma determinada velocidade  $V$ ).
- 1ª Lei do fenómeno fotoeléctrico - A intensidade da corrente fotoeléctrica, ou seja, o número de foelectrões emitidos na unidade de tempo, é directamente proporcional à intensidade da fonte luminosa.
- 2ª Lei do Fenómeno Fotoeléctrico – a velocidade máxima dos foelectrões emitidos é directamente proporcional à frequência da radiação incidente.
- 3ª Lei do Fenómeno Fotoeléctrico – Existe uma frequência mínima, chamada frequência limite ou limite vermelho, à partir da qual se dá início ao fenómeno fotoeléctrico.

**Muito bem querido aluno! Certamente o seu resumo condiz com o que se apresenta na secção seguinte, então realize as actividades de fixação.**

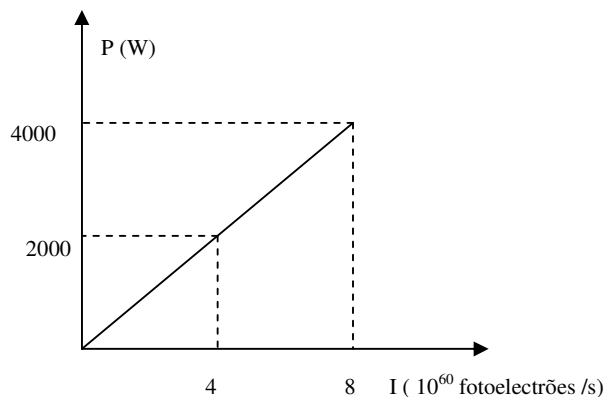
## Actividades de Fixação



### Actividades

Caro aluno, resolva as questões das actividades de fixação e assegure a compreensão da matéria estudada no texto e no resumo desta lição. Mãos a obra!

- O gráfico representa a potência da fonte luminosa em função da corrente fotoeléctrica, para um determinado metal.



- Quantos fotoelectrões são emitidos em cada segundo quando a potência da fonte é de 4000 W?
- Quantos fotoelectrões são emitidos em cada segundo quando a potência da fonte é de 3000 W?
- Qual deve ser a potência da fonte luminosa para que sejam emitidos  $4 \cdot 10^{60}$  fotoelectrões por segundo?
- Qual deve ser a potência da fonte luminosa para que sejam emitidos  $16 \cdot 10^{61}$  fotoelectrões por segundo?

**Ótimo caro amigo, terminada a realização das actividades de fixação; compare as suas respostas com as que se apresenta na chave de correcção.**

### Chave Correção

Para resolver este exercício temos que ter em conta as leis do fenómeno fotoeléctrico.

- Esta alínea podemos responder através da leitura do gráfico dado. Assim,

$$I = 8 \cdot 10^{60} \text{ fotoelectrões/s}$$



**Resposta:** Quando a potência é de 4000 W, são emitidos  $8 \cdot 10^{60}$  fotoelectrões/s.

- b) Para responder a esta pergunta temos que usar a proporcionalidade directa existente entre a potência e a corrente fotoelétrica. Assim,

$$4000 \text{ W} \quad \text{———} \quad 8 \cdot 10^{60} \text{ fotoelectrões/s}$$

$$3000 \text{ W} \quad \text{———} \quad X$$

$$X = 6 \cdot 10^{60} \text{ fot/s}$$

**Resposta:** Serão emitidos  $6 \cdot 10^{60}$  fotoelectrões/s.

- c) A resposta pode ser obtida através da leitura do gráfico. Assim,

$$P = 2000 \text{ W}$$

**Resposta:** A potência deve ser de 2000 W para que sejam emitidos  $4 \cdot 10^{60}$  fotoelectrões por segundo.

- d) Para responder a esta questão vamos usar novamente a proporcionalidade entre a potência e a corrente fotoelétrica. Assim,

$$2000 \text{ W} \quad \text{———} \quad 4 \cdot 10^{60} \text{ fotoelectrões/s}$$

$$X \quad \text{———} \quad 16 \cdot 10^{61} \text{ fotoelectrões/s}$$

$$\Rightarrow X = \frac{2000 \text{ W} \times 16 \times 10^{61} \text{ fot/s}}{4 \times 10^{60}}$$

$$\Rightarrow X = 80000 \text{ W}$$

**Resposta:** A potência deve ser de 80000 W para que sejam emitidos  $16 \cdot 10^{61}$  fotoelectrões por segundo.

**Isso mesmo caro amigo! Se você acertou em todas as questões das actividades de fixação, agora passe à realização das actividades de avaliação.**

---

## Actividades de Avaliação



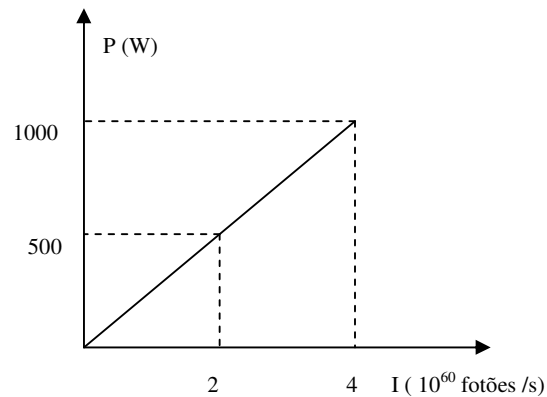
### Avaliação

Agora resolva no seu caderno as actividades que lhe propomos para que possa avaliar o seu progresso.

1. A custa de que tipo de energia ocorre a emissão termoelectrónica? Circunscreva a letra correspondente a resposta correcta  
A: Energia Luminosa.  
B: Energia Química.  
C: Energia Térmica.  
D: Energia Mecânica.
2. A custa de que tipo de energia ocorre a emissão fotoeléctrica? Circuncreva a letra correspondente a resposta correcta.  
A: Energia Luminosa.  
B: Energia Química.  
C: Energia Térmica.  
D: Energia Mecânica.
3. Assinale com “**V**” as afirmações verdadeira e com “**F**” as afirmações falsas.  
A: Os electrões emitidos da superfície do metal constituem a radiação incidente.  
B: O fenómeno Fotoeléctrico consiste na emissão de todos electrões de um corpo a custa da energia luminosa.  
C: A corrente fotoeléctrica é directamente proporcional a potência da fonte que ilumina a superfície do metal.  
D: Quanto menor é a intensidade luminosa da fonte, menor é o número de fotoelectrões emitidos na unidade de tempo.  
E: Os electrões emitidos da superfície do metal são também chamados de fotoelectrões.



4. Uma lâmpada de 200 W emite  $3 \cdot 10^{20}$  fotoelectrões por segundo, quando a sua luz incide sobre a superfície de um metal.
- Quantos fotoelectrões serão emitidos na unidade de tempo se se trocar a fonte por outra de 600 W?
  - Qual deve ser a potência da fonte para que sejam emitidos  $1.5 \cdot 10^{20}$  fotoelectrões por segundo?
5. O gráfico representa a potência da fonte luminosa em função da corrente fotoelétrica, para um determinado metal.



- Quantos fotoelectrões são emitidos em cada segundo quando a potência da fonte é de 500W?
- Quantos fotoelectrões são emitidos em cada segundo quando a potência da fonte é de 250W?
- Qual deve ser a potência da fonte luminosa para que sejam emitidos  $3 \cdot 10^{60}$  fotoelectrões por segundo?
- Qual deve ser a potência da fonte luminosa para que sejam emitidos  $10^{61}$  fotoelectrões por segundo?

**Muito bem, agora compare as suas respostas com as que se apresentam no fim deste módulo e passe ao estudo da lição seguinte se tiver acertado em 100% na resolução das questões das actividades de avaliação.**

# Lição 9

---

## Teoria Quântica

### Introdução

O facto de a velocidade dos fotoelectrões não depender da intensidade ou da potência da radiação incidente foi um marco importante para o surgimento da chamada Teoria Quântica da Luz, pois este facto não tinha uma explicação aceitável dentro da chamada Mecânica Clássica.

Nesta lição vamos fazer uma breve introdução da Teoria Quântica da Luz, ou da teoria de Planck, pois ela foi proposta, pela primeira vez pelo Físico Alemão Max Planck.

Ao concluir esta unidade você será capaz de:

- Explicar os princípios da teoria quântica.
- Aplicar a hipótese de Planck na resolução de exercícios concretos.



#### Objectivos

### Teoria Quântica

Nos finais do século XXIX a teoria ondulatória começou a mostrar-se incapaz de dar resposta muitos mais fenómenos, especialmente os relacionados com a interacção das radiações electromagnéticas com matéria. Por exemplo a radiação do corpo negro e a emissão fotoelétrica.

#### Teoria de Planck

Em 1900, Planck tentou descobrir uma teoria que pudesse explicar a radiação do corpo negro. Enquanto que outros cientistas consideravam que a radiação era emitida de forma contínua, Planck propôs que ela era emitida intermitentemente em valores múltiplos de um “átomo” ou *quantum* de energia (o plural de quantum é quanta). O tamanho do quantum proposto por Planck depende da frequência do oscilador que produz a radiação. Assim, um corpo deve emitir um, dois, três, etc, quanta de energia e nunca fracções de um quantum.

Resumindo podemos enunciar a teoria de Planck da seguinte forma:



*Teoria de Planck – a energia da radiação é emitida em forma de fascículos ou pedaços de energia chamados quantum.*

De acordo com Planck, o quantum  $E$  de energia para radiação de frequência " $f$ " é dado pela expressão:

$$E = h.f$$

onde " $h$ " é a constante de Planck ( $h = 6,625.10^{-34}$  J.s).

Usando a equação fundamental da onda  $c = \lambda.f$ , a energia de um quantum pode ainda ser calculado pela expressão:

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

A energia dos fótons no SI é expressa em Joule "J". Mas também é frequente usar o **electrão - Volt** "eV", onde  $1 \text{ eV} = 1,6.10^{-19}$  J.

O electrão – Volt, é o trabalho eléctrico necessária para o transporte de um electrão através de um potencial de 1 Volt, (não se esqueça que a carga do electrão é igual a  $1,6.10^{-19}$  C).

De referir que na altura do surgimento da teoria de Planck, ela foi demasiado revolucionária que não se deu o seu devido valor. Mas hoje em dia é um pilar da Física Moderna.

**Caro amigo, você acabou de estudar o texto desta lição. Agora faça um pequeno resumo do que nele aprendeu e compare-o ao que se apresenta na secção seguinte.**



## Resumo da lição



### Resumo

Nesta lição você aprendeu que:

- Teoria de Planck – a energia da radiação é emitida em forma de fascículos ou pedaços de energia chamados quantum.
- O quantum “E” de energia para radiação de frequência “f” é dado pela expressão:

$$E = h \cdot f \quad \text{ou} \quad E = \frac{h \cdot c}{\lambda}$$

- A energia dos fótons no SI é expressa em Joule “J”. Mas também é frequente usar o **eléctron - Volt** “eV”, onde  $1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ .

**Ótimo caro aluno! O seu resumo condiz perfeitamente com o que acabou de estudar nesta secção. A seguir, realize no seu caderno de exercícios as actividades de fixação.**

## Actividades de Fixação



### Actividades

Amigo aluno, bem vindo à secção das actividades de fixação. Resolvas e verifique o seu nível de compreensão da matéria tratada no texto e no resumo desta lição. Mão à obra!

1. Calcule, em eV, a energia de um fóton:
  - a) de luz vermelha de  $4,3 \cdot 10^{14}$  Hz.
  - b) Raios -x de  $2 \cdot 10^{-11}$  m.

Ótimo amigo aluno, terminada a realização das actividades de fixação, confira as suas respostas com as que se apresentam na chave de correcção.

### Chave de Correção

Para resolvermos este exercício necessitamos de tirar os dados e aplicar a equação de Planck. Só depois é que fazemos a conversão de Joule a electrão-Volt.

a)

Dados	Fórmula	Resolução
$f = 4,3 \cdot 10^{14}$ Hz $h = 6,625 \cdot 10^{-34}$ J.s $E = ?$	$E = h \cdot f$	$E = 6,625 \times 10^{-34} \times 4,3 \times 10^{14}$ $E = 2,85 \times 10^{-19}$ J

$$1 \text{ eV} \quad \text{—————} \quad 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

$$X \quad \text{—————} \quad 2,85 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

$$X = \frac{1 \text{ eV} \times 2,85 \times 10^{-19} \text{ J}}{1,6 \times 10^{-19} \text{ J}}$$

$$X = 1,78 \text{ eV}$$

**Resposta:** A energia do fóton de luz vermelha é de 1,78 eV.

b) Nesta alínea o procedimento é idêntico a alínea anterior.

Dados	Fórmula	Resolução
$\lambda = 2 \cdot 10^{-11} \text{ m}$ $h = 6,625 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$ $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ $E = ?$	$E = \frac{h \cdot c}{\lambda}$	$E = \frac{6,625 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{2 \times 10^{-11}}$ $E = 9,94 \times 10^{15} \text{ J}$

$$1 \text{ eV} \quad \text{—————} \quad 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

$$X \quad \text{—————} \quad 9,94 \cdot 10^{-15} \text{ J}$$

$$X = \frac{1 \text{ eV} \times 9,94 \times 10^{-15} \text{ J}}{1,6 \times 10^{-19} \text{ J}}$$

$$X = 62125 \text{ J}$$

**Resposta:** A energia do fóton de raios-x é de 62125 eV.

**Muito bem, caro aluno. Acertou em todas as questões das actividades de fixação? Se sim, então passe à realização das actividades de avaliação. Sucessos!**

## Actividades de Avaliação



### Avaliação

Caro aluno, resolva no seu caderno de exercícios as actividades que se propõem a seguir e avalie você mesmo o seu nível de compreensão da matéria tratada nesta lição.

Calcule, em eV, a energia de um fóton:

- a) de Luz ultravioleta de  $10^{15}$  Hz.
- b) de luz violeta de 400 nm.
- c) de luz verde de 500 nm.

Amigo, compare as suas soluções com as que se apresentam no fim do módulo. Lembre-se, só pode passar para o estudo da lição seguinte se tiver alcançado 100% de acertos na resolução das questões das actividades de avaliação. Sucessos!

## Lição 10

### Equação de Einstein Para o Fenómeno Fotoeléctrico

#### Introdução

Na lição anterior fizemos uma breve introdução a Teoria Quântica da Luz ou à teoria de Planck.

Nesta lição vai ampliar o seu conhecimento sobre esta teoria que revolucionou a Física, aplicando-a no estudo do Fenómeno Fotoeléctrico.

Ao concluir esta unidade você será capaz de:



### Objectivos

- *Aplicar* a equação de Einstein sobre o fenómeno fotoelétrico na resolução de exercícios concretos.

## Equação de Einstein para o fenómeno fotoelétrico

Desenvolvendo o pensamento de Planck, em 1905, derivou uma equação que explicou de forma satisfatória o fenómeno fotoelétrico. Einstein considerou que a radiação não só é emitida na forma de quanta mas também é absorvida na forma de quantas chamados fotões.

Assim podemos estabelecer o fundamento da teoria quântica:

*Teoria quântica – a radiação é emitida e absorvida na forma de quanta de energia chamados fotões.*

Isto significa que as ondas os radiações electromagnéticas podem-se comportar tanto como ondas assim como partículas – dualidade corpuscular e ondulatória da matéria.

Como vimos, o fenómeno fotoelétrico consiste no arranque dos electrões da superfície de um metal à custa de energia luminosa. Por isso, para retirar os electrões da superfície do metal, é necessário gastar energia ou seja realizar trabalho. Por isso, chama-se função trabalho “ $\Phi$ ”, a energia mínima necessária para o arranque dos fotoelectrões da superfície do metal sem lhes comunicar energia cinética, isto é, com velocidade nula. Assim,

*Função trabalho “ $\Phi$ ”, é a energia mínima necessária para o arranque dos fotoelectrões da superfície do metal sem lhes comunicar energia cinética, isto é, com velocidade nula.*

A função trabalho é característica de cada metal é tem um valor constante.

Como qualquer outro fenómeno natural, o fenómeno fotoelétrico também deve obdecer à Lei de Conservação de Energia. Desta forma, a energia dos fotões provenientes da fonte “E” deve ser maior do que a função trabalho do metal “ $\Phi$ ” para que ocorra o fenómeno fotoelétrico. O excesso de energia vai então ser transformado em energia cinética dos fotoelectrões. Assim podemos afirmar que:



A energia da radiação incidente “ $E$ ”, é usada, uma parte no arranque dos electrões da superfície do metal “ $\Phi$ ” e a outra parte é transformada em energia cinética máxima dos fotoelectrões “ $E_{c\max}$ ”.

$$E = \Phi + E_{c\max}$$

Esta relação é conhecida por equação de Einstein para o fenómeno fotoeléctrico.

$$\text{Com } E = h.f \Rightarrow h.f = \Phi + E_{c\max}$$

Já sabemos que quando a frequência da radiação incidente é igual à frequência limite ( $f = f_0$ ), a energia cinética máxima dos fotoelectrões é nula ( $E_{c\max} = 0$ ). Então,

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

Finalmente podemos escrever as equações:

$$\Phi = h.f_0$$

e

$$\Phi = \frac{h.c}{\lambda_0}$$

**Caro aluno, terminado o estudo do texto desta lição; faça um pequeno resumo do que nela aprendeu e ompare-o ao que se apresenta a seguir. Anda!**

## Resumo da lição



### Resumo

Nesta lição você aprendeu que:

- Teoria quântica – a radiação é emitida e absorvida na forma de quanta de energia chamados fótons.
- Função trabalho “ $\Phi$ ”, é a energia mínima necessária para o arranque dos fotoelectrões da superfície do metal sem lhes comunicar energia cinética, isto é, com velocidade nula.
- A expressão para o cálculo da função trabalho é:

$$\Phi = h.f_0 \quad \text{ou} \quad \Phi = \frac{h.c}{\lambda_0}$$

- A função trabalho é característica de cada metal e tem um valor constante.
- A energia da radiação incidente “ $E$ ”, é usada, uma parte no arranque dos electrões da superfície do metal “ $\Phi$ ” e a outra parte é transformada em energia cinética máxima dos fotoelectrões “ $E_{c\max}$ ”.
- A equação que traduz esta relação é dada pela expressão:

$$E = \Phi + E_{c\max}$$

**Certamente o seu resumo condiz perfeitamente com o que se apresenta nesta secção. Então realize as actividades de fixação propostas as seguir.**

## Actividades de Fixação



### Actividades

**Caro estudante, resolva as actividades de fixação e assegure a compreensão da matéria estudada nesta lição. Mãos a obra!**

1. A luz, cuja energia dos fotões que a constituem é de 4,2 eV, incide sobre um fotocátodo cuja função trabalho é de 1,6 eV.
  - a) Calcule o limite do metal.
  - b) Determine a energia cinética máxima dos fotoelectrões emitidos pelo cátodo.
  - c) Calcule a velocidade máxima dos fotoelectrões quando a frequência da radiação incidente é de  $3,86 \cdot 10^{14}$  Hz.

**Ótimo caro aluno! Terminada a resolução das actividades de fixação, Compare as suas soluções com as que constam da chave de correcção. Anda!**

### Chave de Correção

Para resolver este exercício temos que tirar os dados e aplicar as fórmulas aprendidas. Para os cálculos deve-se reduzir de electrão – Volt para Joule. ( $1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ )

#### Nota:

- Para converter de electrão – Volt para Joule é só multiplicar por  $1,6 \cdot 10^{-19}$  a energia dada.

Exemplo:  $1,6 \text{ eV} = 1,6 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 2,56 \cdot 10^{-19} \text{ J}$

a)

Dados	Fórmula	Resolução
$\Phi = 1,6 \text{ eV} = 2,56 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ $h = 6,625 \cdot 10^{-34} \text{ J}$ $f_0 = ?$	$\Phi = h \cdot f_0$	$2,56 \times 10^{-19} = 6,625 \times 10^{-34} \times f_0$ $f_0 = \frac{2,56 \times 10^{-19}}{6,625 \times 10^{-34}}$ $f_0 = 3,86 \times 10^{14} \text{ Hz}$



**Resposta:** O limite vermelho do metal é de  $3,86 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$ .

- b) Para calcular a energia cinética máxima dos fotoelectrões temos que aplicar a equação de Einstein.

**Nota:** Não se esqueça que para converter electrão – Volt a Joule é multiplicar por  $1,6 \cdot 10^{-19}$  a energia dada.

Dados	Fórmula	Resolução
$\Phi = 1,6 \text{ eV} = 2,56 \cdot 10^{-19} \text{ J}$	$E = \Phi + E_{\text{cmax}}$	$6,72 \times 10^{-19} = 2,56 \times 10^{-19} + E_{\text{cmax}}$
$\Phi = 4,2 \text{ eV} = 6,72 \cdot 10^{-19} \text{ J}$		$E_{\text{cmax}} = 6,72 \times 10^{-19} - 2,56 \times 10^{-19}$
$E_{\text{cmax}} = ?$		$E_{\text{cmax}} = 4,16 \times 10^{-19} \text{ J}$

**Resposta:** A energia cinética máxima dos fotoelectrões emitidos pelo cátodo é de  $4,16 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ .

- c) A velocidade máxima dos fotoelectrões é nula porque a frequência da radiação incidente é igual a frequência limite.

**Ótimo caro aluno, se acertou em todas as questões das actividades de fixação, então passe à realização das actividades de avaliação.**

## Actividades de Avaliação



### Avaliação

**Caro aluno, resolva no seu caderno de exercícios as actividades que se propõem nesta secção e avalie você mesmo o seu nível de compreensão da matéria tratada nesta lição.**

1. A luz, cuja energia dos fotões que a constituem é de 3,5 eV, incide sobre um fotocátodo cuja função trabalho é de 2,1 eV. Determine a energia cinética máxima dos fotoelectrões emitidos pelo cátodo.
2. O limite vermelho para uma superfície de Lítio é de  $5,5 \cdot 10^{14}$  Hz.
  - a) O que é que isto significa?
  - b) Calcule a função trabalho do metal.
  - c) Se a superfície for iluminada por luz monocromática de  $7,5 \cdot 10^{14}$  Hz, calcule a energia cinética máxima dos fotoelectrões.
  - d) Qual é a velocidade máxima dos fotoelectrões, se a frequência da radiação incidente for de  $5,5 \cdot 10^{14}$  Hz?

**Muito bem, Agora compare as suas soluções com as que se apresentam no fim deste módulo e passe ao estudo da lição seguinte se tiver acertado em todas as questões das actividades de avaliação. Sucessos!**

# Lição 11

## Gráfico da Energia Cinética em Função da Frequência

### Introdução

Na lição anterior aprendeu a equação de Einstein sobre o fenómeno fotoelétrico.

Nesta lição vai aprender o gráfico da energia cinética dos fotoelectrões em função da frequência da radiação incidente.

Ao concluir esta unidade você será capaz de:



#### Objectivos

- Interpretar o gráfico da energia cinética dos fotoelectrões em função da frequência da radiação incidente.

### Gráfico da Energia Cinética em Função da Frequência da Radiação Incidente

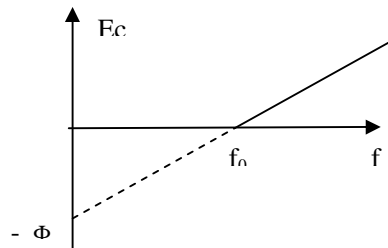
Da equação de Einstein temos  $E = \Phi + E_{C_{\max}}$ . Mas como  $E = h \cdot f$ , podemos escrever,  $h \cdot f = \Phi + E_{C_{\max}}$ , ou seja,  $E_{C_{\max}} = h \cdot f - \Phi$ .

Comparando a equação obtida ( $E_{C_{\max}} = h \cdot f - \Phi$ ) com a função linear  $y = ax + b$ , nota-se que há uma semelhança entre as duas expressões.

$$\begin{array}{cccc}
 E_C & = & h & \cdot & f & - & \Phi \\
 \uparrow & & \uparrow & & \uparrow & & \uparrow \\
 y & = & a & x & + & b
 \end{array}$$

Como vê, o gráfico energia cinética em função da frequência da radiação Incidente deve ser uma linha recta crescente porque o coeficiente angular “h” é positivo. O gráfico corta o eixo vertical no ponto “-Φ” que é a ordenada na origem, e o zero da função é igual a  $f_0$ . Assim podemos

construir o gráfico que se segue. A parte tracejada do gráfico corresponde aos valores inferiores à frequência limite, onde não ocorre o fenómeno fotoeléctrico.



**Caro aluno, você terminou o estudo do texto desta lição. Agora faça um pequeno resumo do que acabou de aprender e compare-o ao que se apresenta a seguir.**

## Resumo da lição



### Resumo

Nesta lição você aprendeu que:

- Posição de equilíbrio – é o ponto no qual o corpo oscilante pára após oscilar.
- Oscilação mecânica é o movimento de um corpo em torno da sua posição de equilíbrio.
- Elongação - é qualquer posição ocupada pelo corpo durante as suas oscilações.
- Amplitude – é a elongação máxima do corpo durante as suas oscilações.
- Período – é o tempo gasto pelo corpo a realizar uma oscilação completa.
- Frequência ‘- é o número de oscilações que um corpo realiza na unidade de tempo.
- A unidade do período no SI é o segundo “s” e da frequência é o Hertz “Hz”.

**Estimado aluno, o seu resumo condiz com o que se apresenta a seguir. Então realize as actividades de fixação e assegure a compreensão da matéria aprendida nesta lição.**

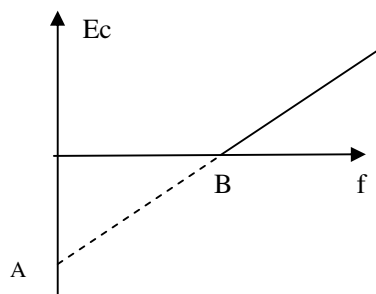
## Actividades de Fixação



### Actividades

Caro aluno, resola no seu caderno de exercícios as questões das actividades de fixação e assegure a compreensão da matéria tratada neste lição. Anda!

1. A luz, cuja energia dos fotões que a constituem é de 6,4 eV, incide sobre um fotocátodo cuja função trabalho é de 4,2 eV.



- a) Determine a energia cinética máxima dos fotoelectrões emitidos pelo cátodo.
- b) Quais são os valores indicados pelas letras “A” e “B”?

Isso mesmo! Terminada a realização das actividades de fixação, confira as suas respostas com as que se apresentam na chave de Correção

### Chave de Correção

- a) Para resolver esta alínea temos que tirar os dados e aplicar a relação de Einstein para o Fenómeno Fotoelétrico.

Dados	Fórmula	Resolução
$E = 6,4 \text{ eV}$	$E = \Phi + E_{C_{\max}}$	$\Rightarrow 6,4 = 4,2 + E_{C_{\max}}$
$\Phi = 4,2 \text{ eV}$		$\Rightarrow E_{C_{\max}} = 6,4 - 4,2$
$E_{C_{\max}} = ?$		$\Rightarrow E_{C_{\max}} = 2,2 \text{ eV}$

**Resposta:** A energia cinética máxima dos fotoelectrões emitidos pelo cátodo é de 2,2eV.

- b) Para responder a estas questões é importante saber que a letra “A” representa a função trabalho e a letra “B” representa a frequência limite para que se dê início ao fenómeno fotoelétrico que também é chamada limite vermelho do metal. Assim,

$$A = \Phi = 4,2 \text{ eV}$$



Para determinar o limite vermelho “ $f_0$ ” temos que aplicar a expressão para o cálculo da função trabalho de acordo com os dados do exercício.

Neste caso, porém, temos que converter a energia de elétron-Volt (eV) para Joule (J) sabido que  $1\text{eV} = 1,6 \cdot 10^{-19}\text{J}$ .

Estabelecendo a proporção teremos:

$$1\text{eV} \quad \text{—————} \quad 1,6 \cdot 10^{-19}\text{J}$$

$$4,2\text{ eV} \quad \text{—————} \quad X$$

$$X = \frac{4,2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}}{1} \Rightarrow X = 6,72 \cdot 10^{-19}\text{J}$$

Agora podemos tirar os dados do exercício e calcular o pedido.

Dados	Fórmula	Resolução
$\Phi = 4,2\text{eV} = 6,72 \cdot 10^{-19}\text{J}$ $h = 6,625 \cdot 10^{-34}\text{J.s}$ $f_0 = ?$	$\Phi = h \cdot f_0$	$6,72 \cdot 10^{-19} = 6,625 \cdot 10^{-34} \cdot f_0$ $f_0 = \frac{6,72 \cdot 10^{-19}}{6,625 \cdot 10^{-34}}$ $f_0 = 1,0 \cdot 10^{15}\text{ Hz}$

**Resposta:** A =  $\Phi = 4,2\text{ eV}$  e B =  $f_0 = 1,0 \cdot 10^{15}\text{ Hz}$ .

**Ótimo caro aluno, se você resolveu com sucesso as actividades de fixação; passe à realização das actividades de avaliação!**

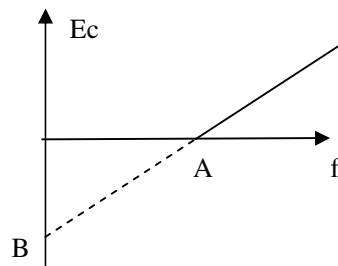
## Actividades de Avaliação



### Avaliação

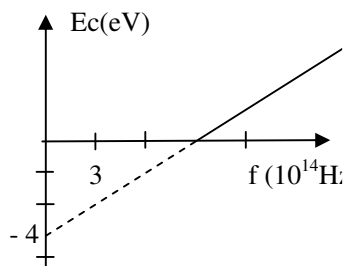
Caro amigo, resolva no seu caderno as actividades que ee propõem a seguir e verifique você mesmo o seu grau de assimilação da matéria aprendida nesta lição. Mãos à obra!

1. A luz, cuja energia dos fotões que a constituem é de 4,5 eV, incide sobre um fotocátodo cuja função trabalho é de 3,1 eV.



- a) Determine a energia cinética máxima dos fotoelectrões emitidos pelo cátodo.
- b) Quais são os valores indicados pelas letras “A” e “B”?

2. O gráfico representa a energia cinética em função da frequência, durante o fenómeno fotoeléctrico.



- a) Qual é a frequência limite do metal?
  - b) Qual é a função trabalho do metal?
- c) Calcule a energia cinética dos fotoelectrões, quando a frequência da radiação incidente é de  $1,2 \cdot 10^{15}$  Hz.
  - d) Diga se ocorre ou não o fenómeno fotoeléctrico, quando a frequência da radiação incidente é de  $8 \cdot 10^{14}$  Hz.

Ótimo amigo estudante, compare as suas respostas com as que se apresentam no fim do módulo e passe ao estudo da lição seguinte se tiver acertado na resolução de todas as questões das actividades de avaliação.

## Lição 12

### Gráfico do Potencial de Paragem em Função da Frequência

#### Introdução

Caro aluno, na lição anterior aplicou a equação de Einstein na esolução de problemas relacionados com a interpretação de gráficos da energia cinética em função da radiação incidente.

Nesta lição vai aplicar a mesma equação para interpretar o gráfico do potencial necessário para parar os electrões emitidos durante o fenómeno fotoeléctrico em função da frequência da radiação incidente.

Ao concluir esta unidade você será capaz de:

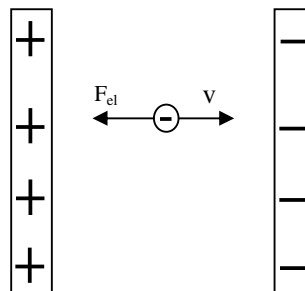


#### Objectivos

- Interpretar o gráfico do potencial de paragem dos fotoelectrões em função da frequência da radiação incidente.

### Gráfico do Potencial de Paragem em Função da Frequência

Os electrões emitidos durante o fenómeno fotoeléctrico podem ser parados ou travados através de um campo eléctrico uniforme. Por exemplo, repare que na figura a força tem sentido contrário ao do movimento do electrão.



Ao potencial mínimo necessário para parar os electrões emitidos durante o fenómeno fotoeléctrico, dá-se o nome de potencial de paragem “ $U_P$ ”. Assim podemos definir:



*Potencial de paragem, é o potencial mínimo necessário para parar os electrões emitidos durante o fenómeno fotoeléctrico.*

também é “ $f_0$ ”. Assim podemos construir o gráfico da Fig.2.7. Fig.2.6 Electrão em movimento num campo eléctrico uniforme

Durante o seu movimento a energia potencial do electrão ( $E_p = q \cdot U$ , onde  $q$  é a carga do electrão,  $q = 1,6 \cdot 10^{-19}$  C), é transformada em energia cinética. Por isso podemos escrever,

$$E_c = E_p = q \cdot U_p$$

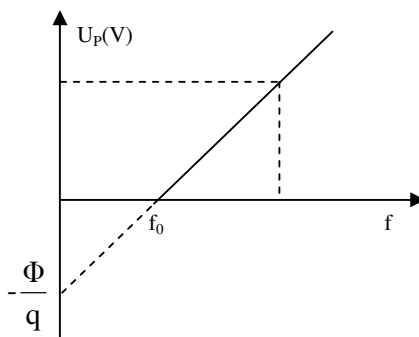
Na equação de Einstein sobre o fenómeno fotoeléctrico podemos então escrever,

$$h \cdot f = \Phi + q \cdot U_p \Rightarrow U_p = \frac{h}{q} f - \frac{\Phi}{q}$$

$$U_p = \frac{h}{q} f - \frac{\Phi}{q}$$

Esta última equação também se assemelha a uma função linear do tipo  $y = ax + b$ .

Neste caso, o gráfico é também uma linha recta. A ordenada na origem é dada pelo quociente “ $\Phi/q$ ” e o zero da função



**Muito bem! O querido aluno terminou o estudo do texto desta lição. Agora faça um pequeno resumo e compare-o ao que se apresenta a seguir.**



---

## Resumo da lição



### Resumo

Nesta lição você aprendeu que:

- Potencial de paragem, é o potencial mínimo necessário para parar os electrões emitidos durante o fenómeno fotoeléctrico.
- O potencial de paragem pode ser calculado pela expressão:

$$U_p = \frac{h}{q} f - \frac{\Phi}{q}$$

**Caro aluno, o seu resumo condiz com perfeitamente com o que se apresenta a seguir. Então passe à das actividades de fixação.**

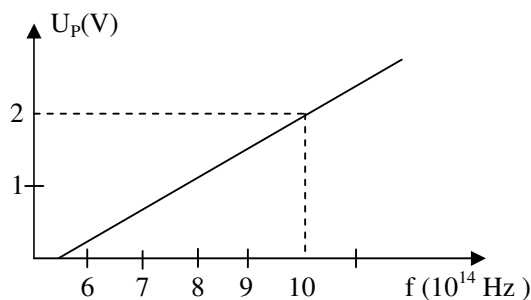
## Actividades de Fixação



### Actividades

Amigo aluno, resolva no seu caderno de exercícios todas as questões das actividades de fixação e assegure a apreensão da matéria aprendida nesta lição. Mãos à obra!

- O gráfico foi obtido com o auxílio de uma fotocélula.



- Qual é a frequência mínima para o arranque do fenómeno fotoeléctrico?
- Determine a energia despendida no arranque dos electrões da superfície do metal.

**Ótimo caro aluno, terminada a realização das actividades de fixação, confira as suas resposta na chave de correcção que se apresenta a seguir. Sucessos!**

### Chave de Correcção

- O valor da frequência limite coincide com o valor onde a recta corta o o eixo das frequências. Assim,
 
$$f_0 = 3 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$$
- A energia despendida no arranque dos electrões da superfície do metal é a função trabalho. Por isso, temos que tirar os dados do exercício e aplicar a fórmula para o seu cálculo.



Dados	Fórmula	Resolução
$f_0 = 3.10^{14}$ Hz	$\Phi = h.f_0$	$\Phi = 6,625.10^{-34} .3.10^{14}$
$h = 6,625.10^{-34}$ J.s		$\Phi = 19,875.10^{-20}$
$\Phi = ?$		$\Phi = 1,9875.10^{-19}$ J

**Resposta:** A energia despendida no arranque dos electrões da superfície do metal é de  $1,9875.10^{-19}$  J.

**Ótimo caro amigo, se realizou com sucesso as actividades de fixação; passe à resolução das questões das actividades de avaliação.**

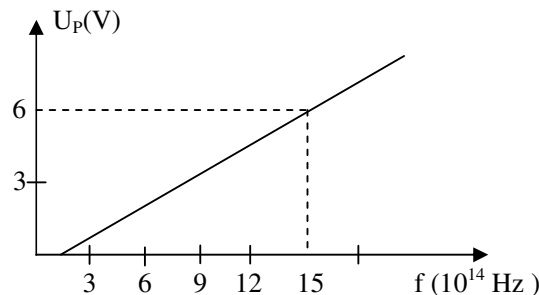
## Actividades de Avaliação



### Avaliação

Caro aluno, resolva no seu caderno de exercícios as actividades que se propõem a seguir e avalie o seu nível de compreensão da matéria dada nesta lição. Mãos a obra!

1. O gráfico foi obtido com o auxílio de uma fotocélula.



- a) Qual é a frequência mínima para o arranque do fenómeno fotoeléctrico?
- b) Determine a energia despendida no arranque dos electrões da superfície do metal.

**Caro aluno, compare as suas soluções com as que se apresentamos no fim deste módulo e passe ao setudo da lição seguinte, se tiver alcançado na resolução de todas as questões das actividades de avaliação. Sucessos!**

# Lição 13

## Espectros Ópticos

### Introdução

Caro aluno, já sabe que o espectro óptico resulta da decomposição das radiações que compõem a radiação visível.

Nesta lição vai aprofundar o seu conhecimento sobre o espectro óptico e saber em que condições se produzem estes tipos de espectros. Ainda vai classificar os espectros de acordo com os seus tipos.

Ao concluir esta unidade você será capaz de:

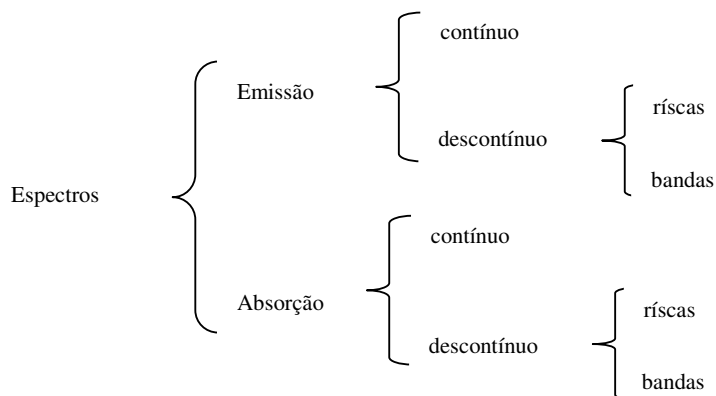


#### Objectivos

- Interpretar os espectros de riscas.
- Interpretar os espectros de bandas.
- Interpretar os espectros contínuos.

## ESPECTROS ÓPTICOS

Os espectros ópticos classificam-se em espectros de emissão e de absorção. Por sua vez, ambos se subdividem em contínuos e descontínuos. Os espectros descontínuos é podem ainda ser de riscas (linhas) ou de bandas, veja esquema seguinte.



## Espectro de riscas ou linhas

Os espectros de riscas ou linhas são constituídos por linhas brilhantes e coloridas ( se forem de emissão) ou linhas pretas (se for de absorção). As linhas correspondem a um comprimento de onda definido. Este tipo de espectro é característico da luz emitida por gases de elementos monoatômicos e vapores de metais a baixa pressão. Por exemplo, o Hidrogénio Hélio, o Néon, vapores de Sódio, etc.

## Espectro de Bandas

Os espectros de bandas são constituídos por grupos de riscas. São característico de moléculas de gases poliatômicos ou vapores incandescentes a baixa pressão.

São exemplos o Nitrogénio, o Oxigénio, a chama de um bico de bunsen, etc.

## Espectro contínuo

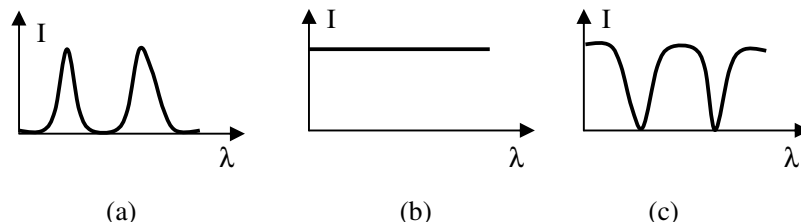
Os espectros contínuos são constituídos por faixas de cores das radiações que constituem a luz branca. Estes são emitidos por metais (sólidos) e líquidos incandescentes a alta pressão. Os espectros contínuos não são característicos de nenhum elemento.

De referir ainda que a análise espectral é feita, normalmente com o auxílio de espectroscópios.

Os espectros ópticos podem ser interpretados da seguinte forma:

- Cada elemento tem as suas linhas características, e que diferem de qualquer outro elemento. Por isso, a presença de certas linhas num espectro qualquer, servem para identificar a presença de certos elementos químicos.
- As linhas brilhantes de qualquer espectro de emissão, devem-se a um aumento brusco da intensidade “I” da radiação de um determinado comprimento de onda “ $\lambda$ ”, veja figura (a).
- No espectro contínuo de emissão, todas as cores presentes apresentam igual brilho(intensidade), veja figura (b).

- espectro de riscas de absorção, apresenta uma diminuição brusca da intensidade da radiação de um determinado comprimento de onda. As linhas são acompanhadas por um espectro contínuo de fundo, veja figura (c).



**Caro aluno, terminado o estudo do texto desta lição, faça um pequeno resumo da matéria nele tratada e compare-o ao que se apresenta na secção a seguir.**

## Resumo da lição



### Resumo

Nesta lição você aprendeu que:

- Os espectros de riscas ou linhas são constituídos por linhas brilhantes e coloridas ( se forem de emissão) ou linhas pretas (se for de absorção).
- O espectro de riscas é característico da luz emitida por gases de elementos monoatômicos e vapores de metais a baixa pressão como o Hidrogênio Hélio, o Néon, vapores de Sódio, etc.
- Os espectros de bandas são constituídos por grupos de riscas.
- Os espectros de bandas são característico de moléculas de gases poliatômicos ou vapores incandescentes a baixa pressão como o Nitrogênio, o Oxigênio, a chama de um bico de bunsen, etc.
- Os espectros contínuos são constituídos por faixas de cores das radiações que constituem a luz branca.
- Os espectros contínuos são emitidos por metais (sólidos) e líquidos incandescentes a alta pressão. Os espectros contínuos não são característicos de nenhum elemento.

**Isso caro aluno, o seu resumo condiz pfeitamente com o que lhe é apresentado nesta secção. Agora continue os seu setudo realizando as actividades de fixação propostas a seguir.**



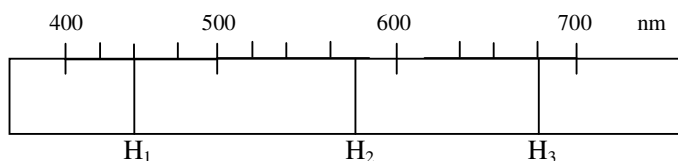
## Actividades de Fixação



### Actividades

Estimado aluno, bem vindo à secção das actividades de fixação. Resolva-as com cuidado e muita atenção no seu caderno de exercícios e assegure a compreensão da matéria tratada nesta lição. Mãos à obra!

1. A figura representa o espectro de absorção do sol em função do seu comprimento de onda, em nanómetros.



- a) Qual é o comprimento de onda da linha  $H_1$ ?
- b) Calcule a energia que deu origem a linha  $H_2$ .
- c) Calcule a frequência da linha  $H_3$ .

**Ótimo querido aluno, terminada a realização das actividades de fixação, confira as suas respostas na chave de correcção que conta da secção a seguir.**

### Chave de Correcção

- a) Para responder a esta alínea temos que fazer a leitura directa da figura. Assim,

$$\lambda_1 = 450 \text{ nm}$$

- b) Para calcular a energia que deu origem a linha  $H_2$  temos que ler o comprimento de onda respectivo e aplicar a fórmula correcta. Porém antes de fazermos os cálculos devemos reduzir de nanómetros para metros, aplicando a relação:  $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$

$$1 \text{ nm} \quad \text{————} \quad 10^{-9} \text{ m}$$

$$587,5 \text{ nm} \quad \text{————} \quad X$$

$$\Rightarrow X = \frac{587,5 \cdot 10^{-9}}{1} \Rightarrow X = 5,875 \cdot 10^{-7} \text{ m}$$



Dados	Fórmula	Resolução
$\lambda = 5,875 \cdot 10^{-7} \text{ m}$ $h = 6,625 \cdot 10^{-34} \text{ J.s}$ $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m}$ $E = ?$	$E = \frac{h \cdot c}{\lambda}$	$E = \frac{6,625 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{5,875 \cdot 10^{-7}}$ $E = \frac{19,875 \cdot 10^{-26}}{5,875 \cdot 10^{-7}}$ $E = 3,4 \cdot 10^{-19} \text{ J}$

**Resposta:** A energia que deu origem a linha  $H_2$  é de  $3,4 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ .

- c) Para calcular a frequência da linha  $H_3$  temos que ler o comprimento de onda respectivo e aplicar a relação entre o comprimento de onda e a frequência. Mas não se esqueça de reduzir o comprimento de onda de nanómetros à metros.

Dados	Fórmula	Resolução
$\lambda = 6,75 \cdot 10^{-7} \text{ m}$ $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m}$ $f = ?$	$c = \lambda \cdot f$	$3 \cdot 10^8 = 6,75 \cdot 10^{-7} \cdot f$ $f = \frac{3 \cdot 10^8}{6,75 \cdot 10^{-7}}$ $f = 0,444 \cdot 10^{15}$ $f = 4,44 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$

**Resposta:** A frequência é da linha  $H_3$  é de  $4,44 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$ .

**Bravo estimado aluno! Recorde-se que só poderá passar para resolução das actividades de avaliação se tiver acertado em todas as questões das actividades de fixação. Sucessos!**

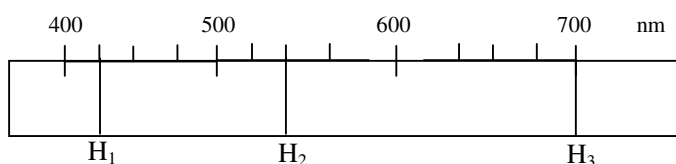
## Actividades de Avaliação



### Avaliação

Resolva no seu caderno as actividades que se propõem a seguir e avalie o seu progresso no estudo destemódulo.

1. A figura representa o espectro de absorção do sol em função do seu comprimento de onda, em nanómetros.



- Qual é o comprimento de onda da linha  $H_1$ ?
  - Calcule a energia que deu origem a linha  $H_2$ .
  - Calcule a frequência da linha  $H_3$ .
2. Os espectros ópticos de riscas são característicos de:
- Gases monoatômicos.
  - Gases poliatômicos.
  - Metais incandescentes.
3. Os espectros ópticos de bandas são característicos de:
- Gases monoatômicos.
  - Gases poliatômicos.
  - Metais incandescentes.
4. Os espectros ópticos contínuos são característicos de:
- Gases monoatômicos.
  - Gases poliatômicos.
  - Metais incandescentes.

**Ótimo caro aluno, agora compare as suas soluções com as que se apresentam no fim do módulo e passe ao estudo da lição seguinte se tiver acertado em todas as questões das actividades de avaliação. Sucessos!**

# Lição 14

## Níveis de Energia do H

### Introdução

Caro aluno, prossiga o estudo da Física Atômica e aprofunde um pouco mais o seu conhecimento sobre a Teoria Quântica. Recorde-se dos modelos atômicos, sobretudo o modelo atômico de Bohr.

Nesta lição vai aprender a calcular a energia associada a cada nível atômico e explicar a emissão de luz pelos átomos.

Ao concluir esta unidade você será capaz de:



#### Objectivos

- *Interpretar* níveis de energia no átomo de hidrogénio na resolução de exercícios concretos.

## Níveis de Energia do Átomo de Hidrogénio

Segundo o Modelo de Bohr, os electrões ocupam certas camadas no átomo. A cada camada é lhe atribuída uma determinada energia, que se designa nível de energia do átomo.

Os níveis de energia apresentam, geralmente a seguinte estrutura, veja a figura.

- São usualmente representados por uma série de linhas horizontais.
- A energia cresce de baixo para cima assumindo valores negativos.
- O nível de energia mais baixo do electrão é chamado – **Estado Fundamental**.
- Para o hidrogénio a energia do estado fundamental é de  $-13,6$  eV.
- A energia de todos os estados de energia do átomo de hidrogénio pode ser calculada pela relação:

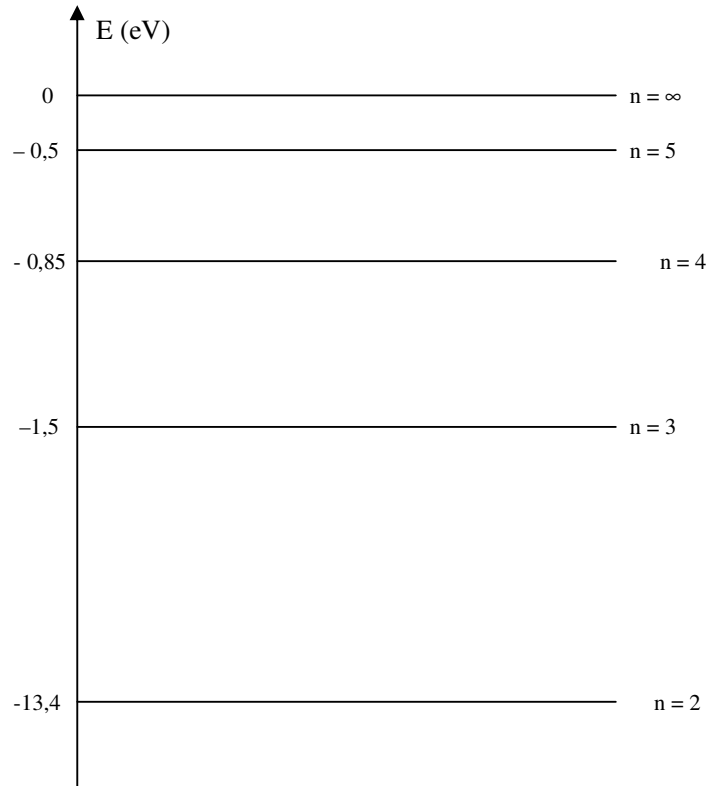
$$E_n = -\frac{13,6}{n^2}$$

onde, “ $E_n$ ” é a energia da orbital ou camada “ $n$ ” o número da orbital ( $n^\circ$  quântico principal)

- Os estados acima do estado fundamental, até infinito “ $\infty$ ”, são chamados estados excitados.
- Durante a sua subida de nível, o electrão absorve energia e durante a descida liberta energia. Em ambos casos a energia é absorvida ou libertada na forma de quantas de energia (fotões).
- Quanto mais baixo for o nível energético ocupado pelo electrão, maior será a ligação deste com o núcleo.
- Quanto mais alto for o nível de energético ocupado pelo electrão, menor será a ligação deste com o núcleo.
- As transições que ocorrem para o nível K ( $n = 1$ ), pertencem a uma série chamada série de Lyman. Nestas transições, os electrões emitem radiação dentro da banda da radiação Ultravioleta.
- As transições que ocorrem para o nível L ( $n = 2$ ), pertencem a uma série chamada série de Balmer. Nestas transições, os electrões emitem radiação dentro da banda da radiação visível.
- As transições que ocorrem para o M ( $n = 3$ ), pertencem a uma série chamada série de Paschen. Nestas transições, os electrões emitem radiação dentro da banda da radiação Infravermelha.
- Para distinção das diferentes linhas dentro da mesma série (K,L ou M), usam-se os índices  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$  etc., para a 1<sup>a</sup>, 2<sup>a</sup>, 3<sup>a</sup>, 4<sup>a</sup>, etc., transições, respectivamente.
- A frequência ou o comprimento de onda da radiação emitida ou absorvida durante qualquer transição pode ser determinada pelas expressões:



$$|\Delta E| = h \cdot f \quad e \quad |\Delta E| = \frac{h \cdot c}{\lambda}$$



**Caro aluno, terminado o estudo do texto desta lição; faça um pequeno resum da matéria nela tratada e compare-o ao que se apresenta na secção a seguir.**

## Resumo da lição



### Resumo

Nesta lição você aprendeu que:

- Nos átomos a energia cresce de baixo para cima assumindo valores negativos.
- O nível de energia mais baixo do electrão é chamado – Estado Fundamental.
- Os estados acima do estado fundamental, até infinito “∞”, são chamados estados excitados.
- Durante a sua subida de nível, o electrão absorve energia e durante a descida liberta energia. Em ambos casos a energia é absorvida ou libertada na forma de quantas de energia (fotões).
- Quanto mais baixo for o nível energético ocupado pelo electrão, maior será a ligação deste com o núcleo e quanto mais alto for o nível de energético ocupado pelo electrão, menor será a ligação deste com o núcleo.
- As transições que ocorrem para o nível K (n = 1), pertencem a uma série chamada série de Lyman. Nestas transições, os electrões emitem radiação dentro da banda da radiação Ultravioleta.
- As transições que ocorrem para o nível L (n = 2), pertencem a uma série chamada série de Balmer. Nestas transições, os electrões emitem radiação dentro da banda da radiação visível.
- As transições que ocorrem para o M (n = 3), pertencem a uma série chamada série de Paschen. Nestas transições, os electrões emitem radiação dentro da banda da radiação Infravermelha.
- Para distinção das diferentes linhas dentro da mesma série (K,L ou M), usam-se os índices  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$  etc., para a 1<sup>a</sup>, 2<sup>a</sup>, 3<sup>a</sup>, 4<sup>a</sup>, etc., transições, respectivamente.
- A frequência ou o comprimento de onda da radiação emitida ou absorvida durante qualquer transição pode ser determinada pelas expressões:

$$\bullet \quad |\Delta E| = h.f \quad \text{e} \quad |\Delta E| = \frac{h.c}{\lambda}$$

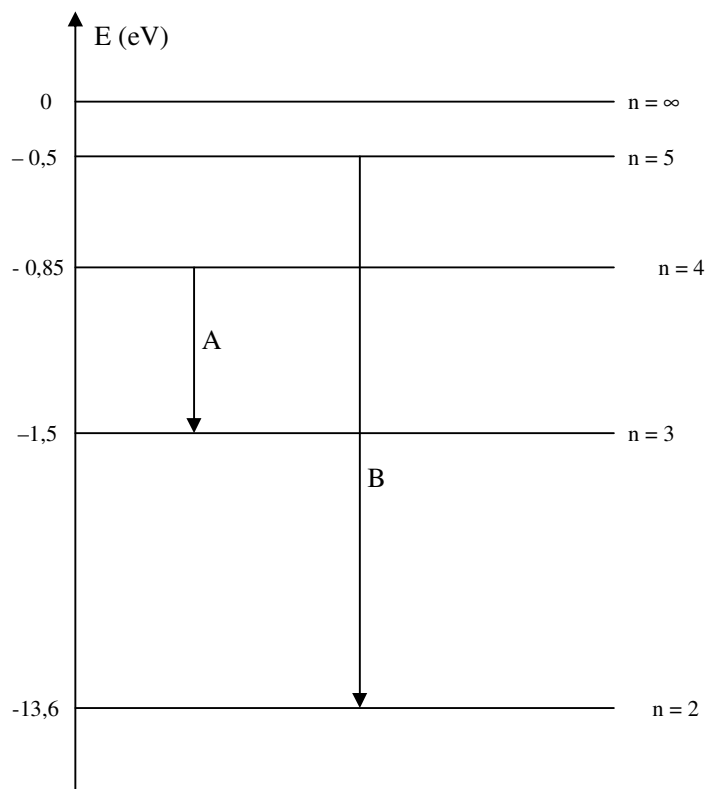
**Certamente o seu resumo condiz com o resumo apresentado na secção a seguir, então passe realização das actividades de fixação.**

## Actividades de Fixação



Actividades

Bom estudante, bem vindo à secção das actividades de fixação. Resolva todas as questões nelas propostas. Mãos à obra!



- Calcule, em nm, o comprimento de onda da transição A.
- Qual é a energia de ionização do átomo de hidrogénio?
- Entre as transições A e B, qual é a de maior energia?
- Entre as transições A e B, qual é a de menor comprimento de onda?

**Ótimo caro aluno, terminada a realização das actividades de fixação, confira as suas repostas na chave de correcção que se apresenta a seguir.**

### Chave de Correcção

- Para calcular a o comprimento de onda da transição A temos que



ler os valores entre os quais a transição ocorre. Calcular a variação de energia “ $\Delta E$ ” e converter essa variação de energia de eV para Joule com base na relação ( $1\text{eV}=10^{-19}\text{J}$ ). Em seguida aplicamos a fórmula correcta e finalmente convertermos o comprimento de onda de metros para nanómetros através da relação  $1\text{ nm} = 10^{-9}\text{m}$ .

$$E_1 = -0,85\text{ eV}$$

$$E_2 = -13,6\text{ eV}$$

$$\Delta E = E_2 - E_1$$

$$\Rightarrow \Delta E = -13,6 - (-0,85)$$

$$\Rightarrow \Delta E = -12,75\text{ eV}$$

$$1\text{ eV} \quad \text{—————} \quad 1,6 \cdot 10^{-19}\text{ J}$$

$$-12,75\text{ eV} \quad \text{—————} \quad X$$

$$X = \frac{-12,75 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}}{1} \Rightarrow X = -20,4 \cdot 10^{-19}\text{ J}$$

Dados	Fórmula	Resolução
$\Delta E = -29,4 \cdot 10^{-19}\text{ J}$ $h = 6,625 \cdot 10^{-34}\text{ J.s}$ $c = 3 \cdot 10^8\text{ m}$ $\lambda = ?$	$ \Delta E  = \frac{h \cdot c}{\lambda}$	$ -20,4 \cdot 10^{-19}  = \frac{6,625 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{\lambda}$ $\lambda = \frac{19,875 \cdot 10^{-26}}{20,4 \cdot 10^{-19}}$ $\lambda = 0,974 \cdot 10^{-7}$ $\lambda = 9,74 \cdot 10^{-8}\text{ m}$

$$1\text{ nm} \quad \text{—————} \quad 10^{-9}\text{ m}$$

$$X \quad \text{—————} \quad 9,74 \cdot 10^{-8}\text{ m}$$

$$X = \frac{9,74 \cdot 10^{-8}}{10^{-9}} \Rightarrow X = 97,4\text{ nm}$$

**Resposta:** O comprimento de onda da transição A é de 97,4 nm.



- b) A energia de ionização do átomo de hidrogénio é de 13,6 eV, porque é a energia mínima necessária para ionizar um átomo de hidrogénio.
- c) É a transição “B”, porque o electrão liberta maior energia durante a transição de um nível para outro.
- d) É a B, porque é a de maior energia.

**Já terminou com sucesso a realização das actividades de fixação? Se sim, então continue o estudo da lição resolvendo as questões das actividades de avaliação. Caso não, reestude o texto, o resumo e refaça todas as actividades da lição.**

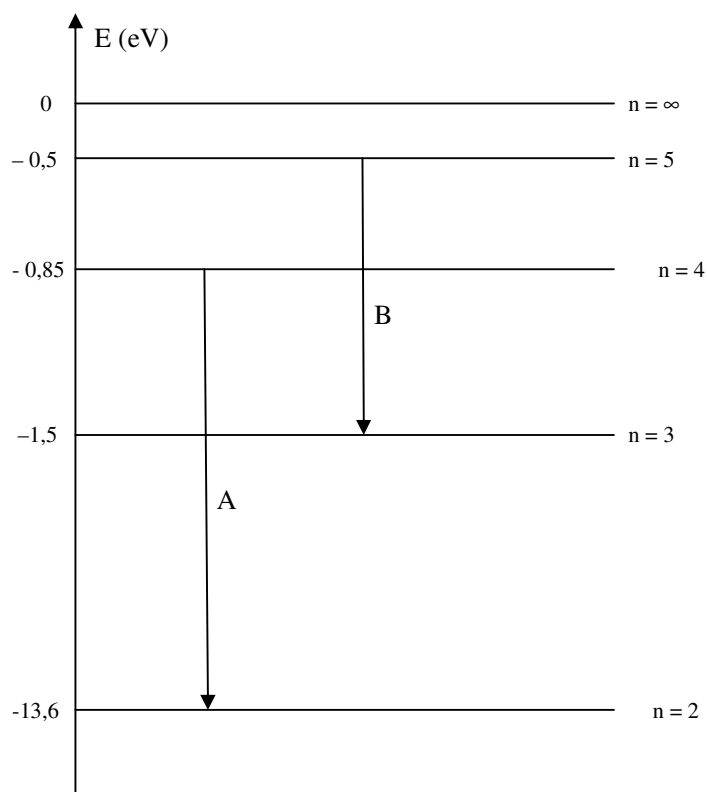
## Actividades de Avaliação



### Avaliação

Caro aluno, agora resolva no seu caderno de exercícios as actividades proposta nesta secção e avalie o seu próprio progresso.

Observe os níveis de energia do átomo de hidrogénio.



- Calcule, em nm, o comprimento de onda da transição A.
- Qual é a energia de ionização do átomo de hidrogénio?
- Entre as transições A e B, qual é a de maior energia?
- Entre as transições A e B, qual é a de menor comprimento de onda?

Caro amigo, compare as suas soluções com as que se apresentam no fim do módulo e passe ao estudo da lição seguinte se tiver acertado em todas as questões de avaliação.

# Lição 15

## Raios - x

### Introdução

Em 1895, enquanto Röntgen trabalhava com os seus tubos de descarga, verificou que as placas fotográficas junto dos tubos com os quais trabalhava ficaram emulcionadas apesar de não terem sido expostos à luz solar.

Assim ele decidiu que este efeito deveu-se à emissão de alguma forma de radiação electromagnética proveniente dos tubos de descarga, e baptizou-os com o nome de Raios – X, ou seja raios descohecidos, dado que não sabia qual era a sua origem.

Ao concluir esta unidade você será capaz de:



#### Objectivos

- *Identificar* as características de uma oscilação mecânica.
- *Identificar* as grandezas físicas que caracterizam uma oscilação mecânica.
- *Determinar* as grandezas físicas que caracterizam uma oscilação mecânica.

## Raios –x ou Röntgen

Röntgen deduziu que estes raios eram de natureza electromagnética e verificou que os raios-x eram produzidos quando um feixe de electrões chocasse com um alvo metálico. Röntgen também pode verificar quanto maior é a energia dos electrões, maior é a frequência dos raios-x. Conclusivamente podemos então afirmar que:

Os raios-x são de natureza electromagnética e que são produzidos quando um feixe de electrões choca com um alvo metálico. A frequência dos raios-x é tanto maior quanto maior for a energia dos electrões que chocam com o alvo metálico.

## Raios catódicos suas propriedades

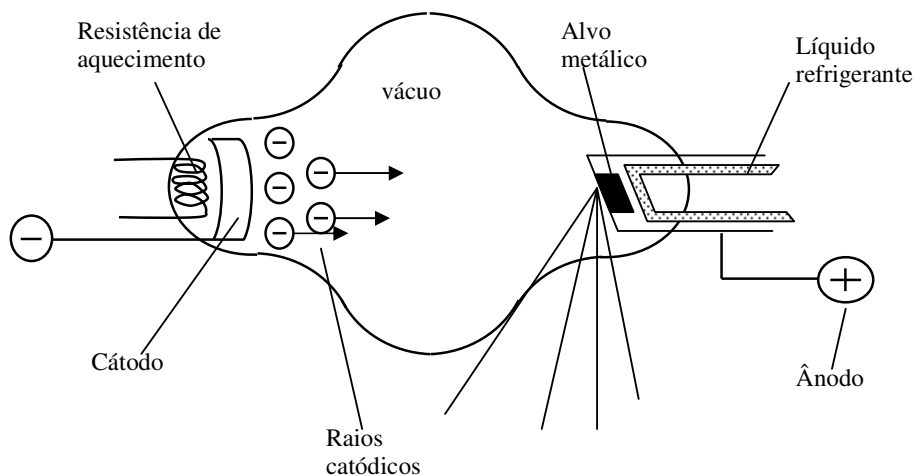
Raios catódicos, são um feixe de electrões que se propagam em linha recta e altamente energéticos devido a sua elevada energia cinética, pois viajam à velocidades muito próximas a da luz (cerca de 300.000 km/s).

As principais propriedades e aplicações dos raios catódicos são:

- Movem-se em linha recta.
- Provocam fluorescência em algumas substâncias.
- Eles possuem energia cinética devido a sua velocidade.
- Eles sofrem deflecção em campos electricos e campos magnéticos.
- Eles podem produzir Raios – X no choque com matéria.
- São usados nos microscópios electrónicos, nos aparelhos de televisão, nos osciloscópios, etc.

## O tubo de raios – x

A figura mostra esquematicamente um tubo de raios – x moderno. Neste caso, usa-se a emissão termoelectrónica, ou seja, emitem-se os electrões do cátodo através de energia calorífica. Assim, o cátodo é aquecido através da resistência de aquecimento o que vai excitar os electrões livres do cátodo. Devido a existência de um campo eléctrico entre o cátodo e o ânodo e daí uma diferença de potencial (d.d.p.), os electrões vão se mover do cátodo para o ânodo formando os raios catódicos. Chegados ao ânodo, os electrões chocam com o alvo metálico cedendo a sua energia cinética aos electrões dos átomos do material que constitui o alvo. Por sua vez, os electrões do alvo metálico emitem a energia absorvida na forma de raios – x.



Quando os electrões (raios catódicos) são acelerados por uma d.d.p. da ordem dos 20 kV, o tubo produz raios – x de grande comprimento de

onda, ou seja de pequena frequência, os chamados raios – x “moles”. Mas se os raios catódicos forem acelerados por uma voltagem da ordem dos 100 kV, os raios – x produzidos serão de pequeno comprimento de onda, ou seja, de grande frequência, os chamados raios- x duros. Por isso, quanto maior é a d.d.p. entre o cátodo e o ânodo, maior é a frequência dos raios-x e maior é a sua dureza e quanto maior é o comprimento de onda dos raios –x menor é a sua dureza, porque a frequência é inversamente proporcional ao comprimento de onda.

A intensidade dos raios –x depende do número de electrões que choca com o alvo metálico na unidade de tempo. Isto é controlado pela intensidade da corrente que atravessa a resistência de aquecimento. O poder de penetração dos raios –x depende da voltagem ou d.d.p. entre o cátodo e o ânodo. Assim podemos concluir que:

- A frequência dos raios – x é directamente proporcional à d.d.p. entre o cátodo e o ânodo.
- O comprimento de onda é inversamente proporcional à d.d.p. entre o cátodo e o ânodo.
- Quanto maior é a frequência dos raios –x maior é a sua dureza.
- A intensidade dos raios –x depende do número de electrões que choca com o alvo metálico na unidade de tempo
- O poder de penetração dos raios –x depende da voltagem ou d.d.p. entre o cátodo e o ânodo.

Já dissemos que durante a colisão dos raios catódicos com o alvo metálico eles cedem a sua energia cinética aos electrões do alvo metálico. Porém, apenas uma pequena parte desta energia (menos de 0,05 %) é convertida em energia dos raios –x. O resto é convertido em energia térmica. Por isso, para evitar a destruição do ânodo por sobreaquecimento, usa-se um líquido refrigerante que pode ser água ou óleo, para arrefecer o ânodo.

### **Aplicações dos raios – x**

Os raios-x foram usados menos de três meses após a sua descoberta por Röntgen. As principais aplicações nos nossos dias cobrem uma vasta área das ciências que vão desde a arte, passando pela engenharia até a medicina Na arte os raios – x são usados na detecção de imagens ocultas em pinturas antigas. Na engenharia os raios – x têm a sua aplicação no exame de metais, na procura de defeitos de frabrico. Na medicinas os raios –x podem ser usados como meio de diagnóstico e de terapia. Como meio de diagnóstico, os raios – x podem ser usados na detecção de ossos partidos, investigação de desordens respiratórias ou digestivas. No caso de investigação de desordens digestivas o paciente deverá ingerir bário ou iodo para os raios-x possam ser absorvidos pelas paredes do estômago.

Como meio de terapia os raios -x são usados no tratamento de cânceres (cânceros) malignos.

Durante o uso dos raios - x na medicina, é muito importante controlar a dosagem (a frequência) que deve ser usada para cada tipo de diagnóstico ou terapia, porque os raios - x podem causar a destruição de tecidos vivos. Por isso, não é conveniente que um paciente esteja constantemente exposto aos raios -x, daí que não seja conveniente fazer duas radiografias da mesma parte do corpo ( do tórax por exemplo) num intervalo de tempo inferior a seis meses. Resumindo podemos afirmar que os raios - x têm larga aplicação:

- Na arte, para a detecção de imagens ocultas em pinturas antigas.
- Na engenharia, para o exame de metais, na procura de defeitos de fabrico.
- Na medicina, como meio de diagnóstico (detecção de ossos partidos, investigação de desordens respiratórias ou digestivas) e como terêutico (no tratamento de cânceres malignos).

### Transformações de energia no tubo dos raios - x

Já vimos que os raios-x são produzidos quando um feixe de electrões choca com um alvo metálico. Vimos também que os electrões são acelerados por um campo eléctrico existente entre o cátodo e o ânodo. Durante todos estes processos há transformações de energia, pois na natureza a energia não se cria nem se destrói, apenas transforma-se – Lei de Conservação de energia. Deste modo, os electrões ao saírem do cátodo possuem energia potencial eléctrica. Durante o seu movimento em direcção ao ânodo, a energia potencial eléctrica é transformada em cinética. Durante a colisão dos electrões com o ânodo, a sua energia cinética é transformada em energia das ondas electromagnéticas que é constituída pelos raios-x.

Assim, podemos escrever:

Energia potencial eléctrica = Energia cinética = Energia dos raios -x

A energia potencial eléctrica é dada pela expressão:  $E_{pe} = q.U$

A energia cinética é dada pela expressão:  $E_C = \frac{1}{2}mv^2$

A energia dos raios -x ou fotões que constituem

os raios -x é dada pelas expressões :  $E_{R-x} = h.f_{\max}$  ou  $E_{R-x} = \frac{hc}{\lambda_{\min}}$

Assim, na produção dos raios  $-x$ , tendo em conta as transformações de energia, são válidas as seguintes igualdades:

$$q \cdot U = \frac{1}{2} m v^2 = h \cdot f_{\max} = \frac{hc}{\lambda_{\min}}$$

Onde:

$q$  ... é a carga do electrão ( $q = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{C}$ ),

$U$  ... é a d.d.p. entre o cátodo e o ânodo,

$m$  ... é a massa do electrão ( $m = 9,11 \cdot 10^{-31} \text{kg}$ )

$h$  ... é a constante de Planck ( $h = 6,625 \cdot 10^{-34} \text{J.s}$ )

$f_{\max}$  ... é a frequência máxima dos raios- $x$  produzidos

$\lambda_{\min}$  ... é o comprimento de onda mínimo dos raios- $x$  produzidos

A frequência dos raios- $x$  produzidos é máxima, pois como vimos anteriormente, apenas uma pequena parte (menos de 0,05%) da energia cinéticas dos electrões ou raios catódicos é transformada em energia dos raios- $x$  produzidos no tubo. O comprimento de onda é mínimo pois este é inversamente proporcional a sua frequência.

## Propriedades dos Raios - x

Os raios- $x$  têm as seguintes propriedades:

- Propagam-se em linha recta,
- atravessam a matéria praticamente sem se alterarem,
- provocam fluorescência quando incidem sobre certas substâncias especialmente em sais,
- emulcionam chapas fotográficas,
- não sofrem refacção,
- não sofrem deflecção em campos eléctricos e magnéticos,
- provocam descarga eléctrica sobre corpos electrizados,



- provocam o efeito fotoelétrico,
- são produzidos quando um feixe raios catódicos incide sobre os núcleos de um alvo metálico.

### Lei de Moseley

Em 1914 Moseley propôs uma lei na qual mostrava que a frequência dos raios-x estava relacionada com o número atômico “Z” dos átomos do material que constitui o alvo metálico. Assim,

*A lei de Moseley estabelece que a frequência dos raios-x é directamente proporcional ao quadrado do número atômico dos átomos que constituem o alvo metálico. ( $f \sim Z^2$ )*

Mas como  $f \sim Z^2$  isso significa que  $\sqrt{f} \sim Z$  (tirando a raiz quadrada de ambos os membros. Assim, como consequência da Lei de Moseley, podemos afirmar que a raiz quadrada da frequência dos raios-x é directamente proporcional ao número atômico dos átomos da substância que constitui o alvo metálico.

O electrões que passam para o nível K no átomo do alvo metálico provenientes de qualquer nível excitado (L, M, N, etc), produzem os raios-x numa série de comprimentos de onda semelhante a um espectro óptico, que ficou conhecido com série K. Assim se distinguem as séries  $K_{\alpha}$ ,  $K_{\beta}$ , etc. Quando a transição ocorre para o nível L, então obtém-se a série – L, e assim sucessivamente. Mas como os raios-x são produzidos pelas transições que ocorrem apenas nas camadas internas (K e L) dos átomos que constituem o alvo metálico, normalmente só se distinguem as séries K e L.

A Tabela 1 seguinte apresenta o comprimento de onda das linhas  $K_{\alpha}$  de alguns elementos da tabela periódica, quando usados como alvo metálico na produção de raios-x.

Elemento	Nº Atômico “Z”	Comprimento de onda (nm)
Alumínio	13	0,823
Cálcio	20	0,335
Manganês	25	0,210
Ferro	26	0,194
Cobalto	27	0,179



Elemento	Nº Atômico “Z”	Comprimento de onda (nm)
Níquel	28	0,166
Cobre	29	0,139
Bromo	35	0,104
Prata	47	0,056
Tungstênio	74	0,021
Urânio	92	0,017

**Caro aluno, terminado o estudo do texto desta lição; faça um pequeno resumo da matéria nela tratada e compare-o ao que se apresenta a seguir.**

## Resumo da lição



### Resumo

Nesta lição você aprendeu que:

- A frequência dos raios - x é directamente proporcional à d.d.p. entre o cátodo e o ânodo.
- O comprimento de onda é inversamente proporcional à d.d.p. entre o cátodo e o ânodo.
- Quanto maior é a frequência dos raios -x maior é a sua dureza.
- A intensidade dos raios -x depende do número de electrões que choca com o alvo metálico na unidade de tempo
- O poder de penetração dos raios -x depende da voltagem ou d.d.p. entre o cátodo e o ânodo.
- Os raios-x têm aplicação na arte, para a detecção de imagens ocultas em pinturas antigas, na engenharia, para o exame de metais, na procura de defeitos de fabrico, na medicina, como meio de diagnóstico (detecção de ossos partidos, investigação de desordens respiratórias ou digestivas) e como terapêutico (no tratamento de câncer malignos).
- Os raios-x são propagam-se em linha recta, atravessam a matéria praticamente sem se alterarem, provocam fluorescência quando incidem sobre certas substâncias especialmente em sais, emulsionam chapas fotográficas, não sofrem refração, não sofrem deflexão em campos eléctricos e magnéticos, provocam descarga eléctrica sobre corpos electrizados, provocam o efeito fotoeléctrico, são produzidos quando um feixe raios catódicos incide sobre os núcleos de um alvo metálico.
- A lei de Moseley estabelece que a frequência dos raios-x é directamente proporcional ao quadrado do número atómico dos átomos que constituem o alvo metálico. ( $f \sim Z^2$ )
- As transformações de energia que ocorrem durante a produção dos raios-x pode ser expressa através das seguintes igualdades:

$$q \cdot U = \frac{1}{2} m v^2 = h \cdot f_{\max} = \frac{hc}{\lambda_{\min}}$$

**Certamente o seu resumo condiz com o que se apresenta nesta secção. Agora realize as actividades que se seguem e assegure a compreensão da matéria tratada nesta lição.**

## Actividades de Fixação



### Actividades

**Caro amigo, bem vindo à secção das actividades de fixação. Resolvas com cuidado e muita atenção e assegura a compreensão da matéria tratada nesta lição. Mãos à obra!**

1. Um tubo de raios-x opera a uma d.d.p. de 200000 V.
  - a) Calcule o comprimento de onda mínimo dos raios-x produzidos.
  - b) Calcule a frequência máxima dos raios – x produzidos.
  - c) Se duplicarmos a d.d.p. entre o cátodo e o ânodo, o que acontece com o comprimento de onda mínimo? E coma frequência máxima?

**Amigo, terminou com sucesso a realização das actividades de fixação? Se sim, então confira asa suas resposta na chave de correcção**

### Chave de Correcção

- a) Para responder a esta questão temos que tirar os dados do exercício e aplicar a fórmula correcta.

Dados	Fórmula	Resolução
$U = 200000V$ $q = 1,6 \cdot 10^{-19}C$ $h = 6,625 \cdot 10^{-34} J.s$ $c = 3 \cdot 10^8 m/s$ $\lambda_{min} = ?$	$q \cdot U = \frac{hc}{\lambda_{min}}$	$1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 2 \cdot 10^4 = \frac{6,625 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{\lambda_{min}}$ $\lambda_{min} = \frac{19,875 \cdot 10^{-26}}{3,2 \cdot 10^{-15}}$ $\lambda_{min} = 6,2 \cdot 10^{-11} m$

**Resposta:** O comprimento de onda mínimo dos raios-x produzidos pelo tubo é de  $6,2 \cdot 10^{-11} m$ .

- b) Para calcularmos a frequência dos raios – x produzidos podemos usar a relação entre o comprimento de onda e a frequência.

Dados	Fórmula	Resolução
$\lambda_{\min} = 6,2 \cdot 10^{-11} \text{ m}$ $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ $f_{\max} = ?$	$c = \lambda \cdot f$	$3 \cdot 10^8 = 6,2 \cdot 10^{-11} \cdot f$ $f = \frac{3 \cdot 10^8}{6,2 \cdot 10^{-11}}$ $f = 0,48 \cdot 10^{19}$ $f = 4,8 \cdot 10^{20} \text{ Hz}$

**Resposta:** A frequência dos raios – x produzidos é de  $4,8 \cdot 10^{20} \text{ Hz}$ .

- c) Se duplicarmos a d.d.p. entre o cátodo e o ânodo o comprimento de onda diminui duas vezes porque é inversamente proporcional à d.d.p. No entanto a frequência aumenta duas vezes porque é directamente proporcional à d.d.p.

**Ótimo caro aluno, terminou com sucesso a realização das actividades de fixação? Então passe à realização das actividades de avaliação.**

## Actividades de Avaliação



### Avaliação

Caro estudante, resolva no seu caderno as actividades propostas nesta secção e avalie você mesmo o seu progresso no estudo desta lição. Mãos à obra!

1. A figura representa um tubo de raios-x que opera a uma d.d.p. de 100 kV.
  - a) Dê três aplicações dos Raios – X.
  - b) Enumere três propriedades dos Raios – X.
  - c) Calcule a energia potencial dos raios catódicos.
  - d) Calcule a energia dos Raios – X.
  - e) Calcule o comprimento de onda mínimo dos Raios –X.
  
2. Um tubo de raios-x opera a uma d.d.p. de 400000 V.
  - a) Calcule o comprimento de onda mínimo dos raios-x produzidos.
  - b) Calcule a frequência dos raios – x produzidos.
  - c) Se triplicarmos a d.d.p. entre o cátodo e o ânodo, o que acontece com o comprimento de onda mínimo? E coma frequência máxima?
  
3. O comprimento de onda mínimo dos raios –x produzidos por um tubo é de 0,02 Å. Calcule a d.d.p. mínima entre o cátodo e o ânodo.

**Caro aluno, agora compare as suas soluções com as que se apresentam no fim do módulo e passe ao estudo da lição seguinte se tiver acertado em todas as questões das actividades de avaliação. Sucessos!**

## Lição 16

---

### Espectro dos Raios- x

#### Introdução

Cao aluno, você já sabe que os raios-x são de natureza electromagnética e que fazem parte desta grande família de ondas.

Nesta lição vai classificar estas ondas em função do seu comprimento de onda.

Ao concluir esta unidade você será capaz de:

- *Interpretar* o espectro dos raios – x.



#### Objectivos

#### O Espectro dos Raios – x

Com base na difracção dos raios – x produzidos por um tubo de raios-x pode-se obter o espectro apresentado na figura, no qual as duas curvas representam duas d.d.p. diferentes, entre o cátodo e o ânodo.

O espectro dos raio-x pode ser considerado em duas partes:

- um espectro contínuo de fundo, e,
- uma série de de picos de intensidade.

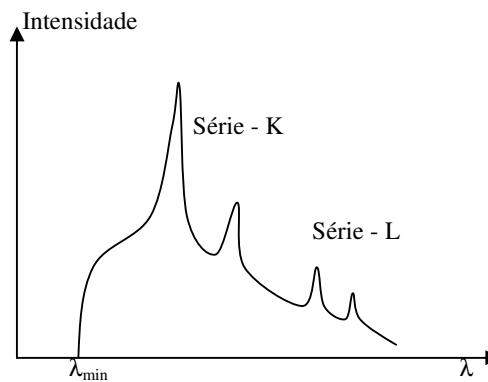
O espectro contínuo de fundo deve-se à radiação emitida quando os electrões são retardados pela atracção electromagnética do núcleo do material que constitui o alvo metálico. O comprimento de onda mínimo (e por isso, a frequência máxima e a energia máxima) do espectro dos raios-x, é produzido quando um electrão é justamente travado por um único núcleo do material que cosntitui o alvo. O resto da curva é produzida por electrões que perdem apenas parte da sua energia cinética durante a colisão com vários núcleos do material do alvo.

Quanto maior é a d.d.p. entre o cátodo e o ânodo, menor é o comprimento de onda mínimo “ $\lambda_{\min}$ ”, por isso podemos concluir:

O comprimento de onda mínimo dos raios-x, é inversamente proporcional à voltagem ou d.d.p. entre o cátodo e o ânodo.

Consequentemente, a frequência máxima dos raios-x é directamente proporcional à voltagem ou d.d.p. entre o cátodo e o ânodo, porque o comprimento de onda é inversamente proporcional à frequência.

Os picos de intensidade no espectro dos raios-x, são característicos de cada material que constitui o alvo metálico. Os electrões das camadas interiores são completamente removidos pelo bombardeamento dos raios catódicos (electrões acelerados pela d.d.p. entre o cátodo e o ânodo) deixando lacunas a sua trás. Estas lacunas, poderão em seguida ser ocupadas pelos electrões das camadas mais externas que possuem maior energia. Um electrão duma camada mais externa que vá ocupar a lacuna existente, emite um fóton de um determinado comprimento de onda (ou duma determinada frequência), dando origem ao pico de intensidade no espectro dos raios-x, veja a figura.



**Caro aluno, terminado o estudo do texto desta lição, resume-o e compare o se resumo ao que se apresenta na secção a seguir.**



---

## Resumo da lição



### Resumo

Nesta lição você aprendeu que:

- O espectro dos raios-x pode ser considerado em duas partes:
  - um espectro contínuo de fundo, e,
  - uma série de picos de intensidade.
- O espectro contínuo de fundo deve-se à radiação emitida quando os electrões são retardados pela atracção electromagnética do núcleo do material que constitui o alvo metálico.
- O comprimento de onda mínimo (e por isso, a frequência máxima e a energia máxima) do espectro dos raios-x, é produzido quando um electrão é justamente travado por um único núcleo do material que constitui o alvo.
- O resto da curva é produzida por electrões que perdem apenas parte da sua energia cinética durante a colisão com vários núcleos do material do alvo.
- Quanto maior é a d.d.p. entre o cátodo e o ânodo, menor é o comprimento de onda mínimo " $\lambda_{\min}$ ", por isso podemos concluir:
- O comprimento de onda mínimo dos raios-x, é inversamente proporcional à voltagem ou d.d.p. entre o cátodo e o ânodo.
- A frequência máxima dos raios-x é directamente proporcional à voltagem ou d.d.p. entre o cátodo e o ânodo, porque o comprimento de onda é inversamente proporcional à frequência.
- Os picos de intensidade no espectro dos raios-x, são característicos de cada material que constitui o alvo metálico.
- Os electrões das camadas interiores são completamente removidos pelo bombardeamento dos raios catódicos (electrões acelerados pela d.d.p. entre o cátodo e o ânodo) deixando lacunas a sua trás. Estas lacunas, poderão em seguida ser ocupadas pelos electrões das camadas mais externas que possuem maior energia. Um electrão duma camada mais externa que vá ocupar a lacuna existente, emite um fóton de um determinado comprimento de onda (ou duma determinada frequência), dando origem ao pico de intensidade no espectro dos raios-x.

**Certamente o seu resumo condiz com o que se apresenta nesta secção. Agora realize as actividades de fixação.**

## Actividades de Fixação



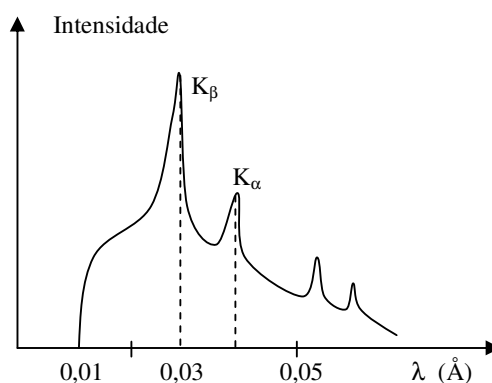
### Actividades

Caro aluno, resolva as questões das actividades de fixação e assegure a compreensão da matéria tratada nesta lição. Mãos à obra!

1. Observe o espectro dos Raios -X.

Note que: 1 Å lê-se “um Angstrom”, onde  $1 \text{ Å} = 10^{-10} \text{ m}$ .

Use carga do electrão:  $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$  ;  $h = 6,625 \cdot 10^{-34} \text{ J.s}$



- a) Qual é o comprimento de onda mínimo dos raios -x?
- b) Calcule a energia da linha  $K\alpha$ .
- c) Qual é a d.d.p. mínima a que deve operar o referido tubo?

Caro estudante, resolvidas todas as questões das actividades de fixação, confira as suas respostas na chave de correcção.

### Chave de Correcção

a) do gráfico pode-se ver que:  $\lambda_{\min} = 0,01 \text{ Å} = 0,01 \cdot 10^{-10} \text{ m} = 1 \cdot 10^{-12} \text{ m}$

b) Neste caso temos que usar o comprimento de onda mínimo.

Dados	Fórmula	Resolução
$\lambda = 0,04 \text{ Å} = 4 \cdot 10^{-12} \text{ m}$ $h = 6,625 \cdot 10^{-34} \text{ J.s}$ $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$	$E = \frac{h \cdot c}{\lambda}$	$E = \frac{6,625 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{4 \cdot 10^{-12}}$ $E = 4,97 \cdot 10^{-14} \text{ J}$

E = ?		
-------	--	--

**Resposta:** A energia da linha  $K\alpha$ , é de  $4,97 \cdot 10^{-14}$  J.

c)

Dados	Fórmula	Resolução
$\lambda_{\min} = 1 \cdot 10^{-12}$ m $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ C $h = 6,625 \cdot 10^{-34}$ J.s $U = ?$	$e \cdot U = \frac{h \cdot c}{\lambda}$	$1,6 \cdot 10^{-19} \cdot U = \frac{6,625 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{1 \cdot 10^{-12}}$ $U = \frac{19,875 \cdot 10^{-26}}{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 1 \cdot 10^{-12}}$ $U = 12,4 \cdot 10^5$ $U = 1240000$ V

**Resposta:** A d.d.p. mínima a que o tubo deve operar é de 1.240.000 V

**Ótimo caro aluno, se você acertou na resolução de todas as questões das actividades da fixação, realize as actividades de avaliação. Caso não, reestude o texto, o resumo e refaça as actividades!**

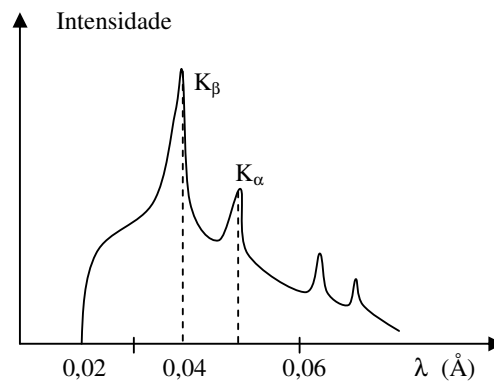
## Actividades de Avaliação



### Avaliação

Caro estudante, resolva no seu caderno as actividades que se propõem a seguir e avalie o seu nível de compreensão da matéria tratada nesta lição.

Observe o espectro dos Raios -X.



- Qual é o comprimento de onda mínimo dos raios -x?
- Calcule a energia da linha  $K\alpha$ .
- Qual é a d.d.p. mínima a que deve operar o referido tubo?

Estimado aluno, compare as suas soluções com as que se apresentam no fim deste módulo e passe ao estudo da lição seguinte se tiver acertado em todas as questões das actividades de avaliação. Sucessos!

## Lição 17

### Física Nuclear

#### Introdução

Acabamos de estudar as interações que ocorrem ao nível da electrosfera dos núcleos atómicos das substâncias – Física Atómica. Agora vamos estudar as interações que ocorrem ao nível dos núcleos atómicos – Física Nuclear.



### Objectivos

Ao concluir esta unidade você será capaz de:

- *Determinar* o número de partículas existentes num nuclido.
- *Identificar* elementos isótopos e isóbaros.

## Física Nuclear

A Física Nuclear ocupa-se das interações ao nível dos núcleos atômicos.

A Física Nuclear é a parte da Física que se ocupa das interações ao nível do núcleo atômico.

Número atômico “Z” – é o número de prótons (p) existentes no núcleo de um átomo.

Número de massa ou Massa atômica “A” – é a soma do número de prótons (p) e do número de neutrões “n” existentes no núcleo ( $A = p + n$ ).

Na Física Nuclear, o núcleo atômico é considerado uma partícula nuclear a que se dá o nome de Nuclido.

Nuclido – é a partícula que representa o núcleo atômico de um determinado elemento.

Por isso, o nuclido fica completamente representado pelo número atômico “Z” e o número de massa “A”.

Representação de um nuclido:  ${}^A_ZX$ , onde “X” é o símbolo do elemento químico.

### Exemplo:

Um nuclido de Urânio – 238 é representado na forma:  ${}^{238}_{92}U$

As partículas que se encontram no núcleo de um átomo são chamadas por nucleão, pois considera-se que o próton e o neutrão são a mesma partícula.

Nucleão – é a partícula que representa o próton e o neutrão.

Por isso, o número de nucleões de um determinado nuclido é igual ao seu número de massa.

### Exemplo:



O Urânio – 238 ( ${}^{238}_{92}\text{U}$ ) possui 238 nucleões.

Elementos isótopos – são elementos que possuem o mesmo número atómico e diferente número de massa.

**Exemplo:**

Os isótopos do hidrogénio são:

- Prótio:  ${}^1_1\text{H}$
- Deutério:  ${}^2_1\text{H}$  ou  ${}^2_1\text{D}$
- Trítio:  ${}^3_1\text{H}$  ou  ${}^3_1\text{T}$

Elementos isóbaros – são elementos que possuem o mesmo número de massa e diferente número atómico.

**Exemplo:**

- Cálcio:  ${}^{40}_{20}\text{Ca}$
- Potássio:  ${}^{40}_{19}\text{K}$

### Partículas Nucleares – Representação

Em seguida são apresentadas as partículas nucleares que iremos usar, bem como a sua representação.

Partícula	Representação
Protão	${}^1_1\text{p}$
Neutrão	${}^1_0\text{n}$
Electrão	${}^0_{-1}\text{e}$
Positrão	${}^0_{+1}\text{e}$
Alfa	${}^4_2\text{He}$
Gama ou Fotão	${}^0_0\gamma$

Deutério	${}^2_1\text{D}$
Trítio	${}^3_1\text{T}$

**Caro aluno, terminado o estudo do texto, faça um pequeno resumo da matéria nele tratada e compare-o ao resumo que se apresenta nesta secção.**

## Resumo da lição



### Resumo

Nesta lição você aprendeu que:

- A Física Nuclear é a parte da Física que se ocupa das interações ao nível do núcleo atómico.
- Número atómico “Z” – é o número de protões (p) existentes no núcleo de um átomo.
- Número de massa ou Massa atómica “A” – é a soma do número de protões (p) e do número de neutrões “n” existentes no núcleo ( $A = p + n$ ).
- Nuclido – é a partícula que representa o núcleo atómico de um determinado elemento.
- Representação de um nuclido:  ${}^A_Z\text{X}$ , onde “X” é o símbolo do elemento químico.
- Nucleão – é a partícula que representa o protão e o neutrão. Por isso, o número de nucleões de um determinado nuclido é igual ao seu número de massa.
- Elementos isótopos – são elementos que possuem o mesmo número atómico e diferente número de massa.
- Elementos isóbaros – são elementos que possuem o mesmo número de massa e diferente número atómico.

**Caro aluno, certamente o seu resumo condiz com o que se apresenta nesta secção. Agora realize no seu caderno de exercícios as actividades de fixação que se apresentam a seguir.**

## Actividades de Fixação



### Actividades

Estimado aluno, resolva todas as questões das actividades de fixação e assegure a compreensão da matéria tratada nesta lição. Mãos à obra!

1. Um átomo de Bismuto  ${}_{83}^{209}\text{Bi}$  .
  - a) Quantos prótons tem o átomo?
  - b) Indique o número de neutrões existentes do átomo.
  - c) Quantos nucleões existem no átomo?

Ótimo, caro aluno! Terminada a realização das actividades de fixação, confira as suas respostas na seguinte chave de correcção.

### Chave de Correcção

- a) 83
- b) 126
- c) 209

## Actividades de Avaliação



### Avaliação

Estimado aluno, Agora resolva no seu caderno de exercícios as actividades de avaliação e verifique o seu nível da compreensão da matéria tratada nesta. Mãos à obra!

1. Considere um átomo de Urânio  ${}_{92}^{238}\text{U}$  .
  - a) Quantos prótons tem o átomo?
  - b) Indique o número de neutrões existentes neste átomo.
  - c) Quantos nucleões existem neste átomo?

Caro aluno, agora compare as suas soluções com as que se apresentam no fim deste módulo e passe para o estudo da lição seguinte se tiver acertado na resolução de todas as questões das actividades de avaliação. Sucessos!



# Lição 18

---

## Desintegração Radioactiva ou Radioactividade

### Introdução

A radioactividade foi descoberta acidentalmente pelos cientistas Pierre e Marie Currier quando abandonaram acidentalmente alguma amostras do elemento Rádio sobre um envelope contendo filmes fotográficos e no dia seguinte verificaram que nas chapas havia uma série de manchas cuja explicação ignoravam.

Como consequência deste facto todos elementos que observavam essa mesma propriedade forma considerados possuírem uma propriedade semelhante ao “Radium”- o radiante ou seja que irradia, daí o termo Radioactividade

Ao concluir esta unidade você será capaz de:



#### Objectivos

- *Identificar* os tipos de desintegração radioactiva.
- *Representar* os tipos de desintegração radioactiva através de equações químicas.

### Reacções Nucleares

- As reacções nucleares dividem-se em três grandes grupos:
- Reacções de Desintegração ou Radioactividade,
- Reacções de Fissão
- Reacções de Fusão

### Reacções de Desintegração ou Radioactividade

A Radioactividade é o processo de transformação de de um nuclido em outro com a emissão partículas altamente energéticas, também chamadas partículas nucleares.

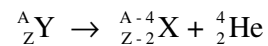
Também se considera, radioactividade, a transformação de uma partícula em outra, como por exemplo, a transformação de um próton em neutrão ou vice-versa.

A radioactividade pode ser natural, quando ocorre de forma espontânea, ou artificial, quando é provocada ou induzida.

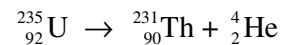
A radioactividade pode ser do tipo alfa ( $\alpha$ ), beta ( $\beta$ ) ou gama ( $\gamma$ ).

### Desintegração - $\alpha$

É uma reacção nuclear em que um núcleo mãe “Y” se transforma num núcleo filho X e liberta um núcleo de Hélio ( ${}^4_2\text{He}$ ) ou uma partícula alfa ( ${}^4_2\alpha$ ).



Exemplo:

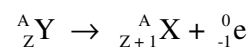


### Desintegração - $\beta$

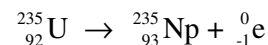
Por motivos históricos distinguem-se a desintegração beta –menos ( $\beta^-$ ) e beta-mais ( $\beta^+$ ).

a) Desintegração -  $\beta^-$

É uma reacção nuclear em que um núcleo mãe “Y” se transforma num núcleo filho X e liberta um electrão ( ${}^0_{-1}\text{e}$ ).

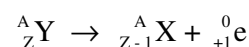


Exemplo:

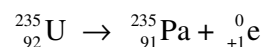


b) Desintegração -  $\beta^+$

É uma reacção nuclear em que um núcleo mãe “Y” se transforma num núcleo filho X e liberta um positrão ( ${}^0_{+1}\text{e}$ ).

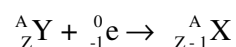


Exemplo:

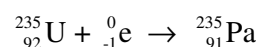


### Captura Electrónica ou Captura – K

É uma reacção nuclear em que um núcleo mãe “Y” capta um electrão e se transforma num núcleo filho X.



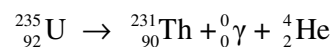
Exemplo:



### Desintegração - $\gamma$

É uma reacção nuclear em que um núcleo mãe “Y” sai do estado excitado e emite radiação electromagnética ou radiação gama a qual é constituída por fotões. Este tipo de radiação, geralmente acompanha os outros tipos de desintegração (alfa, beta ou captura – K).

Exemplo:



**Estimado aluno, terminado o estudo do texto da lição sobre a desintegração radioactiva, faça um pequeno resumo da matéria nela tratada e compare-o ao que se apresenta a seguir.**

## Resumo da lição



### Resumo

Nesta lição você aprendeu que:

- A Radioactividade é o processo de transformação de de um nuclido em outro com a emissão partículas altamente energéticas, também chamadas partículas nucleares.
- Também se considera, radioactividade, a transformação de uma partícula em outra, como por exemplo, a transformação de um próton em neutrão ou vice versa.
- A radioactividade pode ser natural, quando ocorre de forma espontânea, ou artificial, quando é provocada ou induzida.
- A radioactividade pode ser do tipo alfa ( $\alpha$ ), beta( $\beta$ ) ou gama ( $\gamma$ ).
- Desintegração -  $\alpha$  - é uma reacção nuclear em que um núcleo mãe “Y” se transforma num núcleo filho X e liberta um núcleo de Hélio ( ${}^4_2\text{He}$ ) ou uma partícula alfa ( ${}^4_2\alpha$ ).
- Desintegração -  $\beta^-$  - é uma reacção nuclear em que um núcleo mãe “Y” se transforma num núcleo filho X e liberta um electrão ( ${}^0_{-1}\text{e}$ ).
- Desintegração -  $\beta^+$  - é uma reacção nuclear em que um núcleo mãe “Y” se transforma num núcleo filho X e liberta um positrão ( ${}^0_{+1}\text{e}$ ).
- Captura K - é uma reacção nuclear em que um núcleo mãe “Y” capta um electrão e se transforma num núcleo filho X.
- Desintegração -  $\gamma$  - é uma reacção nuclear em que um núcleo mãe “Y” sai do estado excitado e emite radiação electromagnética ou radiação gama a qual é constituída por fotões. Este tipo de radiação, geralmente acompanha os outros tipos de desintegração (alfa, beta ou captura – K).

**Caro aluno, certamente o seu resumo condiz com o que se apresenta nesta secção. Assim, passe à realização das actividades de fixação que constam da secção a seguir.**

## Atividade de Fixação

Estimado aluno, resolva todas as questões das actividades de fixação e assegure a compreensão da matéria tratada nesta lição. Mãos à obra!

A equação para a desintegração radioactiva de quatro nuclidos, representados pelas letras A, B, C e D é  ${}_{90}^{232}\text{A} \rightarrow {}_{88}^{228}\text{B} \rightarrow {}_{89}^{228}\text{C} \rightarrow {}_{90}^{228}\text{D}$ .

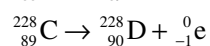
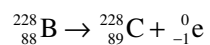
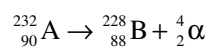
a) Dê as equações com as partículas emitidas em cada desintegração.

b) Que letras representam elementos isótopos? E isóbaros?

**Ótimo, caro aluno! Terminada a realização das actividades de fixação, confira as suas respostas na seguinte chave de correcção.**

### Chave de Correcção

a)



b) B, C e D são isótopos; A e D são isóbaros.

## Actividades de Avaliação



### Avaliação

Estimado aluno, Agora resolva no seu caderno de exercícios as actividades de avaliação e verifique o seu nível da compreensão da matéria tratada nesta. Mãos à obra!

A equação para a desintegração radioactiva de quatro nuclidos, representados pelas letras A, B, C e D é  ${}_{90}^{232}A \rightarrow {}_{88}^{228}B \rightarrow {}_{89}^{228}C \rightarrow {}_{90}^{228}D$ .

- Dê as equações com as partículas emitidas em cada desintegração.
- Que letras representam elementos isótopos? E isóbaros?

Caro aluno, agora compare as suas soluções com as que se apresentam no fim deste módulo e passe para o estudo da lição seguinte se tiver acertado na resolução de todas as questões das actividades de avaliação. Sucessos!

# Lição 19

## Leis da Desintegração Radioactiva

### Introdução

Caro aluno, você já sabe que a radioactividade é o processo de transformação de um nuclídeo em outro com a emissão de partículas altamente energéticas, também chamadas partículas nucleares. Também sabe que se considera, radioactividade, a transformação de uma partícula noutra e que ela pode ser natural, quando ocorre de forma espontânea, ou artificial, quando é provocada ou induzida.

Nesta lição vamos aprender as leis que regulam este fenómeno natural.

Ao concluir esta unidade você será capaz de:



#### Objectivos

- *Aplicar* as leis da desintegração radioactiva na resolução de exercícios concretos.
- *Aplicar* o conceito de período de semidesintegração na resolução de exercícios concretos.

### Leis da Desintegração Radioactiva

1ª Lei – O processo de desintegração radioactiva não depende das condições externas.

Isto significa que este processo não depende das condições climatéricas em que decorre o processo de desintegração, dependendo apenas do isótopo radioactivo.

2ª Lei – O número de nuclídeos desintegrados na unidade de tempo “ $\frac{\Delta N}{\Delta t}$ ” (rapidez de desintegração) é directamente proporcional ao número de nuclídeos “N” existentes.

Isto significa que quanto maior é o número de nuclídeos existentes, maior é a rapidez de desintegração, ou seja, maior é a rapidez da transformação

de um nuclido em outro. Por exemplo, 1000 nuclidos de Urânio desintegram-se mais depressa do que 500 nuclidos também de Urânio.

Ao número de nuclidos desintegrados na unidade de tempo dá-se o nome de actividade. Por isso,

$$A = \frac{\Delta N}{\Delta t}$$

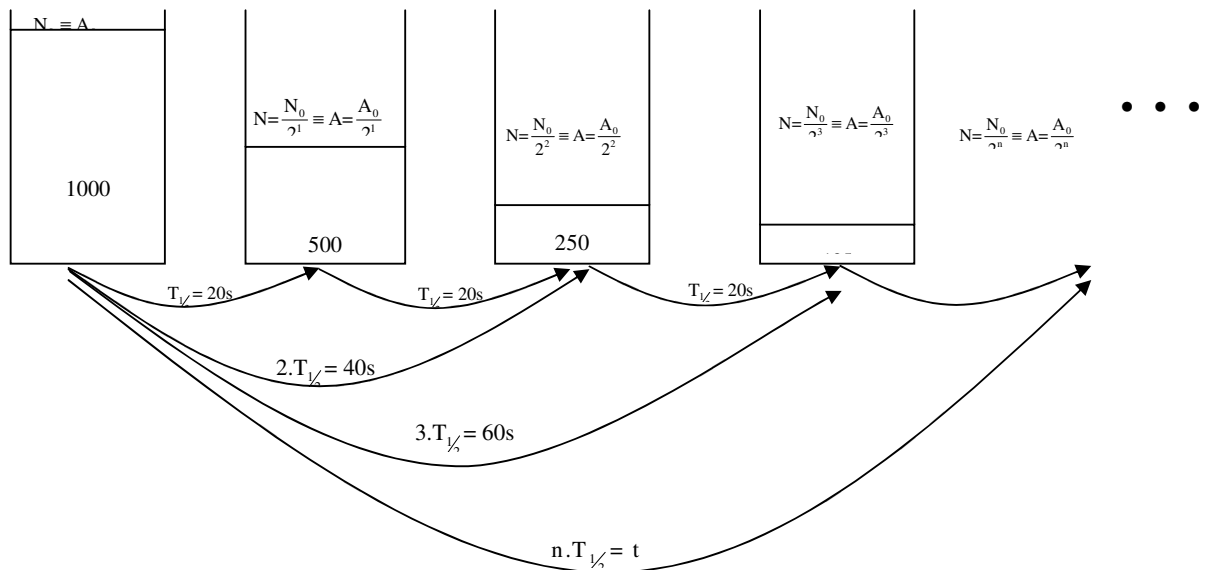
A unidade da actividade no S.I. é o Becquerel “Bq”, onde  $1 \text{ Bq} = 1 \text{ s}^{-1}$ .

### Período de Semidesintegração “ $T_{1/2}$ ”

O período de semidesintegração é o tempo necessário para que se desintegre a metade dos nuclidos existentes num determinado instante ou tempo necessário para que a actividade de um determinado nuclido se reduza a metade.

O período de semidesintegração de um determinado período é um valor constante para um determinado nuclido.

Isto significa que se 1000 nuclido de Urânio gastam 20 segundos a se desintegrarem, então os 500 nuclidos restantes também gastam 20 segundos a se desintegrarem; Os 250 nuclidos que restam também necessitam de 20 segundos, e assim sucessivamente, veja a figura.



Com base na figura obtivemos as equações:

$$\frac{N}{N_0} = \frac{1}{2^n}$$

$$\frac{A}{A_0} = \frac{1}{2^n}$$



$$N = \frac{N_0}{2^n} \Rightarrow$$

$$A = \frac{A_0}{2^n} \Rightarrow$$

$$n \cdot T_{1/2} = t \Rightarrow \boxed{n = \frac{t}{T_{1/2}}}$$

Onde:

$N_0$  ... é o número de nuclidos existentes por se desintegrarem no início

$N$  ... é o número de nuclidos existentes por se desintegrarem num dado instante

$A_0$  ... é a actividade inicial do nuclido

$A$  ... é a actividade do nuclido num dado instante

$n$  ... é o número de períodos de semidesintegração decorridos

$T_{1/2}$  ... é o período de semidesintegração

O quociente “ $\frac{1}{2^n}$ ” é uma fracção importante, chamada fracção de nuclidos desintegrados e representa-se pelo símbolo “QP”. Por isso,

$$\boxed{Q_P = \frac{1}{2^n}}$$

Se multiplicarmos esta fracção por 100% obtemos a percentagem dos nuclidos por se desintegrarem.

Por isso, se quisemos saber a fracção dos nuclidos que já se desintegraram, ou seja, dos nuclidos desintegrados “ $Q_D$ ”, é só subtrair a fracção dos nuclidos por se desintegrarem a unidade ( $Q_D = 1 - Q_P$ ). Assim,

$$\boxed{Q_D = 1 - \frac{1}{2^n}}$$

**Estimado aluno, terminado o estudo do texto da lição sobre a desintegração radioactiva, faça um pequeno resumo da matéria nela tratada e compare-o ao que se apresenta a seguir.**

## Resumo da lição



### Resumo

Nesta lição você aprendeu que:

- 1ª Lei – O processo de desintegração radioactiva não depende das condições externas.
- 2ª Lei – O número de nuclídeos desintegrados na unidade de tempo “ $\frac{\Delta N}{\Delta t}$ ” (rapidez de desintegração) é directamente proporcional ao número de nuclídeos “N” existentes.
- Actividade é o número de nuclídeos desintegrados na unidade de tempo.
- O período de semidesintegração é o tempo necessário para que se desintegre a metade dos nuclídeos existentes num determinado instante ou tempo necessário para que a actividade de um determinado nuclídeo se reduza a metade.
- O período de semidesintegração de um determinado período é um valor constante para um determinado nuclídeo.
- A relação entre o número de nuclídeos por se desintegrar e o número inicial é dada pela expressão:  $\frac{N}{N_0} = \frac{1}{2^n}$
- A relação entre Actividade de uma amostra de nuclídeos e da sua actividade inicial dada pela expressão:  $\frac{A}{A_0} = \frac{1}{2^n}$
- O número de períodos de semidesintegração decorridos num determinado tempo pode ser calculado pela expressão: 
$$n = \frac{t}{T_{1/2}}$$
- A fracção de nuclídeos por se desintegrar pode ser determinada pela expressão:  $Q_p = \frac{1}{2^n}$
- A fracção de nuclídeos desintegrados pode ser determinada pela expressão:  $Q_D = 1 - \frac{1}{2^n}$

**Caro aluno, certamente o seu resumo condiz com o que se apresenta nesta secção. Assim, passe à realização das actividades de fixação que**

constam da secção a seguir.

## Actividades de Fixação



### Actividades

Estimado aluno, Agora resolva no seu caderno de exercícios as actividades de avaliação e verifique o seu nível da compreensão da matéria tratada nesta. Mãos à obra!

1. Um nuclido radioactivo tem um período de semidesintegração de 600 anos.
  - a) Quantos períodos de semidesintegração decorreram após 3600 anos?
  - b) Qual é a fracção restante de nuclidos (nuclidos por se desintegrar) após 1200 anos?
  - c) Qual é a fracção que decaí (nuclidos desintegrados) após 4800 anos?

Caro aluno, confira as suas respostas na chave de correcção apresentada a seguir

### Chave de Correcção

a)

Dados	Fórmula	Resolução
$T_{1/2} = 600 \text{ a}$ $t = 3600 \text{ a}$ $n = ?$	$n = \frac{t}{T_{1/2}}$	$n = \frac{3600}{600}$ $n = 6$

**Resposta:** Terão decorrido 6 períodos de semidesintegração.

b)

Dados	Fórmula	Resolução
$T_{1/2} = 600 \text{ a}$ $t = 1200 \text{ a}$ $Q_p = ?$	$n = \frac{t}{T_{1/2}}$ $Q_p = \frac{1}{2^n}$	$n = \frac{1200}{600}$ $n = 2$ $Q_p = \frac{1}{2^2}$ $Q_p = \frac{1}{4}$



**Resposta:** A fracção de nuclídeos por se desintegrar é de  $\frac{1}{4}$ .

c)

Dados	Fórmula	Resolução
$T_{1/2} = 600 \text{ a}$ $t = 4800 \text{ a}$ $Q_D = ?$	$n = \frac{t}{T_{1/2}}$ $Q_D = 1 - \frac{1}{2^n}$	$n = \frac{4800}{600}$ $n = 8$ $Q_D = 1 - \frac{1}{2^8}$ $Q_D = 1 - \frac{1}{256}$ $Q_D = \frac{256 - 1}{256}$ $Q_D = \frac{255}{256}$

**Resposta:** A fracção de nuclídeos desintegrados é de  $\frac{255}{256}$ .

**Estimado aluno, terminada com sucesso a resolução das actividades de fixação, passe à realização das actividades de avaliação.**

## Actividades de Avaliação



### Avaliação

Estimado aluno, Agora resolva no seu caderno de exercícios as actividades de avaliação e verifique o seu nível da compreensão da matéria tratada nesta. Mãos à obra!

1. O Rádio – 226 tem um período de de semidesintegração de 1600 anos.
  - a) Quantos períodos de semidesintegração decorreram após 9600 anos?
  - b) Qual é a fracção restante de nuclidos (nuclidos por se desintegrar) após 4800 anos?
  - c) Qual é a fracção que decai (nuclidos desintegrados) após 6400 anos?
  
2. O Iodo – 131 tem um período de semidesintegração de 8 dias. Uma fonte deste isótopo tem uma actividade inicial de 2,0 Bq.
  - a) Qual é o valor da actividade após 24 dias?
  - b) Quanto tempo decorrerá até que a actividade seja de 1,0 Bq?
  - c) Calcule a constante de desintegração do nuclido radioactivo.
  
3. O período de semidesintegração do Randon – 220 é de cerca de 60 s. Se o número de desintegrações for de 600 por segundo, em quanto tempo diminui para 75 por segundo?
  
4. Em 120 dias, a actividade de uma amostra de Polónio “Po”, decai para 1/8 do seu valor inicial. A reacção pode ser escrita na forma:
 
$${}^a_bPo \rightarrow {}^c_d\alpha + {}^{206}_{82}Pb + {}^0_0\gamma$$
  - a) Quais são os valores das letras a, b, c, d.
  - b) Quantos períodos de semidesintegração decorreram após 120 dias?



5. Uma amostra de Tório – 229, possui um actividade de  $5/3 \mu\text{Ci}$  (micro – Curie). O seu período de semidesintegração é de 7340 anos.
- a) Ao fim de quanto tempo a sua actividade será de  $5/48 \mu\text{Ci}$ ?
  - b) Qual será a actividade do nuclido radioactivo após 22020 anos?

**Caro aluno, agora compare as suas soluções com as que se apresentam no fim deste módulo e passe para o estudo da lição seguinte se tiver acertado na resolução de todas as questões das actividades de avaliação. Sucessos!**

## Lição 20

### Leis da Desintegração Radioactiva - Período de Semidesintegração

#### Introdução

Caro amigo, você já aprendeu as leis da desintegração radioactiva e as equações que delas resultam. Porém as equações que estudamos até agora só são aplicáveis em casos em que o número de desintegração são valores inteiros.

Nesta lição vai estudar o cálculo do número de partículas por se desintegrarem ou a actividade de uma amostra num dado instante qualquer.

Ao concluir esta unidade você será capaz de:

- *Aplicar* as equações de desintegração radioactiva na resolução de exercícios concretos.



#### Objectivos

#### Equações Gerais da Desintegração Radioactiva

As equações  $N = N_0 \cdot 2^{-n}$  e  $A = A_0 \cdot 2^{-n}$  são aplicáveis quando o número de períodos de semidesintegração decorridos for igual a valores inteiros, ou seja, se  $n = 1, 2, 3, \dots$  etc. Porém quando isto não acontece deve-se usar outra equação equivalente, que vamos de seguida deduzir.

Logaritmizando a equação  $N = N_0 \cdot 2^{-n}$  ( $\log_e^x = \ln x$ ), onde “e” é o

número de Nepper ( $e = 2,7182818281828\dots$ ) e “lnx” é chamado logaritmo natural de x, obtemos:

$$\ln N = \ln N_0 + \ln 2^{-n} \Rightarrow \ln N - \ln N_0 = -n \cdot \ln 2$$

Mas como  $n = \frac{t}{T_{1/2}}$ , então podemos escrever:



$$\ln\left(\frac{N}{N_0}\right) = -\frac{t}{T_{1/2}} \cdot \ln 2 \Rightarrow \ln\left(\frac{N}{N_0}\right) = -\frac{\ln 2}{T_{1/2}} \cdot t$$

Como  $\ln 2$  e  $T_{1/2}$  são constantes, definem uma nova constante “ $\lambda$ ” chamada constante de desintegração. Assim:

$$\lambda = -\frac{\ln 2}{T_{1/2}}$$

Deste modo podemos escrever a penúltima equação na forma:

$$\ln\left(\frac{N}{N_0}\right) = -\lambda \cdot t \Rightarrow \frac{N}{N_0} = e^{-\lambda \cdot t} \Rightarrow N = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$$

De forma semelhante podemos escrever:

$$A = A_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$$

**Estimado aluno, terminado o estudo do texto da lição sobre a desintegração radioactiva, faça um pequeno resumo da matéria nela tratada e compare-o ao que se apresenta a seguir.**



---

## Resumo da lição



### Resumo

Nesta lição você aprendeu que:

- Entre a constante de desintegração e o período de semidesintegração é válida a relação:  $\lambda = -\frac{\ln 2}{T_{1/2}}$
- O número de partículas por se desintegrar num determinado instante é dado pela relação:  $N = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$
- A actividade de uma amostra radioactiva num determinado instante é dada pela relação:  $A = A_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$

**Caro aluno, certamente o seu resumo condiz com o que se apresenta nesta secção. Assim, passe à realização das actividades de fixação que constam da secção a seguir.**

## Actividades de Fixação


**Actividades**

Estimado aluno, Agora resolva no seu caderno de exercícios as actividades de avaliação e verifique o seu nível da compreensão da matéria tratada nesta. Mãos à obra!

1. Uma amostra de Tório – 229, possui um actividade de 0,6  $\mu\text{Ci}$  (micro – Curie). O seu período de semidesintegração é de 7340 anos.
  - a) Ao fim de quanto tempo a sua actividade será de 0,1  $\mu\text{Ci}$ ?
  - b) Qual será a actividade do nuclido radioactivo após 20000 anos?

Caro aluno, confira as suas respostas na chave de correcção apresentada a seguir

**Chave de Correção**

a)

Dados	Fórmula	Resolução
$A_0 = 0,6 \mu\text{Ci}$ $T_{1/2} = 7340 \text{ a}$ $A = 0,1 \mu\text{Ci}$ $t = ?$	$\lambda = -\frac{\ln 2}{T_{1/2}}$ $A = A_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$	$\lambda = -\frac{0,693}{7340}$ $\lambda = -9,4 \cdot 10^{-5} \text{ a}^{-1}$ $0,1 = 0,6 \cdot e^{-(9,4 \cdot 10^{-5}) \cdot t}$ $\frac{0,1}{0,6} = e^{9,4 \cdot 10^{-5} \cdot t}$ $0,17 = e^{9,4 \cdot 10^{-5} \cdot t}$ $\ln 0,17 = 9,4 \cdot 10^{-5} \cdot t$ $t = \frac{\ln 0,17}{9,4 \cdot 10^{-5}}$ $t = \frac{-1,8}{9,4 \cdot 10^{-5}}$ $t = 1,9 \cdot 10^4 \text{ a}$

Estimado aluno, terminada com sucesso a resolução das actividades de fixação, passe à realização das actividades de avaliação.

---

## Actividades de Avaliação



### Avaliação

**Estimado aluno, Agora resolva no seu caderno de exercícios as actividades de avaliação e verifique o seu nível da compreensão da matéria tratada nesta. Mãos à obra!**

1. O Iodo – 131 tem um período de semidesintegração de 8 dias. Uma fonte deste isótopo tem uma actividade inicial de 2,0 Bq.
  - a) Qual é o valor da actividade após 20 dias?
  - b) Quanto tempo decorrerá até que a actividade seja de 1,5 Bq?
  - c) Calcule a constante de desintegração do nuclido radioactivo.
  
2. O período de semidesintegração do Randon – 220 é de cerca de 60 s. Se o número de desintegrações for de 600 por segundo, em quanto tempo diminui para 60 por segundo?

**Caro aluno, agora compare as suas soluções com as que se apresentam no fim deste módulo e passe para o estudo da lição seguinte se tiver acertado na resolução de todas as questões das actividades de avaliação. Sucessos!**

# Lição 21

## Gráficos A(t) e N(t)

### Introdução

O estimado alun já conhece as equações do processo de desintegração radioactiva. Nesta lição vai representa-las graficamente e interpreta-las.

Ao concluir esta unidade você será capaz de:

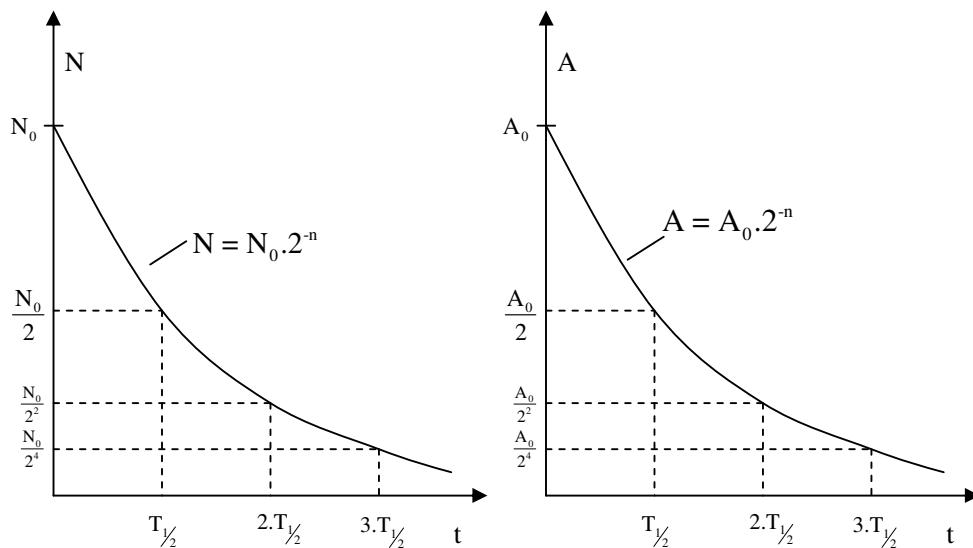


#### Objectivos

- Interpretar o gráfico da actividade de um nuclido em função do tempo.
- Interpretar o gráfico do número de nuclido por se desintegrarem em função do tempo.

### Gráficos de N(t) e A(t)

Já sabemos que a cada período de semidesintegração que decorre, o número de nuclidos existentes ou a actividade do nuclido se reduzem a metade. Nesta base podemos construir os gráficos do número de nuclidos por se desintegrarem em função do tempo e da Actividade do nuclido em função do tempo.



Como vê, as linhas obtidas representam funções exponenciais. Portanto, isto significa que o processo de desintegração radioactiva decorre de forma exponencial.

**Estimado aluno, terminado o estudo do texto da lição sobre a desintegração radioactiva, faça um pequeno resumo da matéria nela tratada e compare-o ao que se apresenta a seguir.**

---

## Resumo da lição



### Resumo

Nesta lição você aprendeu que:

- O processo de desintegração radioactiva decorre de forma exponencial.

**Caro aluno, certamente o seu resumo condiz com o que se apresenta nesta secção. Assim, passe à realização das actividades de fixação que constam da secção a seguir.**

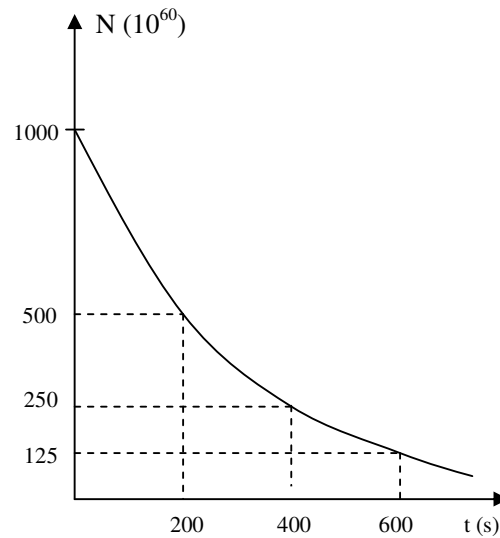
## Actividades de Fixação



### Actividades

Estimado aluno, Agora resolva no seu caderno de exercícios as actividades de avaliação e verifique o seu nível da compreensão da matéria tratada nesta. Mãos à obra!

- O gráfico representa o processo de desintegração de um nuclido radioactivo.



- Com base no gráfico determine o período de semidesintegração.
- Qual é o número inicial de nuclidos.
- Calcule o número de nuclido por se desintegrar após 1000 s.

**Caro aluno, confira as suas respostas na chave de correcção apresentada a seguir**

### Chave de Correção

- $T_{1/2} = 200 \text{ s}$
- $N_0 = 1000 \cdot 10^{60} = 1 \cdot 10^{63}$  nuclidos

c)

Dados	Fórmula	Resolução
$T_{1/2} = 200 \text{ s}$ $t = 1000 \text{ s}$ $N_0 = 1 \cdot 10^{63}$ nuclidos $N = ?$	$n = \frac{t}{T_{1/2}}$  $\frac{N}{N_0} = \frac{1}{2^n}$	$n = \frac{1000}{200}$ $n = 5$  $\frac{N}{10^{63}} = \frac{1}{2^5}$ $N \cdot 2^5 = 10^{63}$ $N = \frac{10^{63}}{2^5}$ $N = 3,125 \cdot 10^{61}$

**Resposta:** O número de partículas é de  $3,125 \cdot 10^{61}$ .

**Estimado aluno, terminada com sucesso a resolução das actividades de fixação, passe à realização das actividades de avaliação.**

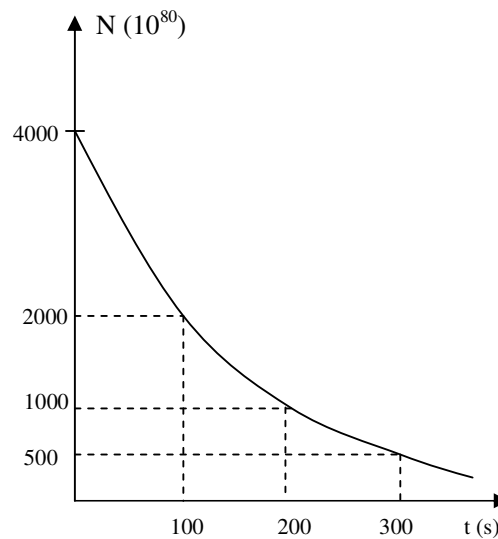
## Actividades de Avaliação



### Avaliação

Estimado aluno, Agora resolva no seu caderno de exercícios as actividades de avaliação e verifique o seu nível da compreensão da matéria tratada nesta. Mãos à obra!

1. O gráfico representa o processo de desintegração de uma amostra radioactiva.



- a) Com base no gráfico determine o período de semidesintegração.
- b) Quantos nuclidos existem no início?
- c) Calcule o número de nuclidos da amostra após 600 s.

Caro aluno, agora compare as suas soluções com as que se apresentam no fim deste módulo e passe para o estudo da lição seguinte se tiver acertado na resolução de todas as questões das actividades de avaliação. Sucessos!



## Lição 22

### Fissão ou Cisão Nuclear

#### Introdução

Caro aluno, já viu que a radioactividade consiste na transformação de um núcleo em outro com a emissão de partículas altamente energéticas. Porém ela pode ser natural, quando ocorre espontaneamente ou artificial quando provocada nos chamados reactores nucleares.

Nesta lição vamos aprender em que condições ela ocorre artificialmente nas chamadas reacções de fissão.

Ao concluir esta unidade você será capaz de:



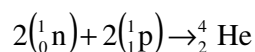
#### Objectivos

- *Calcular* o defeito de massa de uma reacção nuclear.
- *Explicar* o significado do defeito de.
- *Calcular* a energia libertada durante uma reacção de fissão.

#### Defeito de Massa

Para melhor perceber o que é uma reacção de fissão, vamos começar por esclarecer o que é o defeito de massa. Mas para estudar este conceito vamos resolver conjuntamente o seguinte exercício.

Das tabelas de constantes Física e Químicas sabe-se que a massa de um neutrão é de 1,0090 u.m.a. e de um protão é de 1,0080 u.m.a.. Sabe-se que da reacção de 2 protões e 2 neutrões produz-se um núcleo de de Hélio -  $\text{He}_2^4$ , cuja massa é de 4,0026 u.m.a.



Vamos calcular a diferença de massa “ $\Delta m$ ” entre os produtos e os reagentes.



A diferença de massa é igual a diferença da massa dos produto “ $M_P$ ” e a massa dos reagentes “ $M_R$ ”. Por isso:

$$\Delta m = M_P - M_R$$

Agora podemos tirar os dados e aplicar a fórmula para o cálculo da diferença de massa.

Dados	Fórmula	Resolução
$m_p = 1,0090$ u.m.a. $m_n = 1,0080$ u.m.a. $\Delta m = ?$	$\Delta m = M_P - M_R$	$\Delta m = 4,0026 - (2.1,009 + 2.1,008)$ $\Delta m = 4,0026 - 4.0501$ $\Delta m = - 0,05$ u.m.a.

**Resposta:** A diferença de massa é de 0,05 u.m.a.

Como viu, existe uma diferença de massa entre os produtos e os reagentes. O sinal negativo mostra-nos que a massa dos reagentes é maior do que a massa dos produtos.

A esta diferença de massa dá-se o nome de defeito de massa.

O defeito de massa ocorre em todas as reacção químicas e isto deve-se ao facto de ser necessário uma determinada energia para manter as partículas ligadas entre si. Por exemplo, no caso da reacção da produção do núcleo de Hélio a partir dos dois protões e dos dois neutrões, é necessária uma determinada energia para manter os protões e os neutrões ligados no núcleo de Hélio.

Duma maneira geral , o defeito de massa pode ser calculado pela expressão:

$$\Delta m = |M_P - M_R|$$

Onde”  $\Delta m$ ” é o defeito de massa, “ $M_P$ ” é a massa dos produtos e “ $M_R$ ” é a massa dos reagentes.

O módulo serve apenas para tornar positivo o valor do defeito de massa.

## Relação Massa e Energia de Einstein

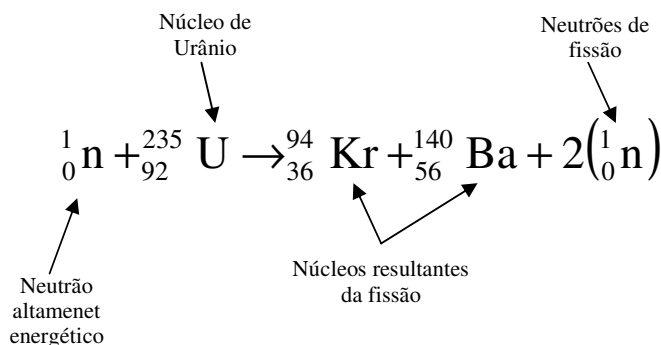
Acabamos de calcular o defeito de massa. Segundo Einstein, essa massa em falta, é convertida em energia que é necessária para manter as partículas ligadas. A expressão para o seu cálculo é:

$$E = m \cdot c^2$$

Onde “E” é a energia, “m” é a massa e “c” é a velocidade da luz no vácuo ( $3 \cdot 10^8$  m/s).

## Fissão Nuclear

A fissão nuclear é o segundo grupo de reacções nucleares que ocorre, por exemplo, quando neutrões altamente energéticos (a alta velocidade) colidem com núcleos de Urânio, que resulta na divisão deste em dois outros núcleos, os quais podem ser Kriptón e Bário, para além de se libertarem dois neutrões, chamados neutrões de fissão, veja a reacção:



Em geral define-se uma reacção de fissão como uma reacção nuclear durante a qual:

- Há uma divisão de um núcleo em dois mais leves,
- Libertam-se dois ou mais neutrões (os neutrões de fissão),
- Ocorre um defeito de massa, e,
- Liberta-se energia.

A energia libertada pode ser calculada pela relação entre massa e energia de Einstein. Porém, usando esta relação, a energia correspondente a um



defeito de massa de 1 u.m.a. é de cerca de 931 MeV (Mega-electrovolt). Por isso, na prática para o cálculo da energia libertada é:

$$E = 931 \cdot \Delta m$$

Onde “E” é a energia libertada e “ $\Delta m$ ” é o defeito de massa.

Nota: Nesta fórmula a energia libertada é dada em Mega-electrovolt “MeV” e o defeito de massa deve vir expresso em Unidade de Massa Atómica “u.m.a.”.

**Estimado aluno, terminado o estudo do texto da lição sobre a desintegração radioactiva, faça um pequeno resumo da matéria nela tratada e compare-o ao que se apresenta a seguir.**

## Resumo da lição



### Resumo

Nesta lição você aprendeu que:

- O defeito de massa é a diferença de massa entre os produtos e reagentes de uma reacção química.
- O defeito de massa ocorre em todas as reacções químicas e isto deve-se ao facto de ser necessário uma determinada energia para manter as partículas ligadas entre si
- A expressão para o cálculo do defeito de massa é:  
$$\Delta m = |M_p - M_R|$$
- A relação entre a massa e a energia de um corpo é dada pela expressão:  $E = m \cdot c^2$
- Uma reacção de fissão é uma reacção nuclear durante a qual:
  - Há uma divisão de um núcleo em dois mais leves,
  - Libertam-se dois ou mais neutrões (os neutrões de fissão),
  - Ocorre um defeito de massa, e,
  - Liberta-se energia.
- A energia libertada durante uma reacção de fissão pode ser calculada pela relação:  $E = 931 \cdot \Delta m$

**Caro aluno, certamente o seu resumo condiz com o que se apresenta nesta secção. Assim, passe à realização das actividades de fixação que constam da secção a seguir.**



## Actividades de Fixação



### Actividades

Estimado aluno, Agora resolva no seu caderno de exercícios as actividades de avaliação e verifique o seu nível da compreensão da matéria tratada nesta.

Mãos à obra!

1. Dada a reacção de fissão:



- Complete a reacção dada.
- Calcule a defeito de massa da reacção.
- Calcule a energia libertada na reacção.

U=235,10 u.m.a.; n =1,009 u.m.a.; La =147,90 u.m.a.; Br=84,97 u.m.a.

**Caro aluno, confira as suas respostas na chave de correcção apresentada a seguir**

### Chave de Correção

a) Para completar a reacção é necessário:

1º - Calcular a soma das massas dos reagentes e das massas dos produtos e calcular a diferença entre ambas. Assim,

Soma das massas dos reagentes:  $1 + 238 = 239$

Soma das massas dos produtos:  $95 + 141 = 236$

A diferença entre a massa dos reagentes e dos produtos: 3

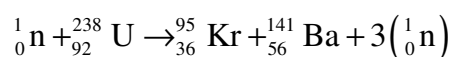
2º - Calcular a soma dos números atómicos dos reagentes e dos produtos e calcular a diferença entre ambas. Assim,

Soma das massas dos números atómicos dos reagentes:  $0 + 92 = 92$

Soma das massas dos números atómicos dos produtos:  $36 + 56 = 92$

A diferença entre as massas atómicas dos reagentes e dos produtos: 0

3º - Multiplicar o número de neutrões pelo resultados da diferença das massas dos reagentes e dos produtos. Assim,



b) Neste caso calcula-se a massa dos reagentes e a massa dos produtos e faz-se a diferença entre ambas. Assim,

Massa dos reagentes:

$$M_R = 235,10 + 1,009 = 236,109 \text{ u.m.a.}$$

Massa dos produtos:

$$M_P = 147,90 + 84,97 + 3 \cdot 1,009 = 235,897 \text{ u.m.a.}$$

$$\Delta m = |M_P - M_R|$$

$$\Delta m = |235,897 - 236,109|$$

$$\Delta m = |-0,212|$$

$$\Delta m = 0,212 \text{ u.m.a.}$$

**Resposta:** O defeito de massa é de 0,212 u.m.a.

c) Neste caso usa-se o defeito de massa calculado e aplica-se a fórmula para o cálculo da energia libertada.

Dados	Fórmula	Resolução
$\Delta m = 0,212 \text{ u.m.a.}$ $E = ?$	$E = 931 \cdot \Delta m$	$E = 931 \times 0,212$ $E = 197,372 \text{ MeV}$

**Resposta:** A energia libertada é de 197,372 MeV

Estimado aluno, terminada com sucesso a resolução das actividades de fixação, passe à realização das actividades de avaliação.

---

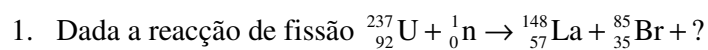
## Actividades de Avaliação



### Avaliação

Estimado aluno, Agora resolva no seu caderno de exercícios as actividades de avaliação e verifique o seu nível da compreensão da matéria tratada nesta.

**Mãos à obra!**



- Complete a reacção.
- Calcule o defeito de massa que ocorre durante a reacção.
- Calcule a energia libertada sabendo que:

$$U = 235,10 \text{ u.m.a.}; n = 1,009 \text{ u.m.a.}; La = 147,90 \text{ u.m.a.}; \\ Br = 84,97 \text{ u.m.a.}$$

**Caro aluno, agora compare as suas soluções com as que se apresentam no fim deste módulo e passe para o estudo da lição seguinte se tiver acertado na resolução de todas as questões das actividades de avaliação.**

**Sucessos!**



## Lição 23

### Fusão Nuclear – Reacção em Cadeia

#### Introdução

Na lição anterior vimos que uma reacção de fissão ocorre, por exemplo, quando neutrões altamente energéticos colidem com um núcleo de um átomo da qual resulta na divisão deste em dois outros núcleos mais leves com a libertação de energia devido ao defeito de massa que ocorre durante a reacção.

Nesta lição vamos aprender em que condições a reacção inversa a reacção de fissão ocorre.

Ao concluir esta unidade você será capaz de:

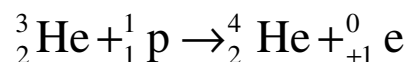
- *Explicar* o significado de uma reacção de fusão.
- *Calcular* a energia libertada durante uma reacção de fusão.



#### Objectivos

#### Fusão Nuclear

A fusão nuclear é o terceiro grupo de reacções nucleares que ocorre, por exemplo, quando dois núcleos leves colidem e produzem um núcleo mais pesado. Por exemplo quando um núcleo de Hélio-3 ( ${}^3_2\text{He}$ ) colide com um próton ( ${}^1_1\text{p}$ ) da qual resulta um núcleo de Hélio-4 ( ${}^4_2\text{He}$ ) e um positrão ( ${}^0_{+1}\text{e}$ ), veja a reacção:





Em geral define-se uma reacção de fusão como uma reacção nuclear durante a qual:

- Há uma junção de dois núcleos mais leves resultando em um núcleo mais pesado,
- Ocorre um defeito de massa, e,
- Liberta-se energia.

O defeito de massa da reacção também pode ser calculado pela relação:

$$\Delta m = |M_P - M_R|$$

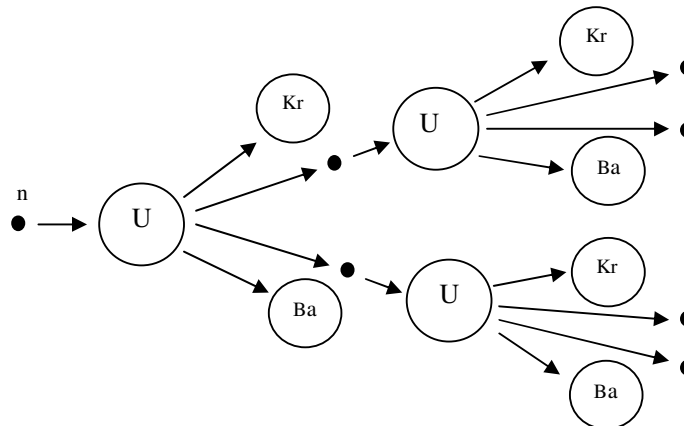
A energia libertada também pode ser calculada pela relação entre massa e energia de Einstein. Na prática da energia libertada também para o cálculo podemos usar a relação:

$$E = 931 \cdot \Delta m$$

Onde “E” é a energia libertada e “ $\Delta m$ ” é o defeito de massa.

## Reacção em Cadeia

Um exemplo de uma reacção de fissão é o que ocorre quando um neutrão altamente energético colide com um núcleo de Urânio da qual resultam dois núcleos mais leves e dois ou mais neutrões de fissão. Na prática porém, os neutrões de fissão podem provocar uma nova fissão. Quando isto acontece, diz estarmos presente uma reacção em cadeia, veja a figura.



**1ª Geração:**  
2 neutrões =  $2^1$

**2ª Geração:**  
4 neutrões =  $2^2$

Como pode observar, na 1ª geração libertaram-se  $2^1$  neutrões de fissão; na segunda geração libertaram-se  $2^2$  neutrões de fissão. O que significa que na terceira geração libertar-se-ão  $2^3$  neutrões de fissão e na n-ésima geração libertar-se-ão  $2^n$  neutrões de fissão. Por isso, se na primeira geração de uma reacção em cadeia libertarem-se 2, 3, 4, etc neutrões de fissão, na n-ésima geração libertar-se-ão  $2^n$ ,  $3^n$ ,  $4^n$ , etc neutrões de de fissão, respectivamente.

**Estimado aluno, terminado o estudo do texto da lição sobre a desintegração radioactiva, faça um pequeno resumo da matéria nela tratada e compare-o ao que se apresenta a seguir.**

## Resumo da lição



### Resumo

Nesta lição você aprendeu que:

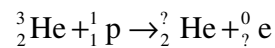
- Uma reacção de fusão é uma reacção nuclear durante a qual:
  - Há uma junção de dois núcleos mais leves resultando em um núcleo mais pesado,
  - Ocorre um defeito de massa, e,
  - Liberta-se energia.
- O defeito de massa de uma reacção de fusão pode ser calculado pela relação:  $\Delta m = |M_p - M_R|$
- A energia libertada durante uma reacção de fusão pode ser calculada pela relação:  $E = 931 \cdot \Delta m$
- Uma reacção de fissão em cadeia é uma reacção nuclear durante a qual cada neutrão de fissão provoca uma nova fissão.
- Se na primeira geração de uma reacção em cadeia libertarem-se 2, 3, 4, etc neutrões de fissão, na n-ésima geração libertar-se-ão  $2^n$ ,  $3^n$ ,  $4^n$ , etc neutrões de de fissão, respectivamente.

**Caro aluno, certamente o seu resumo condiz com o que se apresenta nesta secção. Assim, passe à realização das actividades de fixação que constam da secção a seguir.**

## Actividades de Fixação

**Estimado aluno, Agora resolva no seu caderno de exercícios as actividades de avaliação e verifique o seu nível da compreensão da matéria tratada nesta. Mãos à obra!**

1. Dada a reacção de fusão. Complete-a.



2. A fusão de um núcleo de Deutério e outro de Trítio dão origem à um núcleo de Hélio e mais uma partícula.
- De que partícula se trata?
  - Calcule a massa do núcleo obtido, sabendo que a energia libertada durante a reacção é de 18 MeV.  $D=2,0141$  u.m.a.;  $T=3,0161$  u.m.a.; Partícula: 1,0087 u.m.a.
3. Numa reacção em cadeia, libertam-se 3 neutrões na primeira geração de neutrões de fissão.
- Quantos neutrões libertar-se-ão na quarta geração?
  - Quantos neutrões libertar-se-ão na centésima geração?

**Caro aluno, confira as suas respostas na chave de correcção apresentada a seguir**

### Chave de Correção

- ${}^3_2\text{He} + {}^1_1\text{p} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^0_1\text{e}$
- ${}^2_1\text{H} + {}^3_1\text{T} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^1_0\text{n}$ . Trata-se de um neutrão.
  -

$$\begin{aligned}E_{\nu} &= 931 \cdot \Delta m \\ \Rightarrow 18 &= 931 \cdot [X + 1.0087 - (2.0141 + 3.0161)] \\ \Rightarrow \frac{18}{931} &= X + 1.0087 - 5.0302 \\ \Rightarrow 0.0193 &= X - 4.0215 \\ \Rightarrow X &= 4.04084 \text{uma}\end{aligned}$$

3.

a)  $n = 3^4 = 81$

b)  $n = 3^{100}$

**Estimado aluno, terminada com sucesso a resolução das actividades de fixação, passe à realização das actividades de avaliação.**

## Actividades de Avaliação

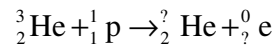


### Avaliação

Estimado aluno, Agora resolva no seu caderno de exercícios as actividades de avaliação e verifique o seu nível da compreensão da matéria tratada nesta.

#### Mãos à obra!

1. Dada a reacção de fusão. Complete-a.



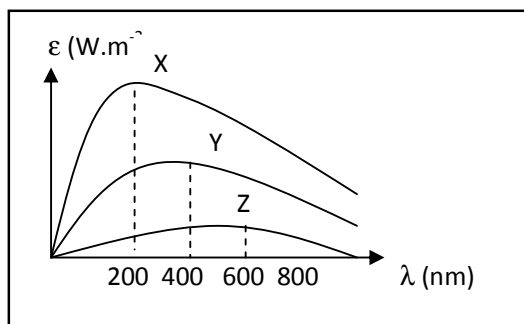
2. A fusão de um núcleo de Deutério e outro de Trítio dão origem à um núcleo de Hélio e mais uma partícula.
  - c) De que partícula se trata?
  - d) Calcule a massa do núcleo obtido, sabendo que a energia libertada durante a reacção é de 18 MeV. D=2,0141 u.m.a.; T=3,0161 u.m.a.; Partícula: 1,0087 u.m.a.
3. Numa reacção em cadeia, libertam-se 3 neutrões na primeira geração de neutrões de fissão.
  - c) Quantos neutrões libertar-se-ão na quarta geração?
  - d) Quantos neutrões libertar-se-ão na centésima geração?

Caro aluno, agora compare as suas soluções com as que se apresentam no fim deste módulo e passe para o estudo da lição seguinte se tiver acertado na resolução de todas as questões das actividades de avaliação.

**Sucessos!**

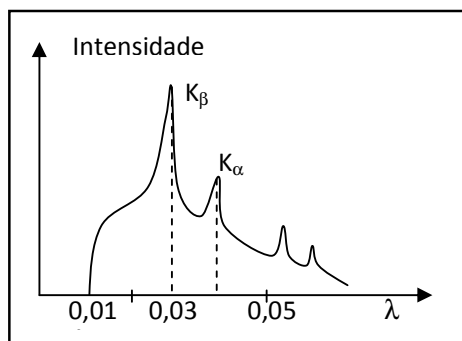
## Teste de Preparação de final de Módulo 4

1. O gráfico representa a emissividade de três estrelas X, Y e Z em função do comprimento de onda.



- Sem efectuar nenhum cálculo, compare a temperatura das três estrelas.
- Calcule a temperatura da estrela X.
- Calcule a emissividade da estrela Y.
- Calcule a área subentendida pela gráfico da estrela “Z”.
- Em quantas vezes a emissividade da estrela X é maior que a de Y?

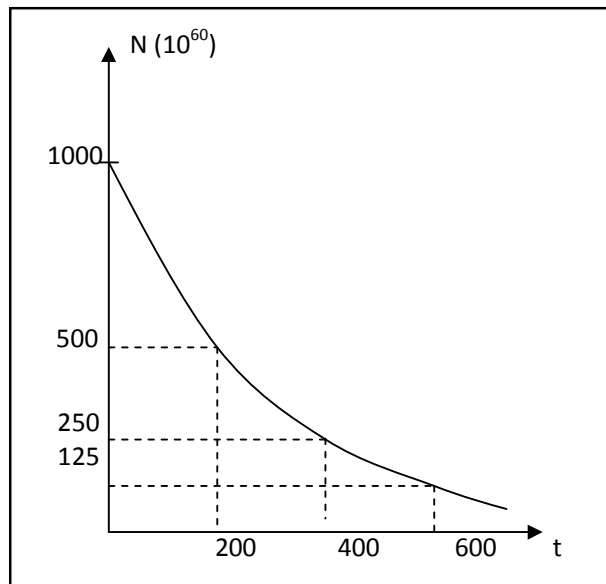
2. Observe o espectro dos raios  $\gamma$  (onde  $1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ m}$ ).



Use carga do electrão:  $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$  ;  $h = 6,625 \cdot 10^{-34} \text{ J.s}$

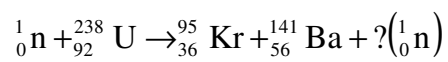
- Qual é o comprimento de onda mínimo dos raios  $\gamma$ ?

- b) Calcule a energia da linha  $K\alpha$ .
- c) Qual é a d.d.p. mínima a que deve operar o referido tubo?
3. Um nuclido radioactivo tem um período de semidesintegração de 600 anos.
- a) Quantos períodos de semidesintegração decorreram após 3600 anos?
- b) Qual é a fracção restante de nuclidos (nuclidos por se desintegrar) após 1200 anos?
- c) Qual é a fracção que decai (nuclidos desintegrados) após 4800 anos?
4. O gráfico representa o processo de desintegração de um nuclido radioactivo.



- a) Com base no gráfico determine o período de semidesintegração.
- b) Qual é o número inicial de nuclidos.
- c) Calcule o número de nuclido por se desintegrar após 1000 s.
5. Dada a reacção de fissão:





- Complete a reacção dada.
- Calcule a defeito de massa da reacção.
- Calcule a energia libertada na reacção.

(U=235,10 u.m.a.; n =1,009 u.m.a.; La =147,90 u.m.a.; Br=84,97 u.m.a.)

Agora compare as suas soluções com as que lhe apresentamos no final do módulo. Sucessos!

# Soluções do Módulo 4

## Lição 1

1. (a)

Dados	Fórmula	Resolução
$f = 3,75 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$ $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ $\lambda = ?$	$c = \lambda \cdot f$	$3 \cdot 10^8 = \lambda \cdot 3,75 \cdot 10^{14}$ $\Rightarrow \lambda = \frac{3 \cdot 10^8}{3,75 \cdot 10^{14}}$ $\Rightarrow \lambda = 8 \cdot 10^{-7} \text{ m}$

**Resposta:** O comprimento de onda é de  $8 \cdot 10^{-7} \text{ m}$ .

3.  $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$ .

$$1 \text{ nm} \quad \underline{\hspace{2cm}} \quad 10^{-9} \text{ m}$$

$$X \quad \underline{\hspace{2cm}} \quad 8 \cdot 10^{-7} \text{ m}$$

$$X = \frac{1 \text{ nm} \cdot 8 \cdot 10^{-7} \text{ m}}{10^{-9} \text{ m}} \Rightarrow X = 800 \text{ nm}$$

**Resposta:** O comprimento de onda é de 800 nm.

3. (a)  $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$ .

**Resposta:** O comprimento de onda é de  $10^{-9} \text{ m}$ .

(b)

Dados	Fórmula	Resolução
$c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ $\lambda = 10^{-9} \text{ m}$ $f = ?$	$c = \lambda \cdot f$	$3 \cdot 10^8 = f \cdot 10^{-9}$ $\Rightarrow f = \frac{3 \cdot 10^8}{10^{-9}}$ $\Rightarrow f = 3 \cdot 10^{17} \text{ Hz}$

**Resposta:** A frequência é de  $3 \cdot 10^{17} \text{ Hz}$ .

---

## Lição 2

1. As propriedades comuns das ondas electromagnéticas (apenas quatro) são:
  - Propagam-se em linha recta,
  - No mesmo meio propagam-se com velocidade constante, sendo no vácuo igual a  $3 \cdot 10^8$  m/s ( $c = 3 \cdot 10^8$  m/s).
  - Atravessam corpos opacos,
  - São reflectidas por superfícies metálicas,
2. Que tipo de radiação electromagnética:
  - e) Raios Ultravioleta.
  - f) Raios gama.
  - g) Microondas.
  - h) Raios Infravermelhos.
3.
  - a) Zona “A”: Infravermelhos; Zona “B”: Raios Gama
  - b) Raios Gama; Raios Gama:
  - c) Raios-x. Ultravioleta.
4. D



---

## Lição 4

1. a) V b) F c) V d) V e) V f) V g) F h) V

## Lição 5

1.

Dados	Fórmula	Resolução
$\lambda = 700 \text{ nm} = 7 \cdot 10^{-7} \text{ m}$ $b = 3 \cdot 10^{-3} \text{ m.K}$ $T = ?$	$\lambda_{\text{max}} = \frac{b}{T}$	$7 \cdot 10^{-7} = \frac{3 \cdot 10^{-3}}{T}$ $T = \frac{3 \cdot 10^{-3}}{7 \cdot 10^{-7}}$ $T = 4286 \text{ K}$

**Resposta:** A chama do fogão encontra-se a uma temperatura de 4286 K.

2.

Dados	Fórmula	Resolução
$f = 3 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$ $b = 3 \cdot 10^{-3} \text{ m.K}$ $T = ?$	$c = \lambda \cdot f$ $\lambda_{\text{max}} = \frac{b}{T}$	$3 \cdot 10^8 = \lambda \cdot 3 \cdot 10^{14}$ $\lambda = \frac{3 \cdot 10^8}{3 \cdot 10^{14}}$ $\lambda = 1 \cdot 10^{-6} \text{ m}$ $1 \cdot 10^{-6} = \frac{3 \cdot 10^{-3}}{T}$ $T = \frac{3 \cdot 10^{-3}}{1 \cdot 10^{-6}}$ $T = 3 \cdot 10^3 \text{ K}$

**Resposta:** A temperatura da estrela é de 3000 K.

3.

Dados	Fórmula	Resolução
$b = 3 \cdot 10^{-3} \text{ m.K}$ $T = 37 \text{ }^\circ\text{C}$ $\lambda_{\text{max}} = ?$	$\lambda_{\text{max}} = \frac{b}{T}$	$\lambda_{\text{max}} = \frac{3 \cdot 10^{-3}}{37}$ $\lambda_{\text{max}} = 8,1 \cdot 10^{-5} \text{ m}$

**Resposta:** O comprimento de onda máximo é de  $8,1 \cdot 10^{-5} \text{ m}$ .

4. Porque a côr negra é a que melhor absorve e emite radiação.



5. a)

(a) O corpo B. Porque a radiação emitida é de menor comprimento de onda que é inversamente proporcional a sua temperatura.

(b) Veja tabela da lição.

c) Porque a parte interna é a mais quente, por isso emite radiação de menor comprimento de onda enquanto que a parte externa é a menos quente e por isso emite radiação de maior comprimento de onda.

d) Porque a temperatura da estrela Sirius varia constantemente.

6.

Dados	Fórmula	Resolução
$\lambda = 400 \text{ nm} = 4 \cdot 10^{-7} \text{ m}$ $b = 3 \cdot 10^{-3} \text{ m.K}$ $T = ?$	$\lambda_{\text{max}} = \frac{b}{T}$	$4 \cdot 10^{-7} = \frac{3 \cdot 10^{-3}}{T}$ $T = \frac{3 \cdot 10^{-3}}{4 \cdot 10^{-7}}$ $T = 7500 \text{ K}$
$\lambda = 700 \text{ nm} = 7 \cdot 10^{-7} \text{ m}$ $b = 3 \cdot 10^{-3} \text{ m.K}$ $T = ?$	$\lambda_{\text{max}} = \frac{b}{T}$	$7 \cdot 10^{-7} = \frac{3 \cdot 10^{-3}}{T}$ $T = \frac{3 \cdot 10^{-3}}{7 \cdot 10^{-7}}$ $T = 4286 \text{ K}$

**Resposta:** A temperatura máxima é de 7500 K e a mínima é de 4286 K.

## Lição 6

1.

a)

Dados	Fórmula	Resolução
$T = 5000 \text{ K}$ $b = 3 \cdot 10^{-3} \text{ m.K}$ $\lambda = ?$	$\lambda_{\max} = \frac{b}{T}$	$\lambda_{\max} = \frac{3 \cdot 10^{-3}}{5000}$ $\lambda_{\max} = 6 \cdot 10^{-7} \text{ m}$
$T = 6000 \text{ K}$ $b = 3 \cdot 10^{-3} \text{ m.K}$ $\lambda = ?$	$\lambda_{\max} = \frac{b}{T}$	$\lambda_{\max} = \frac{3 \cdot 10^{-3}}{6000}$ $\lambda_{\max} = 5 \cdot 10^{-7} \text{ m}$

**Resposta:** A a banda de comprimentos de onda é de  $5 \cdot 10^{-7}$  a  $6 \cdot 10^{-7}$  m  
(500 a 600 nm)

b) Na banda da radiação visível.

c)

Dados	Fórmula	Resolução
$\lambda = 557 \text{ nm} = 5,57 \cdot 10^{-7} \text{ m}$ $b = 3 \cdot 10^{-3} \text{ m.K}$ $T = ?$	$\lambda_{\max} = \frac{b}{T}$	$5,57 \cdot 10^{-7} = \frac{3 \cdot 10^{-3}}{T}$ $T = \frac{3 \cdot 10^{-3}}{5,57 \cdot 10^{-7}}$ $T = 5400 \text{ K}$

**Resposta:** Pertence as estrelas do tipo “G” porque a sua temperatura está entre os 5000 e 6000 K.

c)



Dados	Fórmula	Resolução
$f = 1,2 \cdot 10^{15} \text{ Hz}$ $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ $b = 3 \cdot 10^{-3} \text{ m.K}$ $T = ?$	$c = \lambda \cdot f$  $\lambda_{\text{max}} = \frac{b}{T}$	$3 \cdot 10^8 = \lambda \cdot 1,2 \cdot 10^{15}$ $\lambda = \frac{3 \cdot 10^8}{1,2 \cdot 10^{15}}$ $\lambda = 2,5 \cdot 10^{-7} \text{ m}$  $2,5 \cdot 10^{-7} = \frac{3 \cdot 10^{-3}}{T}$  $T = \frac{3 \cdot 10^{-3}}{2,5 \cdot 10^{-7}}$ $T = 12000 \text{ K}$

**Resposta:** A temperatura da estrela Rigel é de 12000 K, por isso pertence a classe espectral “B”. Pertence as estrelas do tipo “G” porque a sua temperatura está entre os 5000 e 6000 K.

2.

Dados	Fórmula	Resolução
$T = 30000 \text{ K}$ $\sigma = 5,7 \cdot 10^{-8} \text{ W.m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$ $\epsilon = ?$	$\epsilon = \sigma \cdot T^4$	$\epsilon = 5,7 \cdot 10^{-8} \cdot (30000)^4$ $\epsilon = 5,7 \cdot 10^{-8} \cdot 8,1 \cdot 10^{16}$ $\epsilon = 4,6 \cdot 10^9 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$

**Resposta:** A emissividade da estrela é de  $4,6 \cdot 10^9 \text{ W.m}^{-2}$ .

3.

Dados	Fórmula	Resolução
$\epsilon = 7,4 \cdot 10^7 \text{ W/m}^2$ $\sigma = 5,7 \cdot 10^{-8} \text{ W.m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$ $T = ?$	$\epsilon = \sigma \cdot T^4$	$7,4 \cdot 10^7 = 5,7 \cdot 10^{-8} \cdot T^4$ $T = \sqrt[4]{\frac{7,4 \cdot 10^7}{5,7 \cdot 10^{-8}}}$  $T = \sqrt[4]{1,3 \cdot 10^{15}}$ $T \approx 6000 \text{ K}$

**Resposta:** A temperatura do sol é de cerca de 6000 K.



## Lição 7

1.

a)  $T_A > T_B > T_C$ .

b)

Dados	Fórmula	Resolução
$\lambda = 100 \text{ nm} = 10^{-7} \text{ m}$ $b = 3 \cdot 10^{-3} \text{ m.K}$ $T = ?$	$T = \frac{b}{\lambda}$	$T = \frac{3 \cdot 10^{-3}}{10^{-7}}$ $T = 30000 \text{ K}$

**Resposta:** A temperatura da estrela A é de 30000 K.

c)

Dados	Fórmula	Resolução
$\lambda = 200 \text{ nm} = 2 \cdot 10^{-7} \text{ m}$ $b = 3 \cdot 10^{-3} \text{ m.K}$ $\sigma = 5,7 \cdot 10^{-8} \text{ W.m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$ $\varepsilon = ?$	$T = \frac{b}{\lambda}$  $\varepsilon = \sigma \cdot T^4$	$T = \frac{3 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 10^{-7}}$ $T = 15000 \text{ K}$ $\varepsilon = 5,7 \cdot 10^{-8} \cdot (15000)^4$ $\varepsilon = 5,7 \cdot 10^{-8} \cdot 5,1 \cdot 10^{16}$ $\varepsilon = 2,9 \cdot 10^9 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$

**Resposta:** A emissividade da estrela B é de  $2,9 \cdot 10^9 \text{ W.m}^{-2}$ .

d)

Dados	Fórmula	Resolução
$\lambda = 300 \text{ nm} = 3 \cdot 10^{-7} \text{ m}$ $b = 3 \cdot 10^{-3} \text{ m.K}$ $\sigma = 5,7 \cdot 10^{-8} \text{ W.m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$ $\varepsilon = ?$	$T = \frac{b}{\lambda}$  $\varepsilon = \sigma \cdot T^4$	$T = \frac{3 \cdot 10^{-3}}{3 \cdot 10^{-7}}$ $T = 10000 \text{ K}$ $\varepsilon = 5,7 \cdot 10^{-8} \cdot (10000)^4$ $\varepsilon = 5,7 \cdot 10^{-8} \cdot 10^{16}$ $\varepsilon = 5,7 \cdot 10^8 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$

**Resposta:** A emissividade da estrela C é de  $5,7 \cdot 10^8 \text{ W.m}^{-2}$ .



e)

Dados	Fórmula	Resolução
$T_A = 30000 \text{ K}$ $T_B = 15000 \text{ K}$ $\frac{\epsilon_A}{\epsilon_B} = ?$	$\frac{\epsilon_A}{\epsilon_B} = \frac{T_A^4}{T_B^4}$	$\frac{\epsilon_A}{\epsilon_B} = \frac{(30000)^4}{(15000)^4}$ $\frac{\epsilon_A}{\epsilon_B} = \left(\frac{30000}{15000}\right)^4$ $\frac{\epsilon_A}{\epsilon_B} = 2^4$ $\epsilon_B$ $\epsilon_A = 16 \cdot \epsilon_B$

**Resposta:** A emissividade da estrela A é 16 vezes maior do que a da estrela B.

2. a)

Dados	Fórmula	Resolução
$c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ $f_{\min} = 30 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$ $b = 3 \cdot 10^{-3} \text{ m.K}$ $T = ?$	$\lambda = \frac{c}{f}$ $T = \frac{b}{\lambda_{\max}}$	$\lambda = \frac{3 \cdot 10^8}{30 \cdot 10^{14}} = 1 \cdot 10^{-7}$ $T = \frac{3 \cdot 10^{-3}}{1 \cdot 10^{-7}} = 3 \cdot 10^4 \text{ K}$

**Resposta:** A temperatura é de 30.000K.

b)

Dados	Fórmula	Resolução
$\sigma = 5.7 \cdot 10^{-8} \text{ W.m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ $T = 3 \cdot 10^4 \text{ K}$ $\epsilon = ?$	$\epsilon = \sigma \cdot T^4$	$\epsilon = 5.7 \cdot 10^{-8} \cdot (3 \cdot 10^4)^4$ $\epsilon = 4.6 \cdot 10^{10} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$

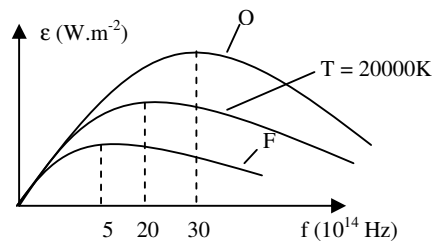
**Resposta:** A emissividade é de  $4.6 \cdot 10^{10} \text{ W.m}^{-2}$ .

c)

$$T = 2 \cdot 10^4 \text{ K}$$

$$T = \frac{b}{\lambda_{\max}} \Rightarrow \lambda_{\max} = \frac{3 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 10^4} \Rightarrow \lambda_{\max} = 1.5 \cdot 10^{-7} \text{ m}$$

$$f = \frac{c}{\lambda} \Rightarrow f_{\min} = \frac{3 \cdot 10^8}{1.5 \cdot 10^{-7}} \Rightarrow f_{\min} = 2 \cdot 10^{15} \text{ Hz} = 20 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$$



## Lição 8

1. C
2. A
3. A – F; B – F; C – V; D – V; E – V;
4. a)  $9 \cdot 10^{20}$                       b) 100 W
5. a)  $2 \cdot 10^{60}$     b)  $1 \cdot 10^{60}$                       c) 750 W                      d) 2.500 W

## Lição 9

- a)  $E = h \cdot f = 6.625 \cdot 10^{-34} \cdot 10^{15} = 6.625 \cdot 10^{-19} \text{ J}$
- b)  $E = \frac{h \cdot c}{\lambda} = \frac{6.625 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{4 \cdot 10^{-7}} = 4.97 \cdot 10^{-19} \text{ J}$
- c)  $E = \frac{h \cdot c}{\lambda} = \frac{6.625 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{5 \cdot 10^{-7}} = 3.975 \cdot 10^{-19} \text{ J}$

## Lição 10

1.  $E_{C_{\max}} = E - \Phi = 3.5 - 2.1 = 1.4 \text{ eV}$
- 2.
- a) A frequência mínima para que se dê o fenómeno fotoeléctrico numa superfície de Lítio é de  $5.5 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$ .
- b)  $\Phi = h \cdot f_0 = 6.625 \cdot 10^{-34} \cdot 5.5 \cdot 10^{14} = 3.44 \cdot 10^{-19} \text{ J}$
- c)
 
$$E_{C_{\max}} = h \cdot f - \Phi$$

$$\Rightarrow E_{C_{\max}} = 6.625 \cdot 10^{-34} \cdot 7.5 \cdot 10^{14} - 3.44 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

$$\Rightarrow E_{C_{\max}} = 1.53 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

d)

$$E_{C_{\max}} = \frac{m \cdot v^2}{2} \Rightarrow v = \sqrt{\frac{2E_{C_{\max}}}{m}}$$

$$\Rightarrow v = \sqrt{\frac{2 \cdot 1.53 \cdot 10^{-19}}{9.11 \cdot 10^{-31}}} \approx 1.1 \cdot 10^5 \text{ m/s}$$

---

## Lição 11

1.

$$E_{C_{\max}} = E - \Phi = 4.5 - 3.1 = 1.4 \text{ eV}$$

$$\Rightarrow E_{C_{\max}} = 1.4 \cdot 1.6 \cdot 10^{-19} = 4.96 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

$$\Phi = h \cdot f_0 \Rightarrow f_0 = \frac{\Phi}{h}$$

$$\Rightarrow f_0 = \frac{4.96 \cdot 10^{-19}}{6.625 \cdot 10^{-34}} = 7.5 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$$

2.

$$\text{a) } f_0 = 3.44 \cdot 10^{-19} \text{ Hz}$$

$$\text{b) } \Phi = h \cdot f_0 \Rightarrow \Phi = 6.625 \cdot 10^{-34} \cdot 9 \cdot 10^{14}$$

$$\Rightarrow \Phi = 5.965 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

$$E_{C_{\max}} = h \cdot f - \Phi$$

$$\text{c) } \Rightarrow E_{C_{\max}} = 6.625 \cdot 10^{-34} \cdot 1.2 \cdot 10^{15} - 5.965 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

$$\Rightarrow E_{C_{\max}} = 1.985 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

---

## Lição 12

$$\text{a) } f_0 = 1.5 \cdot 10^{-19} \text{ Hz}$$



$$b) \Phi = h \cdot f_0 \Rightarrow \Phi = 6.625 \cdot 10^{-34} \cdot 1.5 \cdot 10^{14} = 9.375 \cdot 10^{-20} \text{ J}$$

---

## Lição 13

1.

a)  $\lambda_1 = 425 \text{ nm}$

b)  $E = \frac{h \cdot c}{\lambda_2} = \frac{6.625 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{5.5 \cdot 10^{-7}} = 3.6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$

c)  $f = \frac{c}{\lambda_3} = \frac{3 \cdot 10^8}{7 \cdot 10^{-7}} = 4.3 \cdot 10^{14} \text{ J}$

2. a)

3. b)

4. c)

---

## Lição 14

$$\Delta E = |E_2 - E_1|$$

a)  $\Rightarrow \Delta E = |-13.6 + 0.85| = 12.75 \text{ eV} = 12.75 \cdot 1.6 \cdot 10^{-19}$   
 $\Rightarrow \Delta E = 20.4 \cdot 10^{-19} \text{ J}$

$$\Delta E = \frac{h \cdot c}{\lambda} \Rightarrow \lambda = \frac{h \cdot c}{\Delta E}$$

$$\Rightarrow \lambda = \frac{6.625 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{20.4 \cdot 10^{-19}} = 9.74 \cdot 10^{-7} \text{ m} = 974 \text{ nm}$$

b)  $E = 13.6 \text{ eV}$

c) A

d) A

---

## Lição 15

1.

- a) Ver texto da lição.  
 b) Ver o texto da lição.  
 c)

$$E_p = q \cdot U$$

$$\Rightarrow E_p = 1.6 \cdot 10^{-19} \cdot 10^{15} = 1.6 \cdot 10^{-14} \text{ J}$$

d)  $E = 1.6 \cdot 10^{-14} \text{ J}$ 

e)

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

$$\Rightarrow \lambda_{\min} = \frac{6.625 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{1.6 \cdot 10^{-14}} = 1.24 \cdot 10^{-11} \text{ m}$$

2.

a)

$$e \cdot U = \frac{h \cdot c}{\lambda} \Rightarrow \lambda = \frac{h \cdot c}{e \cdot U}$$

$$\Rightarrow \lambda = \frac{6.625 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{1.6 \cdot 10^{-19} \cdot 4 \cdot 10^5} = 3.1 \cdot 10^{-12} \text{ m}$$

b)  $f = \frac{c}{\lambda} = \frac{3 \cdot 10^8}{3.1 \cdot 10^{-12}} \approx 1 \cdot 10^{20} \text{ Hz}$

c) O comprimento de onda mínimo diminui três vezes.



3.

$$e \cdot U = \frac{h \cdot c}{\lambda} \Rightarrow U = \frac{h \cdot c}{e \cdot \lambda}$$
$$\Rightarrow U = \frac{6.625 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{1.6 \cdot 10^{-19} \cdot 2 \cdot 10^{-12}} = 6.1 \cdot 10^5 \text{ V}$$

---

## Lição 16

a)  $\lambda_{\min} = 0.02 \text{ \AA} = 2 \cdot 10^{-12} \text{ m}$

b)

$$E = \frac{h \cdot c}{\lambda}$$
$$\Rightarrow E = \frac{6.625 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{5 \cdot 10^{-12}} = 3.975 \cdot 10^{-14} \text{ J}$$

c)

$$e \cdot U = \frac{h \cdot c}{\lambda_{\min}} \Rightarrow U = \frac{h \cdot c}{e \cdot \lambda_{\min}}$$
$$\Rightarrow U = \frac{6.625 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{1.6 \cdot 10^{-19} \cdot 2 \cdot 10^{-12}} = 6.21 \cdot 10^5 \text{ V}$$

---

## Lição 17

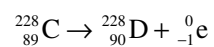
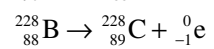
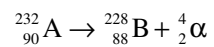
(a)  $p = 92$ ; (b)  $n = 146$ ; (c)  $238$



---

## Lição 18

c)



d) B, C e D são isótopos; A e D são isóbaros.

---

## Lição 19

1.

a)

$$n = \frac{t}{T_{1/2}} \Rightarrow n = \frac{9600}{1600} = 6$$

b)

$$n = \frac{t}{T_{1/2}} \Rightarrow n = \frac{4800}{1600} = 3$$

$$Q_p = \frac{1}{2^n} \Rightarrow Q_p = \frac{1}{2^3} = \frac{1}{8}$$

c)

$$n = \frac{t}{T_{1/2}} \Rightarrow n = \frac{6400}{1600} = 4$$

$$Q_p = 1 - \frac{1}{2^n} \Rightarrow Q_p = 1 - \frac{1}{2^4} = \frac{15}{16}$$

2.



a)

$$n = \frac{t}{T_{1/2}} \Rightarrow n = \frac{24}{8} = 3$$

$$A = A_0 \cdot 2^{-n} \Rightarrow A = 2 \cdot 2^{-3} = 0.25 \text{Bq}$$

b)

$$A = A_0 \cdot 2^{-n} \Rightarrow 1 = 2 \cdot 2^{-n} \Rightarrow \frac{1}{2} = 2^{-n} \Rightarrow 2^{-1} = 2^{-n} \Rightarrow n = 1$$

$$1 = \frac{t}{8} \Rightarrow t = 8 \text{s}$$

$$\text{c) } \lambda = \frac{0.693}{T_{1/2}} \Rightarrow \lambda = \frac{0.693}{8} = 0.087 \text{d}^{-1}$$

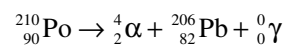
3.

$$A = A_0 \cdot 2^{-n} \Rightarrow 75 = 600 \cdot 2^{-n} \Rightarrow \frac{75}{600} = 2^{-n} \Rightarrow 2^{-3} = 2^{-n} \Rightarrow n = 3$$

$$3 = \frac{t}{60} \Rightarrow t = 180 \text{s}$$

4.

a)



$$a = 210; b = 90; c = 4; d = 2$$

b)

$$A = A_0 \cdot 2^{-n} \Rightarrow 1 = 8 \cdot 2^{-n} \Rightarrow \frac{1}{8} = 2^{-n} \Rightarrow 2^{-3} = 2^{-n} \Rightarrow n = 3$$

5.

a)

$$\frac{A}{A_0} = 2^{-n} \Rightarrow \frac{5}{\frac{48}{3}} = 2^{-n} \Rightarrow 2^{-4} = 2^{-n} \Rightarrow n = 4$$

$$n = \frac{t}{T_{1/2}} \Rightarrow 4 = \frac{t}{7340} \Rightarrow t = 29360\text{s}$$

b)

$$n = \frac{t}{T_{1/2}} = \frac{22020}{7340} = 3$$

$$A = A_0 \cdot 2^{-n} \Rightarrow A = \frac{5}{3} \cdot 2^{-3} \Rightarrow A = \frac{5}{24} \mu\text{Ci}$$

---

## Lição 20

1.

a)

$$\lambda = \frac{0.693}{T_{1/2}} = \frac{0.693}{8} = 0.087\text{d}^{-1}$$

$$A = A_0 \cdot e^{-\lambda t} \Rightarrow A = 2 \cdot e^{-0.087 \cdot 20} \Rightarrow A = 0.355\text{Bq}$$

b)

$$\lambda = \frac{0.693}{T_{1/2}} = \frac{0.693}{8} = 0.087\text{d}^{-1}$$

$$A = A_0 \cdot e^{-\lambda t} \Rightarrow 1.5 = 2 \cdot e^{-0.087 \cdot t} \Rightarrow \frac{1.5}{2} = e^{-0.087 \cdot t}$$

$$\Rightarrow 0.75 = e^{-0.087 \cdot t} \Rightarrow \ln 0.75 = -0.087 \cdot t \cdot \ln e$$

$$\Rightarrow t = \frac{-0.28768}{0.087} = 3.3\text{s}$$

c)



$$\lambda = \frac{0.693}{T_{1/2}} = \frac{0.693}{8} = 0.087 \text{d}^{-1}$$

2.

$$\lambda = \frac{0.693}{T_{1/2}} = \frac{0.693}{20} = 0.0116 \text{d}^{-1}$$

$$A = A_0 \cdot e^{-\lambda t} \Rightarrow 60 = 600 \cdot e^{-0.0116 \cdot t} \Rightarrow \frac{60}{600} = e^{-0.0116 \cdot t}$$

$$\Rightarrow 0.1 = e^{-0.087 \cdot t} \Rightarrow \ln 0.1 = -0.0116 t \cdot \ln e$$

$$\Rightarrow t = \frac{-2.3}{0.0116} = 198.3 \text{s}$$

---

## Lição 21

a)

$$T_{1/2} = 100 \text{s}$$

b)  $N_0 = 4 \cdot 10^{80}$ 

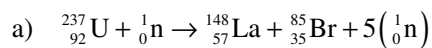
c)

$$n = \frac{t}{T_{1/2}} = \frac{600}{100} = 6$$

$$N = N_0 \cdot 2^{-n} \Rightarrow N = 4 \cdot 10^{80} \cdot 2^{-6} \Rightarrow N \approx 6.25 \cdot 10^{78}$$

---

## Lição 22



b)

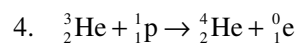
$$\Delta m = |147.90 + 84.97 + 5 \cdot 1.009 - (235.10 + 1.009)|$$

$$\Rightarrow \Delta m = 1.806 \text{ uma}$$

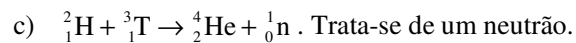
c)  $E_L = 931 \cdot \Delta m = 931 \cdot 1.806 = 1.681.4 \text{ MeV}$

---

## Lição 23



5.



d)

$$E_L = 931 \cdot \Delta m$$

$$\Rightarrow 18 = 931 \cdot [X + 1.0087 - (2.0141 + 3.0161)]$$

$$\Rightarrow \frac{18}{931} = X + 1.0087 - 5.0302$$

$$\Rightarrow 0.0193 = X - 4.0215$$

$$\Rightarrow X = 4.04084 \text{ uma}$$

6.

c)  $n = 3^4 = 81$

d)  $n = 3^{100}$

## Soluções do teste de preparação de final de módulo

a) Da Lei de Stefan - Boltzman sabemos que quanto maior é a temperatura maior é a emissividade. Por isso, a estrela de maior temperatura é a “X”, depois segue-se a “Y” e finalmente a “Z”.

b)

$$2 \cdot 10^{-7} = \frac{3 \cdot 10^{-3}}{T} \Rightarrow T = \frac{3 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 10^{-7}} \Rightarrow T = 15000 \text{ K}$$

c) 
$$6 \cdot 10^{-7} = \frac{3 \cdot 10^{-3}}{T} \Rightarrow T = \frac{3 \cdot 10^{-3}}{6 \cdot 10^{-7}} \Rightarrow T = 5000 \text{ K}$$

d)

$$\varepsilon = 5,7 \cdot 10^{-8} \cdot (5000)^4 \Rightarrow \varepsilon = 5,7 \cdot 10^{-8} \cdot 6,25 \cdot 10^{14} \Rightarrow \varepsilon = 3,563 \cdot 10^6 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

e) A área subentendida pelo gráfico da estrela “Z” é igual a emissividade.

$$4 \cdot 10^{-7} = \frac{3 \cdot 10^{-3}}{T} \Rightarrow T = \frac{3 \cdot 10^{-3}}{4 \cdot 10^{-7}} \Rightarrow T = 7500 \text{ K}$$

$$\varepsilon = 5,7 \cdot 10^{-8} \cdot (7500)^4 \Rightarrow \varepsilon = 5,7 \cdot 10^{-8} \cdot 3,2 \cdot 10^{15} \Rightarrow \varepsilon = 1,84 \cdot 10^7 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

f)

$$\frac{\varepsilon_A}{\varepsilon_B} = \left( \frac{15000}{7500} \right)^4 \Rightarrow \frac{\varepsilon_A}{\varepsilon_B} = (2)^4 \Rightarrow \frac{\varepsilon_A}{\varepsilon_B} = 16 \Rightarrow \varepsilon_A = 16\varepsilon_B$$

2.

a) do gráfico pode-se ver que:  $\lambda_{\min} = 0,01 \text{ \AA} = 0,01 \cdot 10^{-10} \text{ m} = 1 \cdot 10^{-12} \text{ m}$

b)

$$E = \frac{6,625 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{4 \cdot 10^{-12}} \Rightarrow E = 4,97 \cdot 10^{-14} \text{ J}$$

c)

$$1,6 \cdot 10^{-19} \cdot U = \frac{6,625 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{1 \cdot 10^{-12}} \Rightarrow U = \frac{19,875 \cdot 10^{-26}}{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 1 \cdot 10^{-12}}$$

$$\Rightarrow U = 12,4 \cdot 10^5 \Rightarrow U = 1240000 \text{ V}$$

3.

a)

$$n = \frac{3600}{600} \Rightarrow n = 6$$

b)

$$n = \frac{1200}{600} \Rightarrow n = 2$$

$$Q_p = \frac{1}{2^2} \Rightarrow Q_p = \frac{1}{4}$$

c)

$$n = \frac{4800}{600} \Rightarrow n = 8$$

$$Q_D = 1 - \frac{1}{2^8} \Rightarrow Q_D = 1 - \frac{1}{256} \Rightarrow Q_D = \frac{256 - 1}{256} \Rightarrow Q_D = \frac{255}{256}$$

4.

a)  $T_{1/2} = 200 \text{ s}$ b)  $N_0 = 1000 \cdot 10^{60} = 1 \cdot 10^{63}$  nuclidos



5.

a)

$$n = \frac{1000}{200} \Rightarrow n = 5$$

$$\frac{N}{10^{63}} = \frac{1}{2^5} \Rightarrow N \cdot 2^5 = 10^{63} \Rightarrow N = \frac{10^{63}}{2^5} \Rightarrow N = 3,125 \cdot 10^{61}$$

Resposta:

b) Para completar a reacção é necessário:

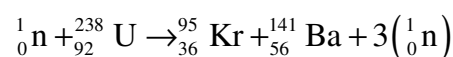
1º - Calcular a soma das massas dos reagentes e das massas dos produtos e calcular a diferença entre ambas. Assim,

- Soma das massa dos reagentes:  $1 + 238 = 239$
- Soma das massa dos produtos:  $95 + 141 = 236$
- A diferença entre a massa dos reagentes e dos produtos: 3

2º - Calcular a soma dos números atómicos dos reagentes e dos produtos e calcular a diferença entre ambas. Assim,

- Soma das massa dos números atómicos dos reagentes:  $0 + 92 = 92$
- Soma das massa dos números atómicos dos produtos:  $36 + 56 = 92$
- A diferença entre as massas atómicos dos reagentes e dos produtos: 0

3º Multiplicar o número de neutros pelo resultados da diferença das massas dos reagentes e dos produtos. Assim,



c) Neste caso calcula-se a massa dos reagentes e a massa dos produtos e faz-se a diferença entre ambas. Assim,

- Massa dos reagentes:

$$M_R = 235,10 + 1,009 = 236,109 \text{ u.m.a.}$$



- Massa dos produtos:

$$M_P = 147,90 + 84,97 + 3 \cdot 1,009 = 235,897 \text{ u.m.a.}$$

$$\Delta m = |M_P - M_R|$$

$$\Delta m = |235,897 - 236,109| \Rightarrow \Delta m = | - 0,212 | \Rightarrow \Delta m = 0,212 \text{ u.m.a.}$$

d)

$$E = 931 \times 0,212 \Rightarrow E = 197,372 \text{ MeV}$$