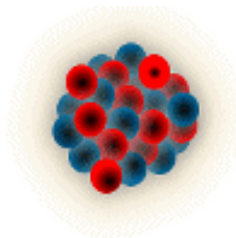


USP

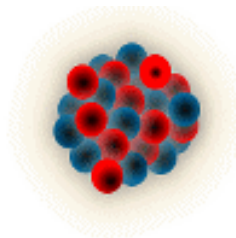
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO



LABORATÓRIO DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA



**FÍSICA DAS RADIAÇÕES:
UMA PROPOSTA
PARA O ENSINO MÉDIO**



AUTOR:
Wellington Batista de Sousa

ORIENTADORES:

Prof. Dr. Maurício Pietrocolla
Profa. Dra. Nobuko Ueta

SÃO PAULO - 2008



CONTEÚDO

FÍSICA DAS RADIAÇÕES: UMA PROPOSTA PARA O ENSINO MÉDIO	
BLOCOS	Quantidade de Aulas
1- Radiações Eletromagnéticas	8
2- Radiações Corpusculares	5
3- Interação das Radiações com a Matéria e seus Efeitos	3
4- Detectores de Radiação	3
Número total de aulas	19

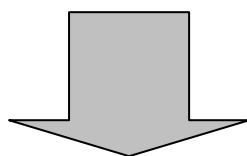


DIVISÃO DOS BLOCOS

FÍSICA DAS RADIAÇÕES: UMA PROPOSTA PARA O ENSINO MÉDIO

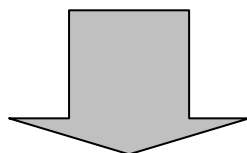
Bloco 1 - Radiações eletromagnéticas

Neste bloco pretende-se primeiramente fazer uma distinção entre os tipos de radiações (eletromagnéticas e corpusculares). Em seguida são discutidos os vários tipos de radiações eletromagnéticas (ondas de rádio, microondas, raios infravermelhos, luz visível, raios ultravioleta, raios X e raios gama), suas características e aplicações.



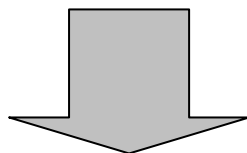
Bloco 2 - Radiações corpusculares

Neste bloco pretende-se discutir os vários tipos de radiações corpusculares, ou seja, aquelas constituídas por partículas elementares (partículas alfa, prótons, elétrons, pósitrons e nêutrons), suas características e aplicações.



Bloco 3 - Interação das radiações com a matéria e seus efeitos

Neste bloco pretende-se fazer uma discussão sobre a diferença entre as radiações ionizantes e não-ionizantes, bem como a caracterização dos efeitos de cada uma dessas radiações ao interagirem com a matéria.



Bloco 4 - Detectores de radiação

Neste bloco pretende-se fazer uma discussão sobre os tipos de detectores de radiação que o homem construiu, como por exemplo, o Contador Geiger e o Cintilômetro, e aqueles que nós dispomos naturalmente.

CONTEÚDO RESUMIDO DO CURSO DE FÍSICA DAS RADIAÇÕES

Bloco 1: Radiações Eletromagnéticas (8 Aulas)

Texto 0 - Apresentação do Curso

Atividade 1 - Questionário Inicial

Texto 1 - Conhecendo as Radiações

Atividade 2 - Análise da Chama de uma Vela

Texto 2 - Espectro Eletromagnético (Introdução)

Atividade 3 - Demonstração do Transmissor de Ondas Eletromagnéticas

Texto 3 - Espectro Eletromagnético (Parte 1)

Texto 4 - Espectro Eletromagnético (Parte 2)

Atividade 4 - Dispersão da Luz

Texto 5 - Espectro Eletromagnético (Parte 3)

Atividade 5 - Analisando Radiografias

Texto Suplementar - A Descoberta dos Raios X

Bloco 2: Radiações Corpusculares (5 Aulas)

Texto 6 - Caracterizando o Átomo

Atividade 6 - Cortando papel e Potência de Dez

Texto 7 - A Interação Nuclear e a Estabilidade do Núcleo

Atividade 7 - A Tabela Periódica e seus Elementos Radioativos

Texto 8 - Compreendendo os Decaimentos Radioativos

Texto Suplementar - A Descoberta da Radioatividade e das Radiações

Bloco 3: Interação das Radiações com a Matéria e seus Efeitos (3 Aulas)

Texto 10 - Interação da Radiação com a Matéria e seus Efeitos

Atividade 8 - Hiroshima e Incrível Hulk (trechos de vídeos)

Bloco 4: Detectores de Radiação (3 Aulas)

Texto 11 - Detectores de Radiação

Atividade 9 - Papel Fotográfico

Física das Radiações: Uma Proposta para o Ensino Médio

QUADRO SINTÉTICO

Bloco 1 - Radiações Eletromagnéticas

	ATIVIDADE(S)	MOMENTOS	TEMPO
Bloco 1 – Radiações Eletromagnéticas	1. Questionário inicial e análise da chama de uma vela.	Propor e explicar o conteúdo do curso. (10 min)	1 AULA
		Atividade 1 - Questionário Inicial. (10 min) Atividade 2 - Análise da Chama de uma Vela. (25 min)	
	2. Conhecendo as radiações e o espectro eletromagnético.	Discussão sobre os tipos radiações e a diferença quanto a sua natureza. (15 min)	1 AULA
		Sistematização e respostas às perguntas do texto 1 e 2: “Conhecendo as Radiações” e “Espectro Eletromagnético (Introdução)”. (30 min)	
	3. Montagem do transmissor de ondas eletromagnéticas.	Atividade 3 - Demonstração do Transmissor de Ondas Eletromagnéticas. (10 min)	1 AULA
		Discussão sobre as ondas de rádio e as microondas. (20 min)	
Sistematização e respostas às perguntas do texto “Espectro Eletromagnético (Parte I)”. (15 min)			
4. Dispersão da luz.	Atividade 4 - Dispersão da luz. (15 min)	1 AULA	
	Discussão sobre a luz visível e os raios infravermelhos. (20 min)		
	Sistematização, leitura e respostas às perguntas do texto “Espectro Eletromagnético (Parte II)”. (10 min)		
5. Analisando radiografias e analogia entre radiografia e papel fotográfico.	Atividade 5 - Analisando radiografias. (20 min)	2 AULAS	
	Discussão sobre a descoberta dos raios X, sua natureza na época desconhecida e suas aplicações. (25 min)		
	Leitura e sistematização do texto “Espectro Eletromagnético (Parte II)”. (20 min)		
6. Vídeo: “Telecurso 2000: Espectro Eletromagnético” e apresentação panorâmica do conteúdo trabalhado.	Vídeo: “Telecurso 2000: Espectro eletromagnético”. (15 min)	2 AULAS	
	Sistematização e respostas às perguntas do texto “Espectro Eletromagnético (Parte III)”. (20 min)		
	Apresentação panorâmica do conteúdo trabalhado. (10 min)		
	Avaliação referente ao bloco 1. (45 min)		

BLOCO 1 – RADIAÇÕES ELETROMAGNÉTICAS

Iniciamos o nosso estudo da Física das Radiações pelo estudo e compreensão das radiações eletromagnéticas.

1. Objetivos gerais:

- ✓ Estimular a curiosidade para o estudo de Física das Radiações.
- ✓ Entender a natureza das radiações (ou ondas) eletromagnéticas e suas principais características.
- ✓ Compreender o espectro eletromagnético e as diferentes radiações que o compõem.

2. Conteúdo Físico

- ✓ Radiações eletromagnéticas: produção e propagação.
- ✓ Espectro eletromagnético e suas radiações: ondas de rádio, microondas, raios infravermelhos, luz visível, raios ultravioleta, raios X e raios gama.

3. Leitura complementar

As leituras indicadas servem para um conhecimento mais profundo e detalhado dos conceitos tratados neste bloco. Assim, caso seja possível, leia algumas dessas referências antes de iniciar as aulas.

- ✓ ALVARENGA, Beatriz; MÁXIMO, Antônio. **Física**. 2ª ed., 1ª impressão, São Paulo: Editora Scipione, 2007.
- ✓ GASPAR, Alberto. **Eletromagnetismo e Física Moderna**. 1ª ed., 2ª impressão, São Paulo: Editora Ática, 2001.
- ✓ HEWITT, Paul. **Física Conceitual**. 9ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2002.
- ✓ SERWAY, Raymond A.; JEWETT, John W. **Princípios de Física: Óptica e Física Moderna**. 3ª ed. Rio de Janeiro: Thomson, 2005.
- ✓ TIPLER, Paul A.; LLEWELLYN, Ralph A. **Física Moderna**. 3ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2001.

4. Quadro Sintético

ATIVIDADES	MOMENTOS	COMENTÁRIOS	Tempo
1. Analisando a chama de uma vela.	Propor e explicar o conteúdo do curso. Atividade 1 - Alunos respondem ao questionário inicial. Atividade 2 - Análise da chama da vela.	A atividade motivacional e introdutória aos assuntos que serão abordados.	2 aulas
	Discussão sobre a análise da chama da vela. Sistematização e respostas às perguntas dos textos.	Textos: “Conhecendo as Radiações” e “Espectro Eletromagnético”.	
	Correção e discussão das questões dos textos.		
2. Gerando ondas eletromagnéticas.	Atividade 3 - Transmissor de Ondas Eletromagnéticas. Demonstração investigativa sobre a geração de ondas eletromagnéticas.	Produzindo uma onda eletromagnética com um pedaço de fio metálico e uma pilha.	1 aula
	Discussão sobre a geração de ondas eletromagnéticas. Sistematização e respostas às perguntas do texto.	Texto: “Espectro Eletromagnético (Parte I)”.	
3. Fazendo a dispersão da luz.	Atividade 4 - Dispersão da luz.	Fazendo a dispersão da luz com um prisma ou um CD.	1 aula
	Discussão sobre a geração de ondas eletromagnéticas. Sistematização e respostas às perguntas do texto.	Texto: “Espectro Eletromagnético (Parte II)”.	
4. Radiografias.	Atividade 5 - Analisando radiografias.	Atividade motivacional e introdutória aos assuntos que serão abordados.	2 aulas
	Discussão sobre a descoberta dos raios X, sua natureza na época desconhecida e suas aplicações. Sistematização e respostas às perguntas do texto.	Texto: “Espectro Eletromagnético (Parte III)”.	
5. Avaliação.	Aplicação de uma avaliação sobre o conteúdo trabalhado no bloco 1.		1 aula

5. Descrição aula-a-aula

AULA 1

Tema: Chama de uma vela.

Objetivo: Sensibilizar e motivar os alunos para o estudo da Física das Radiações através da análise da chama de uma vela.

Conteúdo Físico: Concepções prévias sobre Física das Radiações e ondas eletromagnéticas.

Recursos Instrucionais:

- Questionário inicial;
- Roteiro da atividade 1;
- Roteiro da atividade 2;
- Velas;
- Lápis de cor.

Motivação: Curiosidade sobre as diferentes colorações presentes na chama de uma vela.

Momentos:

1º Momento	Apresentação geral da proposta de curso para sala. Entrega do questionário individual: Questionário Inicial (atividade 1). Tempo para os alunos responderem. O professor deve enfatizar que a proposta dessa atividade é verificar o que os alunos sabem sobre essa área de conhecimento, instigar sua curiosidade sem nenhuma finalidade avaliativa, pois os alunos costumam apresentar uma preocupação enorme com a nota.
	Tempo: ± 20 min

2º Momento	Propor a atividade 2: enquanto entrega as velas e o roteiro da atividade, separe os alunos em grupos de aproximadamente 5 alunos, de modo que eles discutam as questões propostas no roteiro.
	Tempo: ± 25 min

Sugestão: Você pode pedir aos alunos uma pesquisa sobre a chama de uma vela, as diferentes colorações que ela apresenta e a temperatura em cada uma das regiões encontradas durante a atividade investigativa.

Dinâmica da Aula: após o professor explicar o curso, apresentando sucintamente o conteúdo que será abordado e seu caráter inovador no ensino de física da escola média, os alunos respondem a um questionário para que o professor possa compreender suas concepções prévias sobre o assunto. Depois, os alunos exploram e registram em uma folha de sulfite, a chama da vela que estão observando, com as respectivas regiões e colorações encontradas. Você pode começar a atividade perguntando aos alunos como é a chama de uma vela, seu formato, que colorações ela apresenta, por exemplo. Outras perguntas que podem ser feitas são as seguintes: Toda vela tem o mesmo tipo de chama? Qual região da chama é mais quente, isto é, qual tem a maior temperatura? Qual tem a menor temperatura? Em qual delas temos a maior energia? E a menor energia? Estas perguntas podem ajudar a dar o pontapé inicial nas discussões que os alunos farão em seus respectivos grupos. Lembrar a eles que o registro da chama e de outros detalhes que os chamem a atenção é importante, pois serviram de ponto de partida para a sistematização que será feita na aula seguinte.

AULA 2

Tema: Conhecendo as radiações.

Objetivo: Discutir o estudo do espectro eletromagnético e as radiações que o compõem.

Conteúdo Físico: Espectro eletromagnético.

Recursos Instrucionais:

- Discussão entre professor e aluno baseado nos textos: “Conhecendo as Radiações” e “Espectro Eletromagnético (Introdução)”.
- Aula expositiva.

Motivação: Curiosidade em compreender as respostas das questões levantadas na aula anterior.

Momentos:

1º Momento	Retomada das discussões da aula anterior para sistematização do conceito. Os alunos retomam os grupos da aula anterior para que possa ser feita a leitura do textos: “Conhecendo as Radiações” e “Espectro Eletromagnético (Introdução)”. Respondendo as questões propostas nos textos.
	Tempo: ± 15 min

2º Momento	Discussão e correção das questões proposta no texto.
	Tempo: ± 30 min

Sugestão: O professor pode explorar os diferentes intervalos das radiações eletromagnéticas presentes no espectro eletromagnético. Ressaltar que o intervalo da luz visível é o menor de todos. Lembrá-los que cada radiação eletromagnética tem características como frequência e comprimento de onda que permitem diferenciá-las dentro do espectro.

Dinâmica da Aula: Inicie a aula retomando a discussão da aula anterior, em seguida peça aos alunos para lerem o texto e responderem as questões propostas (isso pode ser feito em grupo). Corrija as questões fazendo uma sistematização final.

AULA 3

Tema: Gerando uma onda eletromagnética.

Objetivo: Sensibilizar e motivar os alunos para o mecanismo de geração de uma onda eletromagnética.

Conteúdo Físico: Ondas eletromagnéticas.

Recursos Instrucionais:

- Roteiro da atividade 3;
- Pedaco de fio metálico;
- Pilha grande;
- Rádio AM.

Motivação: Curiosidade sobre geração de ondas eletromagnéticas.

Momentos:

1º Momento	Demonstrar a atividade 3: “Transmissor de Ondas Eletromagnéticas”. O professor faz a demonstração da produção de uma onda eletromagnética com o auxílio de uma pilha grande e um pedaço de fio metálico. Com o rádio AM tenta mostrar que é possível detectar essa onda produzida.
Tempo: ± 10 min	

2º Momento	Sistematização da atividade e discussão sobre as ondas de rádio e as microondas com base no texto: “Espectro Eletromagnético. (Parte I)”.
Tempo: ± 20 min	

3º Momento	Discussão sobre as questões: Instigue os alunos a falarem sobre as questões, desta forma a discussão será mais interativa. Mas procure encaminhá-la para o processo de produção das ondas eletromagnéticas e a forma de detectá-las.
Tempo: ± 15 min	

Sugestão: O professor deve realizar a montagem antes da aula para verificar se é possível através do rádio AM disponibilizado, detectar as ondas eletromagnéticas geradas ao realizar o curto-circuito momentâneo entre os pólos da pilha. Este curto-circuito deve ser breve, isto é, deve-se apenas tocar e soltar o fio para causar o curto, não mantendo o fio conectado a pilha durante muito tempo, pois se corre o risco de provocar seu aquecimento e descarga. Você pode pedir também aos alunos uma pesquisa de campo sobre o funcionamento de uma antena de um aparelho receptor de rádio, como o rádio de Galena, que foi um dos pioneiros nessa tarefa.

Dinâmica da Aula: iniciar a discussão lembrando o que são as ondas eletromagnéticas e como elas são geradas. Em seguida, demonstrar através do arranjo pilha, fio e rádio AM, a produção e detecção das ondas eletromagnéticas através de um curto-circuito entre o fio e a pilha. Enfatizar que as ondas geradas são transmitidas pela antena, propagando-se pelo espaço, transportando energia, sendo detectadas com o auxílio de uma outra antena e circuitos adequados como o de um rádio AM. Falar da posição das ondas de rádio no espectro, e depois, das microondas que fazem uma fronteira com as ondas de rádio. Comentar sobre o aparelho de microondas que faz uso deste tipo de radiação para aquecer os alimentos, pois as microondas que ele gera conseguem interagir com as moléculas de água dos alimentos, aumentando sua agitação, e, portanto, causando o seu aquecimento. Finalmente, peça para que eles respondam às questões propostas no texto.

AULA 4

Tema: Dispersão da luz visível.

Objetivo: Sensibilizar e motivar os alunos para o estudo da luz visível, usando para isso o fenômeno de dispersão da luz.

Conteúdo Físico: Luz visível e dispersão da luz.

Recursos Instrucionais:

- Roteiro da atividade 4;
- Lâmpada incandescente ou fluorescente;
- Prisma ou CD;
- Lápis de cor.

Motivação: Despertar a curiosidade sobre a imagem obtida após a luz atravessar um prisma ou refletir em CD.

Momentos:

1º Momento	Realização da atividade 4: “Dispersão da Luz”. Os alunos se reúnem em pequenos grupos de 5 alunos e fazem com os materiais fornecidos a dispersão da luz, registrando os resultados obtidos.
Tempo: ± 15 min	

2º Momento	Sistematização da atividade e discussão sobre as ondas de rádio e as microondas com base no texto: “Espectro Eletromagnético. (Parte II)”.
Tempo: ± 20 min	

3º Momento	Discussão sobre as questões: Instigue os alunos a falarem sobre as questões, desta forma a discussão será mais interativa. Mas procure encaminhá-la para o processo de produção das ondas eletromagnéticas e a forma de detectá-las.
Tempo: ± 10 min	

Sugestão: O professor deve realizar a dispersão da luz previamente de forma a identificar o espectro de cores que os alunos irão obter. Isso pode facilitar seu trabalho, pois assim saberá que padrão será obtido. O uso do prisma apresenta bons resultados em uma sala escurecida, porém na sua ausência, pode-se usar um CD que também apresenta resultados satisfatórios. Reforçar o fenômeno da dispersão da luz e apontar para as diferentes frequências que temos em cada uma das cores obtidas no espectro visível.

Dinâmica da Aula: iniciar a discussão sobre o que ocorre quando a luz atravessa um prisma ou reflete em um CD. O que se observa? Relembrar o fenômeno de refração da luz e reforçar que a luz branca é formada por um conjunto de cores que recebe o nome de espectro da luz visível. Assim, estabelecer que cada cor observada representa uma onda eletromagnética com frequência, comprimento de onda e energia bem definidos. Discutir sobre por que vemos estas radiações e outras não, como as ondas de rádio, TV, microondas e infravermelho. Comentar sobre o controle remoto que utiliza os raios infravermelhos para se comunicar com a TV, entre outros equipamentos. Lembrar que todos os corpos quentes emitem infravermelho. Enfatizar que nossos olhos são os detectores naturais que temos para observar as radiações da luz visível, enquanto que para outras radiações, como os raios infravermelhos, precisamos de dispositivos especiais. Finalmente, peça para que eles respondam às questões propostas no texto.

AULA 5

Tema: Descoberta dos raios X.

Objetivo: Sensibilizar e motivar os alunos para o estudo da física de partículas e dos raios X, através da análise de um efeito dos raios X: a radiografia.

Conteúdo Físico: Concepções prévias sobre física de partículas e raios X.

Recursos Instrucionais:

- Roteiro da atividade 5;
- Radiografias diversas.

Motivação: Curiosidade sobre as radiografias e as chapas radiográficas.

Momentos:

1º Momento	Propor a atividade 5: enquanto entrega as radiografias e o roteiro da atividade, separe os alunos em grupos de aproximadamente 5 alunos, de modo que eles discutam as questões propostas no roteiro.
Tempo: ± 20 min	
2º Momento	Discussão sobre as questões: Instigue os alunos a falarem sobre as questões, desta forma a discussão será mais interativa. Mas procure encaminhá-la para o processo de produção, detecção, a natureza dos raios X e sobre as radiografias.
Tempo: ± 25 min	

Sugestão: Caso as aulas não sejam no mesmo dia e o professor perceba a dificuldade, por parte dos alunos em formarem os grupos, pode optar por realizar a atividade com o papel fotográfico. Aproveitando que os grupos já estão formados evita-se um gasto de tempo extra para organização dos grupos novamente na 2ª aula. Nesse caso as questões devem ser trabalhadas pelos grupos na aula seguinte. Você pode pedir aos alunos uma pesquisa de campo com médicos, centros de radiologia e profissionais da área.

Dinâmica da Aula: Os alunos iniciam explorando as imagens nas diversas radiografias. Você pode começar a atividade perguntando quais alunos já tiraram radiografias e aí pedir para que contem sobre o processo. Sugestão de possíveis perguntas para esta aula: onde a radiografia é tirada? Qual a preparação para o exame? Fica alguém na sala? Por que o funcionário “some”? Para onde ele vai? Por que em alguns exames colocamos um colete de chumbo? Quando você sabe que os raios X passaram por você? Apesar do barulhinho que se ouve, você vê os raios X? Como saber se a radiografia foi tirada? Onde fica a chapa da radiografia durante o exame? Como alguns órgãos e os ossos aparecem na chapa? Estimule-os a analisarem pelo menos 3 radiografias e a “brincarem” de fazer diagnóstico. Peça para que observem onde a radiografia é mais clara e a que partes do corpo correspondem. Preferencialmente os alunos devem responder por escrito às questões, mas essa atividade pode ser feita apenas com a discussão entre os grupos e depois com o professor. Caso surjam questões sobre o acidente de Goiânia, ou sobre urânio e césio, peça para que aguardem “as cenas dos próximos capítulos”. Lembre-se de comentar com os alunos sobre a utilização do chumbo na proteção contra a ação dos raios X. Faça uma breve sistematização dos conceitos discutidos, focando a parte histórica e a parte física dos raios X.

AULA 6

Tema: Descoberta dos raios X.

Objetivo: Discutir sobre a descoberta, a produção e a utilização atual dos raios X e da radioatividade.

Conteúdo Físico: Raios X.

Recursos Instrucionais:

- Discussão entre professor e alunos baseada no texto "Vendo através da pele: a descoberta dos raios X (texto suplementar)";
- Aula expositiva;
- Algumas radiografias.

Motivação: Curiosidade em compreender as respostas das questões levantadas na aula anterior.

Momentos:

1º Momento	Retomada das discussões da aula anterior para sistematização do conceito. Os alunos retomam os grupos da aula anterior para que possa ser feita a leitura do texto; "Vendo através da pele: a descoberta dos raios X". Respondendo as questões propostas no texto.
	Tempo: ± 25 min

2º Momento	Discussão e correção das questões proposta no texto.
	Tempo: ± 20 min

Sugestões: O professor pode explorar os efeitos biológicos dos raios X. Aproveitando a atenção dos alunos, explique como eram complicados os exames antigamente.

Dinâmica da Aula: Inicie a aula retomando a discussão da aula anterior, em seguida peça aos alunos para lerem o texto e responderem as questões propostas (isso pode ser feito em grupo). Corrija as questões fazendo uma sistematização final.

AULA 7

Tema: Revisando o espectro eletromagnético.

Objetivo: Destacar os assuntos estudados até o momento.

Conteúdo Físico: Ondas eletromagnéticas e o espectro eletromagnético.

Recursos Instrucionais:

- Vídeo: Telecurso 2000: Espectro Eletromagnético;
- Aula expositiva.

Motivação: Sistematização e organização dos assuntos tratados até o momento.

Momentos:

1º Momento	Vídeo do telecurso 2000: Espectro Eletromagnético.
	Tempo: ± 15 min
2º Momento	Sistematização das idéias apresentadas no vídeo.
	Tempo: ± 15 min
3º Momento	Revisão geral do que foi estudado até aqui.
	Tempo: ± 15 min

Dinâmica da Aula: Inicia-se a aula com o vídeo do telecurso 2000 sobre o espectro eletromagnético. Em seguida faça uma sistematização das idéias apresentadas no vídeo. Assim é possível fazer uma discussão final, revisando todos os conceitos estudados até o momento.

Observação: O professor deve procurar destacar os pontos importantes que deseja discutir nessa aula utilizando uma apresentação em PowerPoint ou mesmo pontuando na lousa, para não correr o risco de dispersar e perder o foco principal. Pode também, utilizar essa aula para retomar questões que não estejam bem resolvidas ou apresentar novos questionamentos sem esquecer que a idéia principal no momento é uma preparação para avaliação dos assuntos discutidos nesse bloco.

AULA 8

Tema: Radiações eletromagnéticas.

Objetivo: Verificação da aprendizagem.

Recursos Instrucionais:

- Avaliação escrita.

Momentos:

1º Momento	Avaliação sobre os assuntos trabalhados no bloco 1.
	Tempo: ± 45 min

Observação: Caso o professor tenha a disponibilidade de duas aulas em seqüência pode iniciar a avaliação um pouco antes de terminar 9ª aula disponibilizando mais tempo de resolução para os alunos.

Dinâmica da Aula: entrega das avaliações individuais sobre o bloco 1.

Apresentação do Curso

Você acorda com o despertador. A luz do Sol entra pela janela enquanto você pula da cama, toma um banho, se veste e desce para tomar café. Na cozinha, coloca duas fatias de pão na torradeira e esquentando uma xícara de café no forno de microondas. Enquanto espera, dá uma olhada nos bilhetes presos à geladeira por pequenos ímãs.

A narrativa acima expressa muitas vezes o cotidiano de pessoas nos mais diversos lugares do mundo, mas você notou quantas coisas mencionadas nesta narrativa têm a ver com radiação e alguma forma de sua manifestação? Em particular, os raios solares que entram pela janela e as ondas que existem no interior de um forno de microondas são exemplos de ondas eletromagnéticas, ou melhor, de radiações eletromagnéticas. Além disso, percebemos também que existe a presença da eletricidade e do magnetismo entre as situações citadas acima, promovendo o aparecimento de alguma forma de radiação.

As questões que surgem quando pensamos em radiação são muitas, mas podemos destacar as seguintes:

- A radiação pode prejudicar a nossa saúde?
- Quais são os tipos de radiações, como são geradas e quais as suas diferenças?
- Estamos preparados para acidentes em que tenhamos radiação envolvida?
- Qual a relação entre a radioatividade e radiação?
- Um aparelho de microondas pode nos prejudicar?
- Por que as bombas atômicas jogadas sobre as cidades de Hiroshima e Nagasaki mataram tantas pessoas, se elas não eram não tão “grandes”?
- O celular tem radioatividade? E as pilhas e baterias?

Para explicarmos corretamente a todas essas questões, precisamos nos aprofundar no estudo das radiações, ou melhor, entrarmos no campo da Física das Radiações e com o seu auxílio buscamos elementos que nos permitam reconhecer os diferentes tipos de radiação, suas principais características, a maneira de sua interação com a matéria e os benefícios e prejuízos que ela pode trazer para a nossa vida cotidiana.

Este curso de Física das Radiações tem exatamente esse intuito, o de trazer elementos para que o estudante do ensino médio possa compreender de maneira clara os conceitos básicos sobre Radiação, permitindo a ele uma maior interação com o mundo e com as tecnologias que se utilizam desta forma de energia.

Para iniciá-lo no estudo deste campo fascinante da Física, começaremos o curso respondendo a um questionário inicial. Sua intenção é de formalizar o que você conhece sobre o tema, de modo a auxiliá-lo em seu estudo e que servirá ao término do curso como uma referência quanto ao que foi assimilado por você, além de apontar melhorias e correções quanto a sua execução.

Conhecendo as Radiações

Voltemos a aquela narrativa inicial: “Você acorda com o despertador. A luz do Sol entra pela janela enquanto você pula da cama, toma um banho, se veste e desce para tomar café. Na cozinha, coloca duas fatias de pão na torradeira e esquentando uma xícara de café no forno de microondas. Enquanto espera, dá uma olhada nos bilhetes presos à geladeira por pequenos ímãs”. Estamos o tempo inteiro sendo bombardeados por radiações de todos os lados, algumas delas perceptíveis aos nossos sentidos, como por exemplo, a luz, enquanto outras praticamente passam despercebidas. O Sol que entra pela janela representa uma forma de radiação que comumente chamamos de radiação solar. Já ao colocarmos as fatias de pão na torradeira estamos utilizando a radiação infravermelha para prepará-las ao nosso gosto, ou seja, deixá-las torradas. No aparelho de microondas temos a geração das microondas que permitem aquecer a substância no interior do aparelho, deixando, por exemplo, o café, do jeitinho que queremos, isto é, bem quentinho.

O que estas situações têm em comum? Em todas elas percebemos o uso de algum tipo de radiação. Mas será que as radiações são todas iguais? O que elas têm de diferente entre si? Primeiramente, precisamos conhecer o que é essa “coisa” chamada “radiação”, para depois entendermos os mecanismos de sua geração, classificando os diferentes tipos de radiação e a maneira com a qual elas interagem com a matéria, além das muitas aplicações que são feitas a partir delas.

Procurando no dicionário Aurélio (Novo Dicionário Eletrônico Aurélio versão 5.0), encontramos as seguintes definições para radiação:

- ✓ Ato ou efeito de radiar.
- ✓ Qualquer dos processos físicos de emissão e propagação de energia, seja por intermédio de fenômenos ondulatórios, seja por meio de partículas dotadas de energia cinética.
- ✓ Energia que se propaga de um ponto a outro no espaço ou num meio material.

Assim, podemos afirmar que radiação é a propagação de energia sob várias formas, e que pode ser dividida geralmente em dois grupos:

- Radiação corpuscular (partículas) e;
- Radiação eletromagnética.

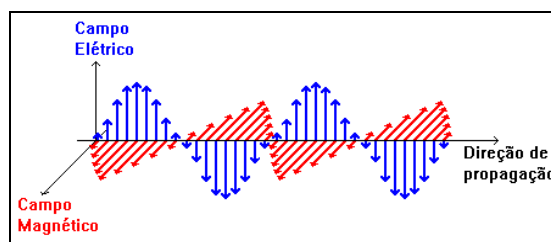
A radiação corpuscular é constituída de partículas elementares ou núcleos atômicos, tais como: elétrons, prótons, nêutrons, partículas alfa, dêuterons, entre outros, enquanto a radiação eletromagnética é constituída de ondas eletromagnéticas. Cada uma dessas radiações é caracterizada por sua energia, sua geração e forma de interação com a matéria. A radiação corpuscular será melhor compreendida quando fizermos a discussão sobre a Radioatividade e as reações nucleares, enquanto que a radiação eletromagnética será melhor compreendida com o estudo do espectro eletromagnético.

Por uma opção de didática, faremos inicialmente o estudo da radiação eletromagnética e do espectro eletromagnético, de maneira a diferenciarmos os tipos de ondas eletromagnéticas quanto ao seu comprimento de onda¹, frequência² e energia.

Radiação Eletromagnética

Devemos lembrar que as ondas eletromagnéticas têm origem no movimento de uma carga elétrica, que quando acelerada ou desacelerada, provoca variações em seu campo elétrico que, conseqüentemente, provoca variações em seu campo magnético e assim sucessivamente, levando a informação desse movimento aos pontos do espaço.

Toda onda eletromagnética transporta energia durante sua propagação e essa propagação é feita na velocidade da luz c (300.000.000 m/s ou $3 \cdot 10^8$ m/s), característica mostrada por James Clerk Maxwell (1831-1879). A figura ao lado apresenta uma onda eletromagnética.



onda eletromagnética

Como toda onda, a onda eletromagnética tem a frequência como uma característica importante, por que é através dela que as ondas eletromagnéticas são classificadas. A unidade de medida da frequência é o Hertz (Hz), em homenagem a Heinrich Rudolph Hertz (1857-1894), devido à descoberta das ondas de rádio. Para cada faixa de frequência, usamos um termo diferente para descrevê-la. Por exemplo, a frequência que vai de $4,3 \cdot 10^{14}$ Hz até $7,5 \cdot 10^{14}$ Hz é o que chamamos de luz visível, enquanto que as ondas de rádio estão na faixa de 10^2 Hz até 10^8 Hz.

A frequência é a medida das oscilações que a carga elétrica executa por unidade de tempo, isto é, se a frequência de uma onda eletromagnética é de 10^5 Hz, ela oscila (agita) 100.000 vezes a cada segundo. Assim, para ser mais claro, se você tiver um pente eletrizado e quiser que ele produza a luz amarela cuja frequência é de $5,2 \cdot 10^{14}$ Hz, você terá que agitá-lo 520 trilhões de vezes por segundo. O que acha disso? Você consegue? Tente!

A Energia das Ondas Eletromagnéticas

Conforme relatado anteriormente, uma onda eletromagnética pode então ser produzida usando apenas um pente. Como ondas eletromagnéticas são geradas toda vez que um objeto eletrizado é acelerado ou desacelerado, imagine-se penteando o cabelo em um dia seco de inverno, quando é mais fácil o pente acumular cargas devido ao atrito. Toda vez que você move o pente para um lado e para outro, o pente emite uma onda eletromagnética, afinal temos as cargas presentes nele sofrendo uma aceleração.

¹ Comprimento de onda: medida da distância entre duas cristas ou vales consecutivos em uma onda.

² Frequência: corresponde a quantidade de ondas completas que são geradas por segundo.

Física das Radiações: Uma Proposta para o Ensino Médio

Se você se penteia devagar, passando o pente no cabelo uma vez por segundo, cria uma onda eletromagnética, mas não coloca muita energia nesta onda. Você produz uma onda de baixa energia e baixa frequência, com comprimento de onda da ordem de 300.000 km, pois a velocidade da luz é de 300.000 km por segundo. Se, por outro lado, você pudesse fazer o pente se mover mais rapidamente, digamos 300.000 vezes por segundo, você produziria uma onda de frequência e energia muito maiores, com um comprimento de onda de 1 km. Assim, usando mais energia para acelerar as cargas elétricas, você coloca mais energia na onda eletromagnética.

Certamente depois das ondas de rádio descobertas por Hertz em 1887, podemos considerar a luz visível como a outra integrante da família das ondas eletromagnéticas, mais conhecida pelo homem e que permite apoiar o raciocínio feito no parágrafo anterior. Por exemplo, um pedaço de carvão em brasa é vermelho-escuro, porque corresponde a uma cor que possui uma energia relativamente pequena. A chama amarela de uma vela tem um pouco mais de energia, enquanto que a chama branco-azulada de um maçarico, uma energia ainda maior. A cada cor corresponde uma frequência e a cada frequência uma energia diferente. Assim, quanto maior a frequência da onda eletromagnética, maior será a sua energia.



vela

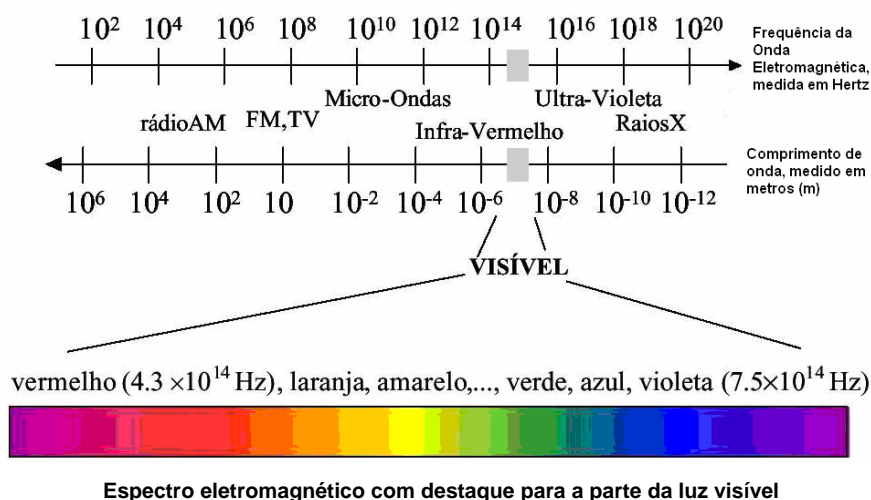


carvão



maçarico

O vermelho, com um comprimento de onda da ordem de 700 nm^3 ($4,3 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$), é a cor de maior comprimento de onda e menor energia do espectro da luz visível. O violeta, por outro lado, com comprimento de onda 400 nm ($7,5 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$), é a cor de menor comprimento de onda e maior energia da luz visível. Todas as outras cores pertencentes ao espectro da luz visível têm energias entre as do vermelho e do violeta. Na figura abaixo temos o espectro eletromagnético com destaque para a parte do visível ao qual conseguimos enxergar.



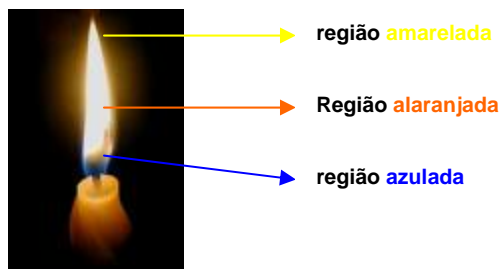
³ 1 nanômetro (1nm) = 0,000000001 m = 10^{-9} m

Física das Radiações: Uma Proposta para o Ensino Médio

Abaixo do vermelho temos, por exemplo, o infravermelho (ou radiação infravermelha) que é uma radiação não visível, enquanto que acima do violeta temos, por exemplo, o ultravioleta (ou radiação ultravioleta), que também não é visível aos nossos olhos.

Assim, o comprimento da onda, a sua frequência e a sua energia, são grandezas que estão intimamente relacionadas. Na tabela abaixo podemos organizar essas idéias da seguinte forma:

Comprimento da onda	Frequência	Energia
menor	maior	Maior
maior	menor	Menor



Vamos olhar novamente a chama de uma vela. A sua chama não é homogênea, apresentando regiões com cores diferentes como você deve ter percebido na atividade da análise da chama da vela.

Em cada região, temos uma temperatura diferente, e portanto, uma energia diferente. Podemos perceber que temos três regiões distintas: uma azulada (situada na parte inferior da chama, junto ao pavio), uma alaranjada (região situada entre o pavio e o topo da chama) e uma amarelada (parte do topo da chama). Destas três regiões, a mais quente é a azulada. O que podemos concluir diante disso, então? Provavelmente você concluiu que pela tabela acima, a parte azulada por ter a maior temperatura, tem a maior energia, logo tem maior frequência com o menor comprimento de onda das três regiões. Já a região amarelada, tem a menor temperatura, a menor energia e frequência, e conseqüentemente, o maior comprimento de onda.

Questões

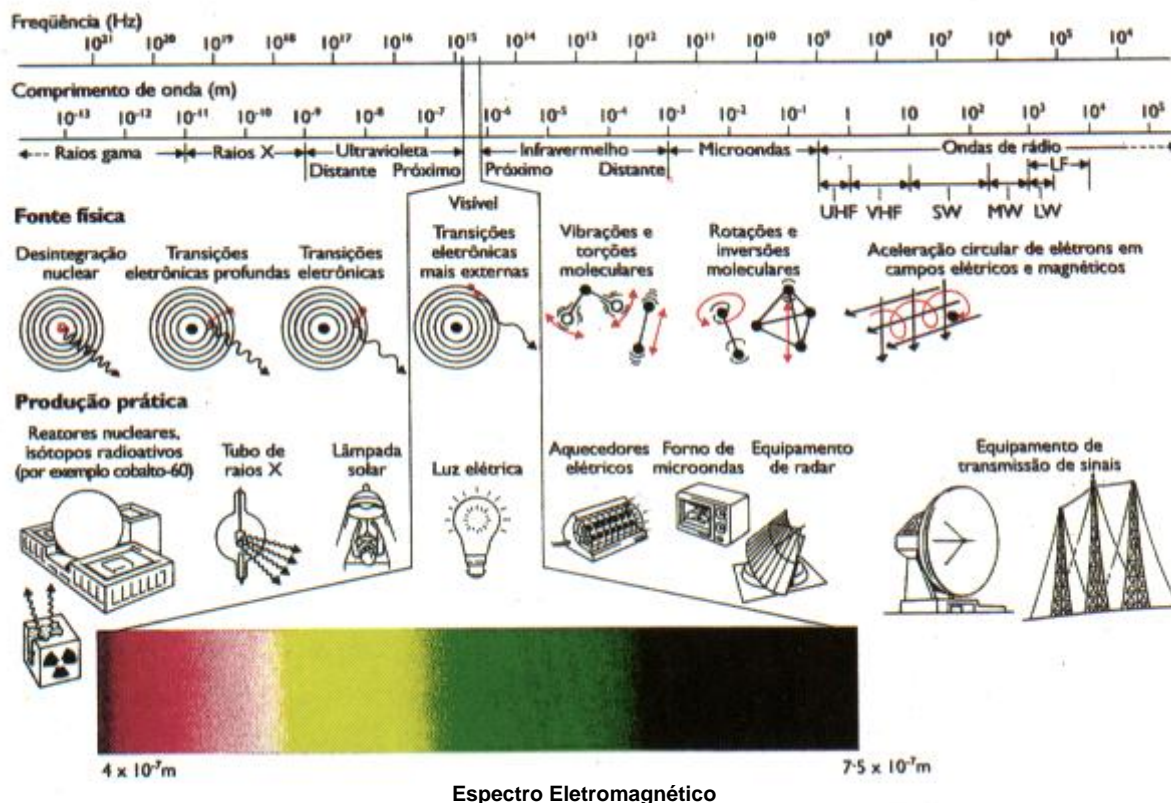
- 1-) Como as ondas eletromagnéticas são produzidas?
- 2-) Qual a característica de uma onda eletromagnética que permite diferenciar uma da outra?
- 3-) Ao olharmos para uma vela, percebemos diferentes regiões em sua chama. Em qual dessas regiões temos maior energia? Onde temos a menor energia? Por quê?
- 4-) Ao olharmos para uma boca do fogão acesa, qual a cor da sua chama? O que podemos falar quanto a sua temperatura, energia, frequência e comprimento de onda?
- 5-) O que ocorre com a chama de uma boca de fogão quando a válvula que regula o gás do botijão está vencida?
- 6-) Imagine uma estrela. Que cor deveria apresentar esta estrela para que ela fosse a mais quente e visível?

Espectro Eletromagnético (Introdução)

Quando acendemos uma vela ou quando ligamos uma lâmpada incandescente ou mesmo quando olhamos para os raios do Sol, temos em comum nestes três exemplos a presença da luz. Desde a sua identificação por Maxwell como sendo uma onda eletromagnética, muitas outras ondas eletromagnéticas foram descobertas com comprimentos de ondas que vão desde o tamanho do raio da Terra (aproximadamente 6.370 km) até o tamanho do núcleo atômico (aproximadamente 10^{-15} m). Podemos dar como exemplos de ondas eletromagnéticas as ondas de rádio, as microondas, os raios infravermelhos, os raios ultravioleta, os raios X, os raios gama e os raios cósmicos. O conjunto destas ondas é chamado de **espectro eletromagnético**.

O espectro eletromagnético é composto então por ondas que se propagam no vácuo com a velocidade da luz ($c = 3 \cdot 10^8$ m/s), sem a necessidade de um meio material. Na figura abaixo temos o espectro eletromagnético com as muitas frequências e comprimentos de onda que a compõem, e que podem ser relacionados pela expressão $c = \lambda \cdot f$, onde λ representa o comprimento de onda, em metros (m), e f a frequência da onda eletromagnética, medida em Hertz (Hz).

Devemos perceber que quando dizemos que temos uma onda eletromagnética do tipo infravermelha, ou simplesmente, radiação infravermelha, na verdade temos um conjunto de ondas dentro de um intervalo de frequências (ou comprimentos de onda) que receberam essa denominação. Na figura abaixo, percebemos que o intervalo de frequência da luz visível corresponde a uma faixa muito pequena, sendo a menor de todas.



Como ondas eletromagnéticas possuem comprimentos de onda com valores desde muito pequenos a muito grandes, podemos representar esses comprimentos através de unidades de medida adequadas. A tabela a seguir apresenta algumas unidades muito usadas para o comprimento de onda de algumas radiações eletromagnéticas:

Tipo de Onda Eletromagnética	Comprimento de Onda	Observação
Rádio, TV, Radar	de 3 km a 1 cm	1 km = 1.000 m = 10^3 m 1m = 100 cm = 10^2 m
Raios Infravermelhos	de 0,01 cm a 8.000 Å	Å = angstrom 1 Å = 10^{-8} cm = 10^{-10} m
Luz Visível	de 7.500 Å a 3.900 Å	-
Raios Ultravioleta	de 3.900 Å a 2.000 Å	-
Raios X	de 100 Å a 0,1 Å	-
Raios Gama	de 0,1 Å a 0,0001 Å	-

Os fótons da radiação eletromagnética

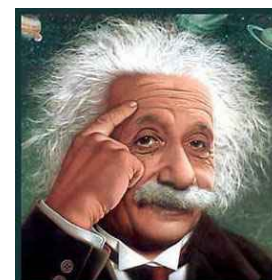
Podemos dizer que toda radiação eletromagnética é composta de um feixe de partículas denominadas **fótons**. Os fótons podem ser considerados como partículas elementares. Assim, sempre que você estiver em contato com a luz, seja qual for o tipo de luz, por exemplo, do Sol, das estrelas ou de uma lâmpada elétrica, você estará em contato com essas partículas elementares. Essas partículas, os fótons, estão em todo o Universo com certeza e em todas as suas regiões. Eles são muito numerosos no Universo. Excedem em muito as demais partículas. Na realidade, quando falamos dos fótons estamos falando não de um ou dois, mas de bilhões e bilhões de fótons.

Se os fótons são tão numerosos, por que não sentimos os seus efeitos? Na realidade, podemos sentir os efeitos associados à presença de grande número de fótons. Por exemplo, só podemos ver um objeto ao nosso redor se tivermos luz à nossa disposição. Fótons com energia compreendida entre determinados valores, e desde que em grande número, compoem uma onda eletromagnética, são capazes de sensibilizar um dos nossos sentidos, o sentido da visão.

Os fótons são partículas que apresentam propriedades interessantes. Vejamos algumas dessas propriedades:

- 1º) São partículas que **não apresentam massa**;
- 2º) São partículas que **possuem energia bem definida**.

Einstein em 1905, quando explicou o Efeito Fotoelétrico, o qual lhe deu anos mais tarde em 1921 o prêmio Nobel de Física, inferiu que a energia de um fóton (ou quantum de energia) é dada pela expressão: $E = n \cdot h \cdot f$, onde:



Albert Einstein (1879-1955)

E = representa a **energia do fóton**, medida em **Joules (J)** ou **elétron-volt (eV)**¹;

n = representa o **número de fótons**;

h = representa a **constante de Planck** que apresenta o seguinte valor: **$h = 6,63 \cdot 10^{-34}$ J.s**;

f = representa a **freqüência da radiação**, medida em **Hertz (Hz)**.

Assim, podemos dizer cada fóton corresponde a um pequeno pacote de energia, um **quantum**, é por isso que podemos chamá-lo de “corpúsculo” ou “partícula” de energia. Um conjunto de fótons pode ser chamado de **quanta** de energia. Assim podemos perceber pela expressão acima que a energia de um fóton é **quantizada**, isto é, só pode assumir **valores múltiplos de $h \cdot f$ (0, 1 hf; 2 hf; 3 hf, ...)**.

3º) O fóton **não tem carga elétrica**. Esta é outra propriedade interessante do fóton. Isso quer dizer apenas que ele não é atraído ou repelido por ímãs ou por objetos eletrizados.

4º) A **velocidade de qualquer fóton**, não importa sua energia, é de aproximadamente **$3 \cdot 10^8$ m/s**, no vácuo. Desta forma, a velocidade do fóton é a velocidade limite na natureza, não havendo objeto capaz de se movimentar com velocidade maior que a de um fóton.

Diante destes fatos podemos concluir o seguinte:

Para cada radiação eletromagnética existirá um fóton de energia correspondente e com uma energia definida pela expressão $E = h \cdot f$, movendo-se com uma velocidade $c = 3 \cdot 10^8$ m/s.

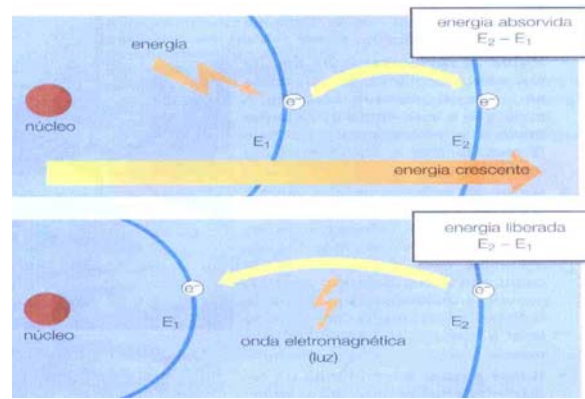
Os fótons e o modelo Atômico de Bohr

Em 1913, o físico dinamarquês Niels Bohr (1885-1962), prêmio Nobel em 1922, propôs um novo modelo para o átomo, uma vez que o modelo antecessor conhecido como modelo planetário de Rutherford, apresentava inconsistências quanto ao movimento de um elétron em sua eletrosfera. Neste caso, o elétron deveria segundo a teoria eletromagnética de Maxwell, emitir radiação eletromagnética, caindo de encontro ao núcleo, pois era o que previa a teoria para uma carga acelerada. Porém, isso de fato não ocorria, pois as eletrosferas dos átomos eram estáveis. Assim, evidenciou-se a necessidade de se propor um novo modelo atômico.

O modelo atômico de Bohr postulava que, para a eletrosfera de um átomo só podem existir determinados níveis de energia, denominados de **estados estacionários ou quânticos**: a cada um desses estados corresponde uma determinada energia. Em seu modelo, Bohr propôs que, em um **estado estacionário, o átomo não emite radiação**. Assim, sua eletrosfera mantém-se estável. Experimentos realizados em 1914 por James Frank (1882-1964) e Gustav Hertz (1887-1975), ambos físicos alemães, confirmaram a existência dos estados estacionários.

¹ Um **elétron-volt (eV)** corresponde a energia necessária para que um elétron, com carga de $1,6 \cdot 10^{-19}$ C, seja acelerado ao atravessar uma diferença de potencial de 1 V. Assim temos: **$1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ ou $1 \text{ J} = 6,25 \cdot 10^{18} \text{ eV}$** . A unidade **eV** é muito utilizada, assim como seus múltiplos: **keV** (quiloelétron-volt) e **MeV** (megaelétron-volt). Assim temos: **$1 \text{ keV} = 1.000 \text{ eV} = 10^3 \text{ eV}$ e $1 \text{ MeV} = 1.000.000 \text{ eV} = 10^6 \text{ eV}$** .

Bohr também postulou que todo átomo, ao passar de um estado estacionário para outro, emite ou absorve um quantum de energia igual à diferença entre as energias correspondentes aos dois estados, conforme mostra a figura ao lado. Assim, cada quantum de energia que é emitido ou absorvido, corresponde a fótons com uma frequência (f) e energia (E) bem definidos pela relação $E = h.f$.



O átomo emitindo luz

Desta forma, percebemos que: o elétron “saltará” do nível de **menor energia** (E_1) para o nível de **maior energia** (E_2) se **absorver** um quantum $h.f$, tal que $h.f = E_2 - E_1$; da mesma forma, o elétron ao retornar do nível de **maior energia** (E_2) para o nível de **menor energia** (E_1) se **emitir** um quantum de radiação $h.f$, tal que $h.f = E_2 - E_1$.

Com base neste modelo e utilizando os postulados de Bohr, podemos explicar as diferentes colorações que temos na chama de uma vela da seguinte forma: Cada coloração que percebemos na chama de uma vela, corresponde a fótons de energias diferentes que são emitidos quando elétrons estão realizando transições entre níveis de maior energia para níveis de menor energia, conforme é apresentado nos postulados de Bohr. Assim, para cada coloração presente na chama de uma vela, temos fótons sendo emitidos com frequência e energia bem definidos e que estão relacionados pela expressão: $E = h \cdot f$.

Questões

- 1-) Consultando a figura do espectro eletromagnético da primeira página deste texto, responda:
 - a) Quem tem maior frequência: uma radiação ultravioleta ou uma radiação infravermelha?
 - b) Quem tem maior comprimento de onda: os raios X ou as ondas de rádio?
 - c) Qual o intervalo de frequência, aproximadamente, dos raios gama?
 - d) Que radiação tem um comprimento de onda da ordem de 10^{-2} m?
- 2-) O que são fótons? Quando um átomo emite luz?
- 3-) Voltando a experiência sobre a análise da chama de uma vela realizada na aula anterior, percebemos que ela apresentou diferentes colorações, onde se destacaram as seguintes cores: **amarela** e **azul**. Determine através da expressão $E = n \cdot h \cdot f$:
 - a) a energia, em Joules (J) e em elétron-volt (eV), de **um fóton** da luz **amarela** e da luz **azul**, sabendo que a frequência da cor **amarela** é de $5,3 \cdot 10^{14}$ Hz e da cor **azul** é de $6,3 \cdot 10^{14}$ Hz.
 - b) Compare-as e diga quem tem o maior e o menor valor de energia. Estes valores estão de acordo com o que foi discutido na aula anterior?
- 4-) Pesquise em qualquer livro didático de Física, qual o **segundo Postulado da Teoria da Relatividade Especial de Einstein**. Escreva-o em seu caderno. Procure dar um exemplo que ilustre o significado deste postulado.
(Dica: Pode ser feito um desenho ou esquema para facilitar a sua explicação)

Espectro Eletromagnético (Parte I)

Cada onda ou radiação eletromagnética presente no espectro eletromagnético visto na aula anterior, difere da outra, quanto a sua frequência (f), comprimento de onda (λ) e energia (E). Vamos analisar a partir desta aula os diferentes de onda e suas possíveis aplicações em nosso cotidiano. Nesta aula falaremos das ondas de rádio, essenciais às telecomunicações, das microondas presentes nos radares e fornos de microondas.

Ondas de Rádio

A região das ondas de rádio do espectro eletromagnético vai das ondas mais longas, cujo comprimento de onda é maior que o raio da Terra, até ondas com um comprimento de onda de um metro. As frequências correspondentes, que vão desde alguns quilohertz¹ (kHz) até centenas de megahertz² (MHz), são os números que aparecem nos mostradores dos aparelhos de rádio. Existem várias subdivisões das ondas de rádio como AM e FM, que representam formas diferentes de se enviar o sinal, porém todas podem se propagar a grandes distâncias na atmosfera sendo por isso usadas em sistemas de comunicações.

Já aconteceu de você estar dirigindo à noite e captar o sinal de rádio de uma estação a mais de 2.000 km de distância? Se já passou por esta experiência, você conhece em primeira mão a capacidade das ondas de rádio de viajarem a longas distâncias na atmosfera. O movimento oscilatório dos elétrons em uma antena de metal pode gerar uma onda de rádio do tipo usada em telecomunicações. A aceleração dos elétrons produz ondas eletromagnéticas do mesmo modo que jogar uma pedra em um lago produz ondulações. Quando estas ondas encontram um outro objeto metálico (a antena receptor de um rádio, por exemplo), o campo elétrico da onda faz os elétrons do objeto oscilarem. O movimento dos elétrons constitui uma corrente elétrica³ que os circuitos eletrônicos de um receptor de rádio ou um simples rádio de Galena⁴, podem transformar em um sinal de rádio. Este sinal, por sua vez, produz uma onda sonora ao ser usado um alto-falante.



Rádio receptor AM e FM



Antena transmissora

Quase todos os materiais de construção são pelo menos parcialmente transparentes às ondas de rádio, sendo por isso que podemos ouvir rádio dentro de uma casa sem nenhum

¹ Quilohertz (kHz) = 1.000 Hertz (mil oscilações por segundo).

² Megahertz (MHz) = 1.000.000 Hertz (um milhão de oscilações por segundo).

³ Corrente elétrica: movimento organizado de cargas elétricas no interior de um metal. Em um fio esse movimento organizado é constituído de elétrons livres.

⁴ Rádio de Galena: rádio mais simples de ser montado para captação das ondas de rádio.

problema. Nos túneis, porém, ou nas cidades cercadas de montanhas, a atenuação das ondas de rádio por uma camada muito espessa de rocha pode dificultar a recepção.

No Brasil, o governo reserva faixas de frequências do espectro eletromagnético para vários usos. A cada estação de rádio comercial é outorgada uma frequência, o mesmo acontece com os canais de televisão. Outras partes do espectro eletromagnético também são usadas para comunicações particulares (polícia, bombeiros, telefones celulares, etc.). Na verdade, o direito de usar uma faixa do espectro eletromagnético para comunicações é muito valorizado, já que existe um número limitado de frequências e muitas pessoas estão interessadas em utilizá-las.

As rádios AM (Amplitude Modulada) cobrem faixas de operação entre 530 kHz e 1600 kHz, enquanto que as rádios FM operam com frequências entre 88 MHz e 110 MHz. Como as ondas transmitidas em AM são de comprimento de onda maiores, elas conseguem ir a distâncias maiores que as ondas transmitidas em FM.

Microondas

As microondas são ondas eletromagnéticas com comprimento de onda entre 1 m e 1 mm, com frequências compreendidas, aproximadamente, entre 10^8 Hz e 10^{11} Hz. Como as microondas se propagam em linha reta, exigem uma visada direta entre as antenas de transmissora e receptora. Os satélites transmitem sinais à Terra através de microondas. As microondas também são usadas para transmitir sinais telefônicos e de televisão. As antenas parabólicas usadas pelos assinantes de TV via satélite e as antenas em forma de cone nas torres de retransmissão que se vêem ao longo das estradas são antenas de microondas.



Antenas Parabólicas



Receptor via satélite

As propriedades das microondas as tornam ideais para uso em aparelhos de radar. A maioria dos objetos reflete microondas como um espelho reflete a luz visível. Enviando pulsos de microondas e detectando os pulsos refletidos, os aparelhos de radar mais sofisticados são capazes de determinar a direção, a distância (pelo tempo que os pulsos levam para ir e voltar) e a velocidade de qualquer alvo. Os radares militares modernos são tão sensíveis que conseguem rastrear uma mosca a dois quilômetros de distância. Para fazer frente a esta tecnologia, os projetistas de aeronaves desenvolveram aviões “invisíveis” que utilizam materiais especiais, formas angulosas e sistemas de interferência eletrônica para não serem detectados.



Radar



Avião invisível

As mesmas ondas usadas na telefonia, na televisão e no radar também servem para cozinhar os alimentos. Nos fornos de microondas, um circuito especial faz os elétrons oscilarem (agitarem) rapidamente, gerando microondas. Estas microondas são guiadas para o compartimento principal do forno, que é feito de um material que espalha as microondas. Assim, as ondas permanecem no interior do forno até serem absorvidas por algum objeto.

Acontece que as microondas são fortemente absorvidas por moléculas de água. Isto significa que a energia das microondas é absorvida pela água contida nos alimentos e convertida em calor, cozinhando os alimentos. Podemos pensar da seguinte maneira: as microondas fazem as moléculas de água agitarem-se muito, o que acaba gerando o calor citado anteriormente. As microondas não esquentam papel e vidro, pois estes materiais não contêm muitas moléculas de água.

Os objetos metálicos refletem as microondas e é por isso que alguns fornos de microondas contêm um ventilador com pás de metal, que ajudam a espalhar as microondas. É por isso também que não se deve embrulhar alimentos em papel alumínio antes de colocá-lo no forno de microondas, pois o metal funcionaria como uma barreira para as microondas, aumentando consideravelmente o tempo de cozimento.



Tampa da guia de onda

Interior do aparelho e a saída das microondas



Grade de proteção da porta do aparelho

Algo muito interessante quanto ao forno de microondas é a presença de uma grade na porta do aparelho. Esta grade é mais uma proteção, além das muitas que os aparelhos já trazem, para impedir que as microondas consigam atravessar a porta e cheguem até o meio externo.

Ela serve como uma barreira que impede que as microondas, por menor que elas sejam, consigam atravessá-la e literalmente cozinhem qualquer objeto que contenha água em sua proximidade, inclusive as regiões do corpo de uma pessoa. Testes como colocar a metade de uma maçã sobre o aparelho, próximo à porta, e a outra metade da maçã nas proximidades da porta na parte de baixo, podem ajudar a diagnosticar se o aparelho e/ou porta estão com algum vazamento das microondas.

Questões

- 1-) É possível gerar ondas de rádio com uma pilha e um pedaço de fio metálico? Em caso de positivo, explique como isso é possível.
- 2-) Cite a frequência de uma rádio que você conhece em Hz, kHz e MHz.
- 3-) Quem tem maior energia: as ondas de rádio ou as microondas? Justifique.
- 4-) Digamos que por algum defeito, você conseguisse ligar um microondas com a porta aberta. Seria possível cozinhar o braço de uma pessoa com um aparelho de microondas? Por quê?
- 5-) Você já reparou na grade que existe na porta de um forno convencional a gás? Qual a sua finalidade?
- 6-) Sabendo que a frequência das microondas que o aparelho gera é de aproximadamente 2,4 GHz, qual a energia dessas microondas, em Joule (J)?
(Dica: $1\text{GHz} = 10^9\text{ Hz}$ e $E = h \cdot f$, onde $h = 6,63 \cdot 10^{-34}\text{ J.s}$)

Espectro Eletromagnético (Parte II)

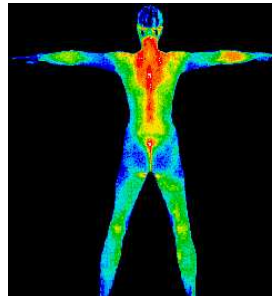
Nesta aula falaremos dos raios infravermelhos que são muito utilizados em controle remoto e da luz visível, uma radiação que consegue sensibilizar o nosso sentido da visão.

Raios Infravermelhos

Os raios infravermelhos são ondas eletromagnéticas com comprimento de onda entre 1 mm^1 e $1 \mu\text{m}^2$, com frequências desde 10^{11} Hz até 10^{14} Hz , aproximadamente. Receberam esta nomenclatura, pois elas têm frequência abaixo da correspondente à cor vermelha. Nossa pele, que absorve raios infravermelhos, funciona como uma espécie de detector natural para esses raios. Sentimos a presença de raios infravermelhos quando aproximamos as mãos de uma fogueira ou do elemento de um aquecedor (resistência) de ambiente.

Os objetos quentes, assim como nosso corpo, emitem raios infravermelhos, e este fato é usado em aplicações civis e militares. Um ferro de passar ao ser ligado na rede elétrica tem uma resistência elétrica que ao se aquecer, emite radiação infravermelha. Por isso, os raios infravermelhos são também chamados de ondas de calor e podem ser visualizados com o auxílio de filme sensível a esses raios.

Detectores de infravermelho são empregados para guiar mísseis na direção de aviões inimigos, aproveitando o calor das turbinas, e também para “ver” soldados e veículos inimigos à noite. Insetos, como mosquitos e mariposas, e outros animais noturnos, como cobras e os gambás, são sensíveis aos raios infravermelhos, o que lhes permite localizar a presa mesmo na escuridão total.



As regiões quentes do corpo humano ou de um animal, aparecem em vermelho usando uma análise pelo infravermelho

Os detectores de infravermelho também são usados para localizar vazamentos de calor em casas e edifícios, em localidades onde há calefação ambiental. Quando fotografamos uma casa à noite usando um filme sensível aos raios infravermelhos, os lugares por onde o calor está escapando aparecem como pontos claros. Esta informação pode ser usada para reduzir as perdas térmicas e com isso economizar energia. Os cientistas também usam detectores de infravermelho para inspecionar os vulcões. O aparecimento de um ponto quente pode ser sinal de que uma erupção está para acontecer.

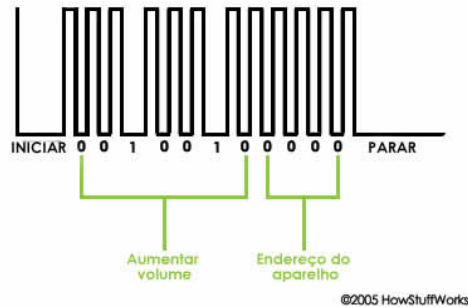
¹ 1 milímetro (1 mm) = $0,001 \text{ metro} = 10^{-3} \text{ m}$.

² 1 micrômetro ($1 \mu\text{m}$) = $0,000001 \text{ metro} = 10^{-6} \text{ m}$.

Atualmente, em muitas casas espalhadas pelo mundo, dispomos de um dispositivo que se utiliza dos raios infravermelhos para comandar um equipamento. Este equipamento é o controle remoto dos aparelhos de televisão. No microcircuito do controle remoto, cada função está associada a uma seqüência de pulsos diferentes. Esta seqüência é composta de 0 e 1, o chamado código binário, o mesmo utilizado pelos computadores. Quando você aperta um botão, o circuito ativa um diodo emissor de luz, neste caso de luz infravermelha, que envia uma dessas seqüências para um detector no aparelho de televisão. A seqüência em geral é repetida cinco vezes por segundo para assegurar que seja reconhecida.



Controle Remoto Infravermelho

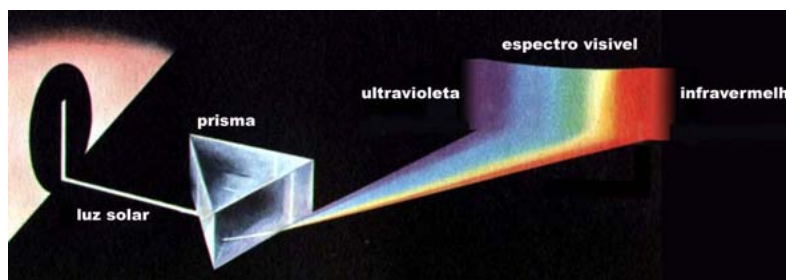


Exemplo de seqüência de pulsos

©2005 HowStuffWorks

Luz Visível

Todas as cores do arco-íris estão presentes na luz visível, cujos comprimentos de onda vão de 700 nm^3 (vermelho) até 400 nm (violeta), com freqüências que vão de $4,3 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$ até $7,5 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$. Este intervalo de comprimentos de onda constitui uma pequena fração do espectro eletromagnético. Podemos perceber que a luz branca é a mistura de várias cores fazendo, por exemplo, a luz branca do Sol passar através de um prisma⁴ o que resulta nas cores do espectro visível. Os seres humanos percebem o espectro da luz visível como uma série de faixas coloridas. A sensibilidade do olho humano varia de acordo com o comprimento de onda. Nossa percepção é máxima na região do amarelo.



Espectro Visível da Luz Solar

Nossos olhos podem distinguir muitas cores diferentes, mas estas cores não têm nenhum significado especial exceto em nossa percepção. Na verdade, as cores do arco-íris (vermelho, laranja, amarelo, verde, azul, anil e violeta) correspondem a regiões do espectro da luz visível cuja largura varia de cor para cor. As partes vermelha e azul do espectro são mais

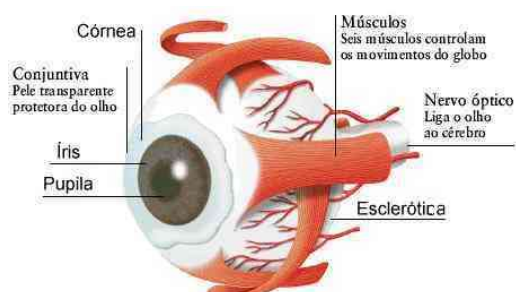
³ 1 nanômetro (1 nm) = $0,000000001 \text{ metro} = 10^{-9} \text{ m}$.

⁴ Prisma: elemento que permite fazer a dispersão (decomposição) da luz branca através da difração.

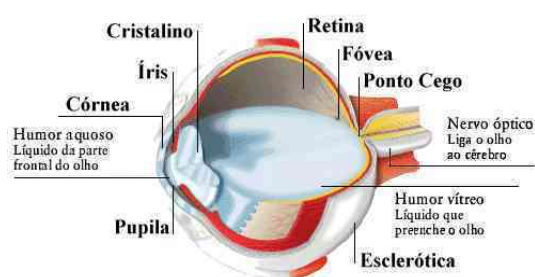
extensas, com 50 nm de largura, isto significa que muitos comprimentos de onda diferentes são percebidos como azul ou vermelho. A parte amarela do espectro é bem mais estreita, cobrindo apenas a faixa de 570 a 590 nm.

Por que nossos olhos seriam sensíveis a uma parte tão pequena do espectro eletromagnético? Como a luz solar é particularmente intensa nesta região do espectro, alguns biólogos acreditam que a evolução natural tenha tornado nossos olhos sensíveis a estes comprimentos de onda para aproveitar melhor possível a luz do Sol. Nossos olhos estão adaptados à luz que existe na superfície do planeta durante o dia. Os olhos de animais que caçam à noite, como corujas e gatos, são mais sensíveis aos raios infravermelhos, que fazem os animais de sangue quente se destacarem na paisagem.

O mais conhecido detector de luz é aquele que levamos conosco o tempo todo: o olho humano. Os olhos são órgãos extremamente complexos, que convertem a radiação eletromagnética em imagens através de uma combinação de processos físicos e químicos.



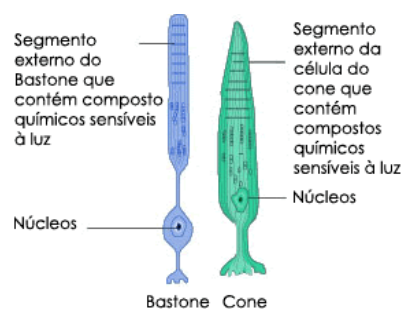
Detalhes do olho humano



Conjunto óptico perfeito para formar a imagem

As ondas luminosas entram no olho através de uma lente natural chamada de cristalino, cuja espessura é controlada por músculos especiais. O cristalino do olho refrata (desvia) os raios luminosos, focalizando-os nas células receptoras da retina, uma membrana que reveste a parte posterior do olho. A retina contém dois tipos de células, os cones e os bastonetes.

Os bastonetes são mais sensíveis, mas respondem apenas à intensidade da luz e é graças a eles que podemos ver à noite. Quanto aos cones eles são de três tipos, sensíveis ao vermelho, ao azul e ao verde, permitindo que consigamos distinguir as cores.



O mais surpreendente é que a estimulação combinada desses três grupos de cones é capaz de produzir toda a extensa gama de cores que o ser humano enxerga. A ausência de qualquer um desses tipos resulta numa doença chamada daltonismo⁵, que é a cegueira à determinada cor. Por enquanto, o daltonismo é um mal sem cura nem prevenção. Os pesquisadores sabem apenas que o problema tem origem genética e atinge principalmente os

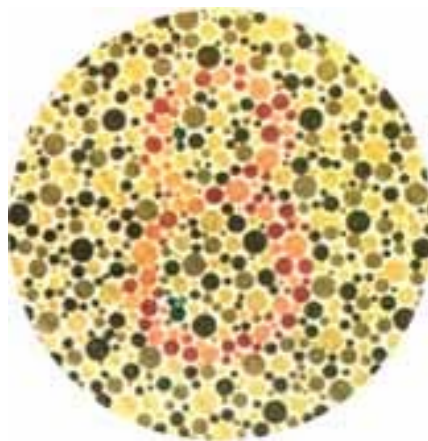
⁵ Daltonismo: doença descoberta em 1794 pelo físico John Dalton, que era portador desta enfermidade e daí veio o nome em homenagem ao seu descobridor.

homens. Na realidade, o funcionamento das células nervosas que compõem a retina e sua conexão com o cérebro ainda são campos nebulosos da oftalmologia. Por isso, doenças que atingem essa região costumam provocar cegueira irreversível.

A energia das ondas luminosas ao penetrar no olho produz mudanças complexas nas moléculas dos bastonetes e cones, iniciando uma série de reações que têm como resultado um sinal elétrico. Este sinal é transmitido ao cérebro pelo nervo óptico, que o interpreta e gera a imagem que estamos vendo.

Questões

- 1-) Por que não podemos enxergar os raios infravermelhos?
- 2-) Ao ligarmos o forno do fogão de casa, estamos fazendo uma reação química de combustão, pois estamos queimando um gás na presença de oxigênio do ar. Que tipo de radiação é liberada nesta reação?
- 3-) Como seria possível a partir de um CD, desses que usamos para gravar músicas, conseguir um espectro semelhante ao da luz visível?
- 4-) O arco-íris geralmente se forma após as chuvas. Que cores compõem o arco-íris? Como explicar o seu aparecimento?
- 5-) Você é daltônico? Não sabe? Para detectar o daltonismo, usa-se o teste de Ishihara, em que pontilhados coloridos formam determinados números ou letras. Na figura abaixo, existe um número. Que número é este? Uma pessoa normal consegue enxergá-lo sem maiores problemas!



- 6-) Nosso corpo é uma máquina fantástica. Ela possui sensores capazes de detectar a presença da radiação infravermelha e da luz visível. Estes sensores são, na verdade, os nossos sentidos. Assim, quais são esses sentidos para cada radiação?

Espectro Eletromagnético (Parte III)

Nesta aula estudaremos os raios ultravioleta que são raios muito utilizados em câmaras de bronzamento artificial, dos raios X que são essenciais para os diagnósticos médicos, além dos raios gama que são os raios mais energéticos liberados na explosão de uma bomba atômica.

Raios Ultravioleta (UV)

Os raios ultravioleta são ondas eletromagnéticas com comprimentos de onda entre 400 nm e 100 nm, correspondentes a frequências que alcançam até 10^{18} Hz. Esta denominação é devido a sua frequência ser acima do violeta da luz visível. A energia contida nos raios ultravioleta de grande comprimento de onda é suficiente para estimular a produção de um pigmento nas células da pele conhecido como melanina. A este fenômeno de estimulação damos o nome de bronzamento, sendo ele responsável pela proteção da nossa pele quanto à exposição exagerada aos raios do Sol, por exemplo. Esta parte de baixa energia dos raios ultravioleta não apresenta riscos para a saúde.



O Sol emite muito ultravioleta



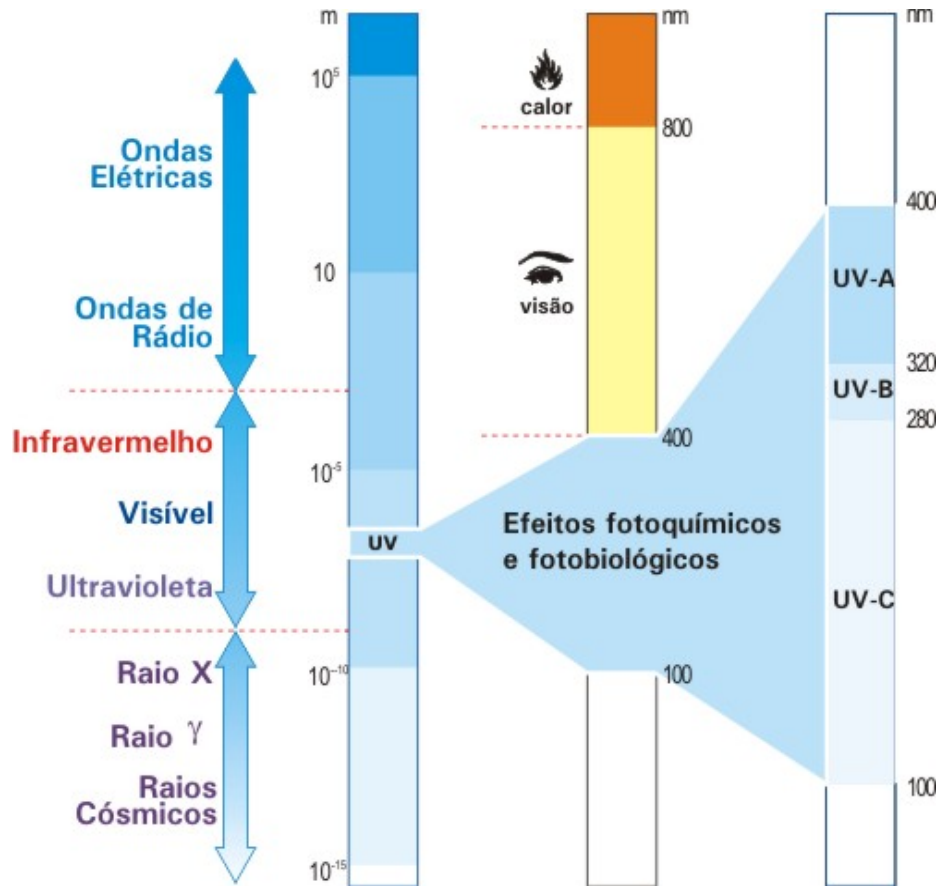
Pessoa passando um filtro solar

Os raios ultravioleta de pequeno comprimento de onda, por outro lado, possuem uma energia bem maior, suficiente para danificar as células da pele, causando queimaduras e câncer de pele em seres humanos. Daí a necessidade de proteger a pele usando um protetor solar. O poder destrutivo dos raios ultravioleta é usado nos hospitais para esterilizar instrumentos cirúrgicos.

O Sol produz raios ultravioleta em grande quantidade. Felizmente, a atmosfera da Terra, e particularmente a camada de ozônio, absorve grande parte desses raios, protegendo assim os seres vivos que habitam o nosso planeta. Mesmo assim, as pessoas que passam muito tempo expostas ao Sol devem proteger a pele passando um filtro solar, que é transparente à luz visível, mas absorve os perigosos raios ultravioleta.

A radiação ultravioleta que atinge a Terra se divide em radiação UVA e UVB, embora haja também os raios UVC, que não chegam até o nosso planeta. A radiação UVA, é a maior parte do espectro ultravioleta e possui intensidade constante durante todo o ano, atingindo a pele praticamente da mesma forma durante o inverno ou o verão. Sua intensidade também não varia muito ao longo do dia, sendo pouco maior entre 10 e 16 horas que nos outros horários.

Os raios UVA penetram profundamente na pele, sendo os principais responsáveis pelo fotoenvelhecimento. Tem também importante participação nas fotoalergias e também predispõe a pele ao surgimento do câncer. É interessante saber que o UVA também está presente nas câmaras de bronzeamento artificial, em doses mais altas do que na radiação proveniente do Sol.



Os raios ultravioleta (UV) estão divididos em UVA, UVB e UVC

A radiação UVB já tem uma incidência bem maior durante o verão, especialmente entre 10 e 16 horas. Os raios UVB penetram superficialmente na pele e são os causadores das queimaduras solares, que são as principais responsáveis pelas alterações celulares que predispõem ao câncer de pele. Assim, fica o alerta para o fato de que, sendo apenas os raios UVB que causam as queimaduras solares, o fato da pessoa não ter ficado vermelha não significa que não tenha sido atingida danosamente pela radiação UVA. Aquele sol de inverno que pareceu não causar problemas porque você não se queimou nada, na verdade também está prejudicando sua pele favorecendo, principalmente, o seu envelhecimento, da mesma forma que as câmaras de bronzeamento artificial.

Nas câmaras de bronzeamento artificial a quantidade de UVA emitida pode chegar a ser 10 vezes maior que a da luz solar. Pode-se imaginar o dano causado à pele por este tipo de tratamento. Este dano, somente aparece muitas vezes com o passar dos anos. Desta forma, especialistas afirmam que o uso destas câmaras para bronzeamento deve ser evitado e o uso de filtro solar imprescindível a tempos de exposição ao Sol muito prolongados.

Os filtros solares podem ser químicos (absorvem os raios UV) ou físicos (refletem os raios UV). É comum a associação de filtros químicos e físicos para se obter um filtro solar de FPS mais alto. A sigla FPS significa Fator de Proteção Solar e todo filtro solar tem um número que determina o seu FPS, que pode variar de 2 a 60 (até agora, nos produtos comercializados no Brasil). O FPS mede a proteção contra os raios UVB, responsáveis pela queimadura solar, mas não medem a proteção contra os raios UVA.



Filtro solar



Lâmpada de luz negra usada em festas

Na matéria, os átomos de algumas substâncias absorvem raios ultravioleta e emitem parte da energia na forma de luz visível. Convém lembrar que tanto a luz visível como os raios ultravioleta são ondas eletromagnéticas, mas a luz visível tem um comprimento de onda maior, e portanto uma energia menor que a dos raios ultravioleta. Este fenômeno, conhecido como fluorescência, é responsável pelos efeitos de “luz negra” tão populares em casas noturnas e festas. Este fenômeno tem explicação no átomo, nas transições de elétrons entre níveis de energia e o tempo de transição entre esses níveis.

Hoje os raios ultravioleta são usados também em máquinas que permitem identificar cédulas de dinheiro falsas, pois a tinta usada nas cédulas falsas reflete esta luz de forma diferente de uma cédula verdadeira.



Máquina identificadora de cédulas falsas de dinheiro com UV

Raios X

Os raios X são ondas eletromagnéticas com comprimento de onda entre 100 nanômetros e 0,1 nm. Estas ondas de alta energia podem atravessar, com maior ou menor atenuação, quase todos os materiais. Por esta razão, os raios X são muito usados na medicina para obter imagens de ossos e órgãos internos. Os raios X também são usados na indústria para inspecionar peças em busca de trincas e outros defeitos.

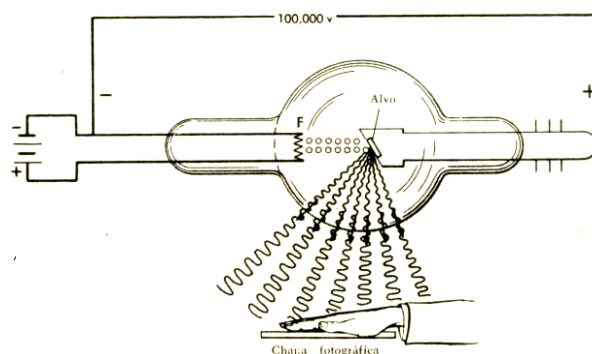


Radiografia da mão



Radiografia da cabeça de um Homo Sapiens

Os tubos de raios X usados por médicos e dentistas se parecem com lâmpadas incandescentes. Em uma extremidade do tubo, existe um filamento de tungstênio que é aquecido a altas temperaturas por uma corrente elétrica, como o filamento de uma lâmpada. Na outra extremidade do tubo existe uma placa de metal. Para produzir os raios X, é aplicada uma alta tensão entre o filamento e a placa metálica, mantida em um potencial positivo, que faz com que os elétrons que são emitidos pelo filamento sejam acelerados e se choquem violentamente com o metal. A súbita desaceleração dos elétrons ao penetrar no material, resulta na produção das ondas eletromagnéticas de alta energia que chamamos de raios X e que ao atravessarem os materiais, por exemplo, a nossa mão, conseguem gerar a imagem dos ossos em uma chapa fotográfica (radiografia).



Tubo de raios X: elétrons são desacelerados ao colidirem com a placa de metal e emitem raios X

Dentre as muitas das aplicações em potencial dos raios X, como em aeroportos, estudos estruturais de cristais muito pequenos e inspeções de peças muito grandes, estas não podem ser concretizadas por causa da intensidade relativamente pequena das fontes de raios X convencionais. No entanto, está sendo feito um grande esforço para desenvolver fontes mais potentes de raios X. Uma destas instalações encontra-se em Campinas e é conhecido como Luz Síncroton.

Para um aprofundamento maior sobre os raios X, recomendamos a leitura do texto suplementar: A Descoberta dos Raios X. Este texto foi extraído do trabalho de dissertação de mestrado de Maxwell Roger Siqueira e apresenta um excelente caráter histórico acerca da descoberta dos raios X e o caminho seguido por seu descobridor.

Raios Gama

As ondas de maior energia do espectro eletromagnético são chamadas de raios gama. Os comprimentos de onda variam entre 0,1 nm e 1 pm¹. Os raios gama se originam dentro do núcleo atômico devido a transições nucleares, por exemplo, quando um elemento radioativo sofre uma desintegração. O processo de desintegração de um elemento radioativo será estudado no bloco sobre as radiações corpusculares.

Os raios gama são muito usados na medicina. Alguns tipos de diagnósticos envolvem a administração ao paciente de uma substância radioativa que emite raios gama. Se esta substância se acumula nos lugares onde o osso está se regenerando, por exemplo, os médicos podem acompanhar o processo observando os lugares onde são emitidos os raios gama. Os detectores de raios gama utilizados nesta forma específica de medicina nuclear são muito caros e volumosos. Os médicos também usam os raios gama para o tratamento de câncer. Neste tipo de tratamento, os raios gama são usados para matar as células cancerosas que não podem ser removidas cirurgicamente.

A cirurgia com raios gama está se revelando um método promissor para tratar certos problemas do cérebro, como tumores benignos e malignos e malformações dos vasos sanguíneos. O método utiliza um feixe de raios gama focalizados no tumor ou na malformação. Este feixe destrói as células dos tumores ou vasos malformados. Os raios gama são emitidos por uma fonte radioativa, geralmente de cobalto-60 ou césio-137. A cirurgia com raios gama é não-invasiva, indolor, não provoca hemorragia e quase sempre pode ser realizada com anestesia local.

Entretanto os raios gama também podem trazer sérias conseqüências quando usados de forma inadequada. Os efeitos que eles causaram sobre as centenas de pessoas que sobreviveram a acidentes como os de Goiânia em 1987 com o césio-137, Chernobyl na Ucrânia em 1986 com a explosão do reator nuclear e as bombas atômicas jogadas sobre as cidades de Hiroshima e Nagasaki em 1945, ainda nos trazem na lembrança, os efeitos devastadores dessa forma de radiação. Isso se deve ao fato de que estes raios por serem muito energéticos, conseguem atravessar o nosso corpo sem maiores dificuldades, conseguindo atingir as cadeias de DNA presentes no núcleo das células e alterando-as, causando muitas vezes as chamadas mutações genéticas tão exploradas em filmes e desenhos como "Hulk" e "Quarteto Fantástico". Também podem causar a manifestação de algum tipo de câncer.

Raios Cósmicos

Os raios cósmicos foram identificados no início do século XX em pesquisas sobre a condutividade elétrica em gases contidos em recipientes fechados. Nessa ocasião, percebeu-se que, mesmo com todas as devidas precauções, o ar contido num recipiente sempre exibia alguma condutividade elétrica resultante da ionização das moléculas dos gases componentes. Essa ionização e a conseqüente condutividade elétrica que dela se origina ocorriam em

¹ 1 picômetro (1 pm) = 0,000000000001 metro = 10⁻¹² m.

qualquer lugar, mesmo na superfície do mar, onde a radioatividade natural, emitida por componentes minerais da superfície terrestre, é desprezível. A única forma de reduzi-la, já que não era possível eliminá-la, era isolar o recipiente do exterior por grossas armaduras de chumbo. Devia existir, portanto, uma radiação natural mais penetrante que qualquer outra até então conhecida.

De 1911 a 1912, o físico austríaco Victor Hess (1883-1964) efetuou uma série de ascensões em balão a altitudes de até 5.000 m, realizando inúmeras pesquisas. Concluiu então que essa radiação se origina do espaço cósmico, daí o nome de raios cósmicos.

Hoje podemos definir os raios cósmicos como sendo radiações de altíssima energia, da ordem de de 100 a 1000 trilhões de elétron-volts, que chegam à Terra, vindas do espaço, cujas fontes estão na longínqua constelação Cygnus, situada a 37 mil anos-luz² da Terra.

Questões

- 1-) Que tipos de radiações o Sol emite? Que sensores naturais permitem que nós “enxerguemos” essas radiações?
- 2-) Para que serve um filtro solar? Somente as pessoas de pele clara é que devem usar filtro solar? Justifique.
- 3-) Qual das radiações UV é a mais perigosa? Por quê?
- 4-) Como são gerados os raios X? Como são gerados os raios gama? Qual o mais energético?
- 5-) Em desenhos e filmes, a radiação gama pôde transformar uma pessoa em um monstro. Isso ocorreu, por exemplo, no desenho do Hulk, onde o doutor David Banner foi bombardeado em um acidente com radiação gama. Pensando nos raios gama, isso de fato poderia acontecer? Justifique.

² Ano-luz: distância que a luz percorre em 1 ano; 1 ano-luz = $9,5 \cdot 10^{15}$ m.

Texto Suplementar: Vendo através da pele: a descoberta dos Raios X¹

Há pouco mais de 100 anos atrás, não era possível o médico visualizar o interior do corpo humano sem ter que abri-lo e isso dificultava muito o diagnóstico de doenças e fraturas nos pacientes. Mas em 1895 uma grande descoberta revolucionou a humanidade, principalmente a física e a medicina, nesse ano eram descobertos os **raios X**. Mas como isso ocorreu?

Na noite de 8 de novembro de 1895 o físico holandês Wilhelm Conrad Röntgen (1845-1923), seguindo as tendências de sua época, estava fazendo mais uma experiência com descargas elétricas nos tubos de raios catódicos (figura 1), estudando o fenômeno da luminescência produzida pelos raios no tubo. Quando notou que algo de diferente acontecia. Em sua sala de experiências totalmente às escuras, ele viu a folha de papel, usada como tela e tratada com uma substância química fluorescente (platinocianeto de bário), colocada a uma certa distância do tubo brilhar emitindo luz. Röntgen espantado, pode imaginar que alguma coisa devia ter atingido a tela para que ela reagisse dessa forma. Mas o tubo de raios catódicos estava coberto por uma cartolina negra e nenhuma luz ou nenhum raio catódico poderia ter escapado dali.

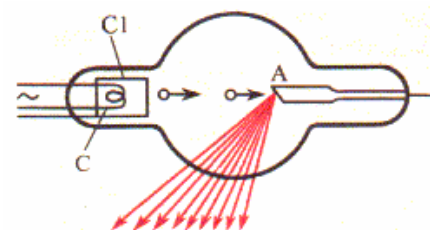


Figura 1

Surpreso e perplexo com o fenômeno, ele decidiu pesquisá-lo mais a fundo. Virou a tela, de modo a que o lado sem a substância fluorescente ficasse voltado para o tubo; mesmo assim, a tela continuava a brilhar. Ele então afastou a tela para mais longe e o brilho persistiu. Depois, colocou diversos objetos (uma camada de papelão, pedaços de madeira, um livro de 1000 páginas e até finas placas metálicas) entre o tubo e a tela e todos pareceram transparentes. Quando sua mão escorregou em frente à válvula ele viu os ossos na tela (figura 2). Descobriu “um novo tipo de raio”, conforme ele mesmo explicou em sua primeira publicação.

Röntgen havia ficado tão perplexo com sua descoberta, que teve que se convencer primeiro antes de falar com qualquer pessoa sobre sua descoberta do novo tipo de raio. Trabalhou sozinho durante sete semanas nessa tentativa, quando finalmente estava convencido, registrou sua descoberta (imagem da mão) em chapas fotográficas, e só então passou a ter certeza.



Figura 2

Em 1º de janeiro de 1896, ele distribuiu o relatório preliminar de sua descoberta, o que causou grande agitação, mas sua descoberta não podia ser refutada facilmente, pois havia fotografias dos raios X de suas mãos anexadas nele. No decorrer do mês, a notícia havia se espalhado por todo o mundo. Pode-se imaginar o deslumbramento em relação a esses raios aos quais tudo se tornava transparente e por meio dos quais todos podiam ver seus próprios ossos. Pode-se ver praticamente os dedos sem os músculos, mas com anéis, como se podia ver também uma bala alojada no corpo. As conseqüências para a medicina foram imediatamente percebidas. Imagine você nessa época,

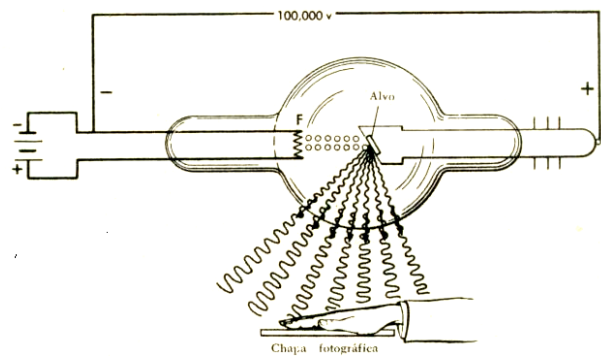
¹ Texto original do trabalho de mestrado de Maxwell Roger Siqueira.

podendo ver os seus ossos, sem qualquer corte ou perfuração. Somente assim terá idéia da revolução causada com essa descoberta.

O trabalho de Röntgen sobre os raios X foi perfeito à luz do conhecimento existente em sua época. Mas ele, não conseguiu entender a natureza dos raios X, ou seja, ele não conseguiu comprovar que se tratava de uma radiação eletromagnética. No entanto, ele conseguiu mostrar que os raios podiam atravessar materiais sólidos, podiam ionizar o ar, não sofriam reflexão no vidro e não eram desviados por campos magnéticos, mas não conseguiu observar os fenômenos da refração e da interferência normalmente associados a ondas (ondas eletromagnéticas, neste caso) por isso ficou o nome enigmático de raios X (X é o símbolo pra nomear o desconhecido)

Mais tarde sua natureza foi desvendada, mostrando que eles eram conseqüência da colisão dos raios catódicos com a parede do tubo e, por terem comprimento de onda muito pequeno, Röntgen não podia observar os fenômenos necessários para comprovar que os raios-X são ondas eletromagnéticas (radiação eletromagnética) de alta freqüência.

Uma ilustração do equipamento de Röntgen é mostrado ao lado. Entre os catodos do tubo de vidro, os raios catódicos são inicialmente acelerados, com voltagem de até 100 KV (100.000 V) e, em seguida, são bruscadamente freados (há uma colisão dos raios e o alvo). Por causa disso, ocorre uma emissão de radiação eletromagnética com um comprimento de onda muito pequeno (da ordem de 10^{-12} m), que corresponde a radiações de alta freqüência. É assim que são produzidos os raios X.



As aplicações dos raios X são as mais diversas possíveis. Elas vão desde “simples” obtenção de chapas fotográficas (radiografias) para detectar uma fratura, uma inflamação e uma cárie até a determinação de uma certa porcentagem de uma substância em um composto, através da difração dos raios X, como é o caso da quantidade de carbono existente no aço. Essa determinação é importante, pois permite que o aço fique mais maleável e conseqüentemente consegue-se produzir chapas mais finas.

Atualmente, os raios X também são utilizados na área de segurança, como é o caso dos aeroportos. Com eles, é possível “ver” dentro das malas e constatar se existem objetos metálicos e até mesmo se as pessoas carregam algum tipo de arma (figura 3). Sua utilização também pode ser vista na fronteira dos E.U.A com o México, onde a polícia o utiliza para vasculhar o interior dos veículos (figura 4).



Figura 3



Figura 4

Questões

1-) Nas radiografias, os contornos dos ossos aparecem bastante claros, sobre o fundo escuro, bem como o contorno de objetos e pessoas (Fig. 3 e 4). Analisando o processo de absorção dos raios X, estas regiões mais claras, recebem mais ou menos raios X do que as outras? Explique sua resposta.

2-) Que semelhanças e diferenças têm os raios X e a luz visível?

3-) Como você imagina os diagnósticos médicos se os raios X não tivessem sido descobertos? O que os médicos fariam para perceber se você tem uma infecção ou um osso rachado?

Física das Radiações: Uma Proposta para o Ensino Médio

Atividade 1 - Questionário Inicial

Objetivo: Estimular a discussão sobre a Física das Radiações

Esta atividade tem o intuito de desafiar seus conhecimentos e concepções acerca dos fundamentos da Física das Radiações. O questionário traz afirmações que você pode concordar (sim), pode discordar (não) ou pode não saber nada sobre a afirmação (não sei) e está desenhado para despertar o seu interesse em aprender mais sobre este campo.

Não temos preocupação em testar os seus conhecimentos sobre o assunto. Queremos fazer somente um levantamento do que é conhecido por você no início e no final do curso.

Nome: _____ **Série:** _____ **Turma:** _____ **Data:** ___/___/___

Afirmações	Sim	Não	Não Sei
1. Uma onda eletromagnética transporta energia através de um meio material.			
2. As radiações podem ser classificadas como radiações corpusculares e radiações eletromagnéticas.			
3. Podemos organizar a radiação em dois grupos: a radiação corpuscular e a radiação eletromagnética.			
4. Raios X e raios gama são exemplos de radiação eletromagnética.			
5. Partículas alfa e partículas beta são exemplos de radiação corpuscular.			
6. A luz é uma onda eletromagnética formada de partículas sem massa de repouso e sem carga, chamadas de fótons.			
7. Os menores componentes do núcleo de um átomo são os prótons e os elétrons.			
8. Os raios X podem ser gerados quando elétrons colidem com um alvo metálico e são desacelerados.			
9. A tela da televisão, assim como o Sol, emitem radiação eletromagnética.			
10. Partículas alfa e beta são radiações corpusculares emitidas pelo núcleo do átomo.			
11. As microondas geradas por um aparelho de microondas afetam preferencialmente materiais que contenham moléculas de água.			
12. Materiais radioativos emitem radiação, pois apresentam seus núcleos instáveis.			
13. Os raios gama são os raios mais energéticos que existem no espectro eletromagnético.			
14. A radiação infravermelha pode ser detectada pela nossa pele, mas não pelos nossos olhos.			
15. O Sol emite grande quantidade de raios ultravioleta que são em boa parte, filtrados pela camada de ozônio.			

Física das Radiações: Uma Proposta para o Ensino Médio

16. Os raios gama são muito utilizados em Medicina no tratamento de câncer.			
17. O Brasil já tem em sua história o registro de acidentes radioativos.			
18. O Brasil possui usinas nucleares em funcionamento e que são responsáveis pela geração de eletricidade.			
19. As radiações podem ser empregadas na medicina diagnóstica.			

Física das Radiações: Uma Proposta para o Ensino Médio

Atividade 2 - Análise da Chama de uma Vela

Objetivo: Analisar a chama de uma vela e identificar as suas diferentes regiões.

Esta atividade introduz o estudo das ondas eletromagnéticas à partir da identificação das diferentes colorações presentes na chama de uma vela.

Para esta atividade os alunos deverão formar grupos com 4 integrantes e formularem sínteses das discussões, baseando-se nas orientações abaixo.

Material

- Vela.
- Papel Sulfite A4.
- Lápis de cor.

Orientações

1-) Acender a vela e procurar representar com lápis de cor em um papel, as diferentes colorações que nela apareçam.

2-) Discutir com os colegas do grupo se existe alguma relação entre a cor de cada região, temperatura e energia. Para facilitar este processo pode-se montar uma tabela como a do modelo abaixo, onde pode-se estimar a temperatura e a energia em baixa, média ou alta, conforme a cor identificada.

Cor da chama identificada	Temperatura	Energia

3-) A partir disso, tentar estabelecer em que parte da vela temos maior energia e a menor energia.

4-) Escrever uma pequena conclusão referente aos resultados obtidos.

Física das Radiações: Uma Proposta para o Ensino Médio

Atividade 3 - Transmissor de Ondas Eletromagnéticas

Objetivo: Realizar a montagem de um transmissor de ondas eletromagnéticas, explorando a forma de geração da onda.

Esta atividade explora a geração de uma onda eletromagnética que pode ser detectada facilmente em um rádio do tipo AM.

Para esta atividade os alunos deverão formar grupos com 4 integrantes e formularem sínteses das discussões, baseando-se nas orientações abaixo.

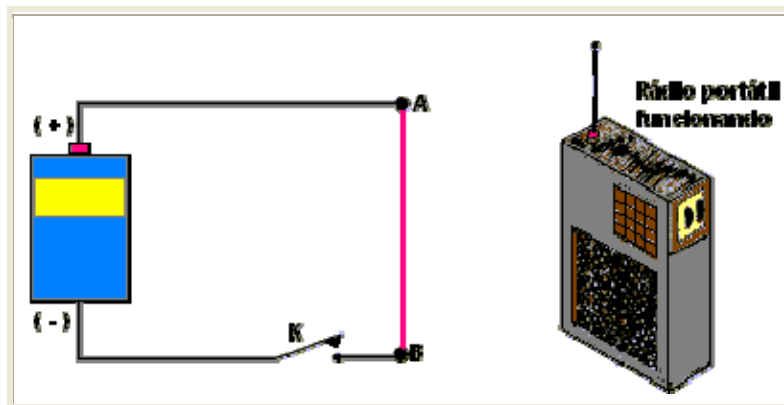
Materiais:

- Pedaco de fio metálico.
- Pilha grande.
- Rádio AM.

Orientações

1-) Ligar o rádio AM e sintonizar em uma frequência não usada.

2-) Pegar um pedaco de fio metálico e ligá-lo a uma pilha, fazendo isso próximo ao rádio, conforme o esquema abaixo.



3-) Perceber o que acontece no rádio quando o fio é ligado à pilha.

4-) Escrever uma pequena conclusão referente aos resultados obtidos.

Física das Radiações: Uma Proposta para o Ensino Médio

Atividade 4 - Dispersão da Luz

Objetivo: Realizar com o auxílio de um prisma ou CD, a dispersão da luz branca de uma lâmpada incandescente ou fluorescente.

Esta atividade explora a dispersão da luz branca de uma lâmpada incandescente ou fluorescente em seu espectro.

Para esta atividade os alunos deverão formar grupos com 4 integrantes e formularem sínteses das discussões, baseando-se nas orientações abaixo.

Materiais:

- Lâmpada incandescente ou lâmpada fluorescente.
- Prisma ou CD.
- Lápis de cor.

Orientações

- 1-) Aponte o prisma ou CD para a luz da lâmpada e veja o que aparece.
- 2-) Desenhe em uma folha de papel, usando lápis de cor, o que você observou.
- 3-) O que te lembra a figura que você observou?
- 4-) Discuta em grupo e elabore uma resposta que justifique o que aconteceu.
- 5-) Caso você apontasse o prisma ou CD para a luz do Sol, o que você acha que iria encontrar? Por quê?
- 6-) Escrever uma pequena conclusão referente aos resultados obtidos.

Física das Radiações: Uma Proposta para o Ensino Médio

Atividade 5 - Analisando Radiografias

Objetivo: Estimular a discussão sobre os raios X, sua produção e a produção das radiografias.

Esta atividade servirá para introdução ao estudo dos raios X, sendo uma atividade que provavelmente já tenha desafiado a curiosidade de alguns.

Formem grupos com 4 alunos e formule sínteses das discussões, baseando-se nas orientações abaixo.

Materiais:

- Radiografias diversas.

Orientações

1-) Discuta com seus colegas, como se realiza um exame de raios X: Quanto tempo demora a realização do exame? Como é a sala em que fica o equipamento? É necessário tirar a roupa, ao se fazer um exame de raios X? Há algum barulho característico, ao se realizar o exame? Alguém acompanha o paciente, durante o exame, na mesma sala? Como são as paredes da sala? etc.

2-) Observe as radiografias apresentadas por seu professor e identifique as partes do corpo correspondentes às regiões claras e escuras nas radiografias, as doenças, as fraturas, os cistos, o membro radiografado, se há algum corpo estranho, a faixa cronológica da pessoa radiografada, o sexo, etc.

Física das Radiações: Uma Proposta para o Ensino Médio

Atividade extra - Grade do Microondas

Objetivo: Verificar a existência de uma grade na porta do microondas.

Esta atividade explora a necessidade da grade na porta do aparelho de microondas.

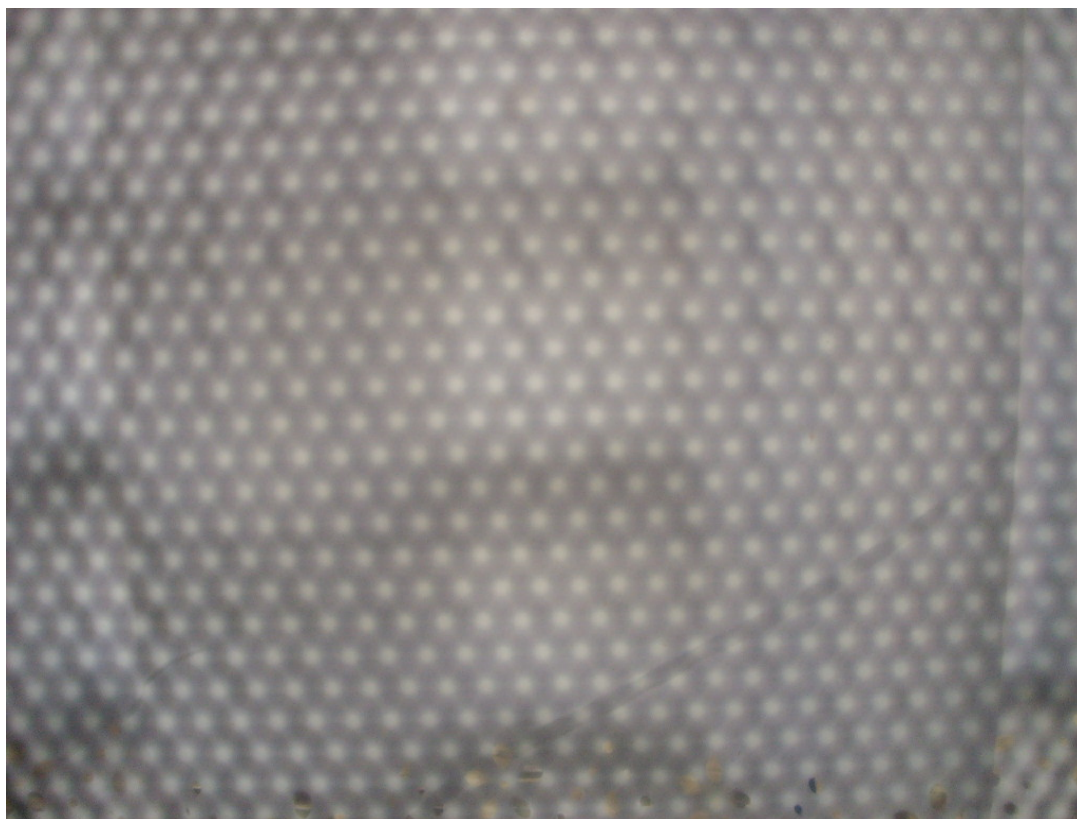
Para esta atividade os alunos deverão formar grupos com 4 integrantes e formularem sínteses das discussões, baseando-se nas orientações abaixo.

Materiais:

- Foto da grade da porta de um aparelho de microondas.

Orientações

1-) Observar a foto abaixo. Ela mostra a grade que encontramos na porta de todo aparelho de microondas.



2-) Discutir em grupo a razão desta grade existir na porta do aparelho.

3-) Seria possível estimar o tamanho dos furos nesta grade? Como?

4-) Escrever uma pequena conclusão referente aos resultados obtidos.

Atividade extra - Receptor de Ondas Eletromagnéticas

Objetivo: Realizar a montagem de um rádio de galena e verificar a captação de ondas de rádio.

Esta atividade explora a montagem de um rádio de galena que é um rádio simples, que utiliza poucos componentes, mas que permite a captação de ondas de rádio na faixa do AM.

Para esta atividade os alunos deverão formar grupos com 4 integrantes e formularem sínteses das discussões, baseando-se nas orientações abaixo.

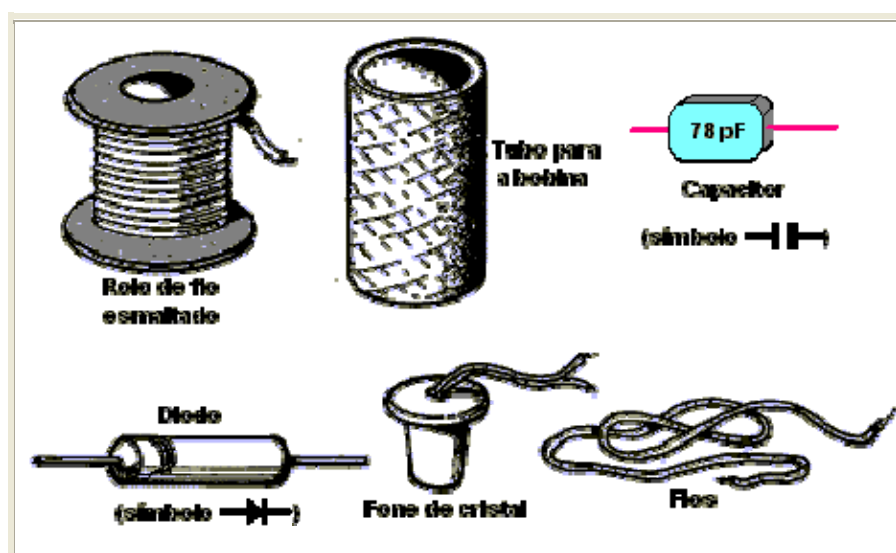
Materiais:

- 20 metros de fio de cobre (esmaltado), número 24.
- 20 metros de fio de cobre (tipo cabinho), número 22.
- Tubo de PVC de 2,5 a 3 cm.
- 1 capacitor de 78 pF.
- 1 diodo de germânio modelo 1N34.
- 1 fone de cristal.

Orientações

1-) Primeiramente deve-se seguir os passos abaixo para confecção do rádio.

a) Os elementos necessários para a montagem de um rádio galena (segundo o circuito da figura anterior) são simples e fáceis de serem encontrados nas lojas especializadas. São basicamente os seguintes:



a1. Fio de cobre esmaltado para o enrolamento da bobina. Vamos precisar de 20 metros de fio # 24 (lojas de enrolamentos e consertos de motores);

a2. Um tubo de PVC, ou mesmo, de papelão duro, para enrolar a bobina. Para se ter uma idéia grosseira desse tubo, basta dizer, que é possível substituí-lo pelo tubo de papelão no qual vem enrolando o papel higiênico. Esse tubo de material bom isolante elétrico tem comprimento de 10 a 12 cm e diâmetro entre 2,5 e 3,0 cm.

a3. Um capacitor fixo. Seu valor é algo como 78 pF (leia 78 picofarad), disco ou cerâmico.

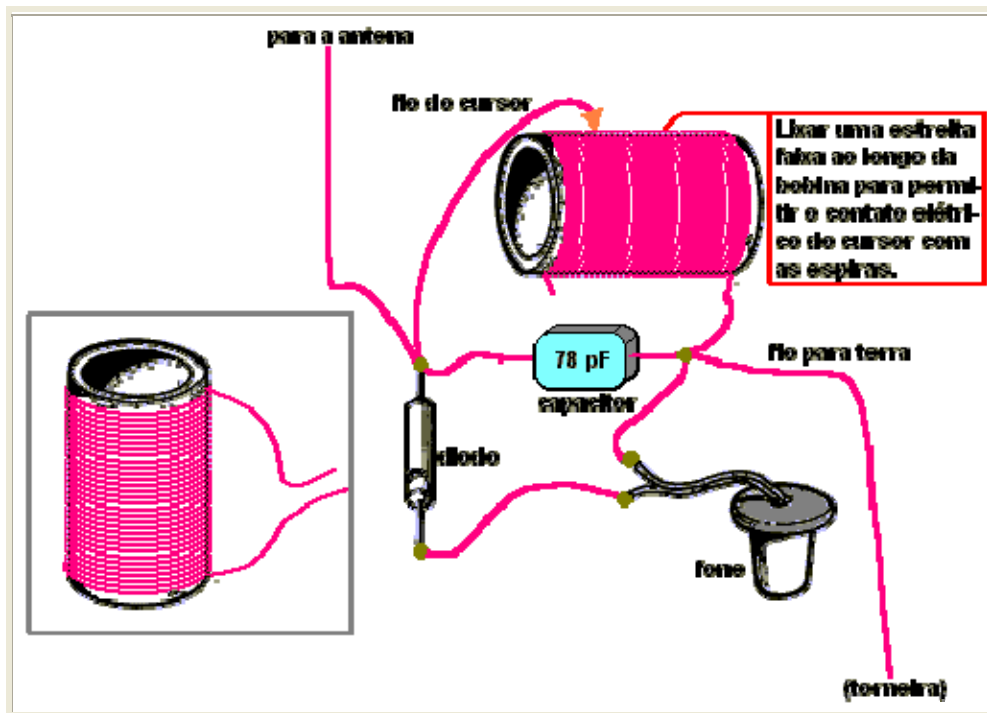
a4. Um diodo de germânio para RF. Serve o tipo OA-90 ou equivalente (1N34 etc.)

a5. Um fone de ouvido (cristal). Obtido de antigos rádios à pilha (os atuais fones de 8 ohms não servem!).

a6. Fios longos para serem usados como antena e como “Fio-terra”. Uns 20 metros de cabinho # 22 devem ser suficientes.

b) É claro, necessitamos das especificações técnicas de cada um destes elementos, pois do contrário, nenhuma loja poderá nos fornecer o material adequado. Damos estas especificações, acima, junto com a lista dos materiais. É possível que você não entenda exatamente o que elas significam; mas, pode estar certo de que, o homem da loja, ao ler a especificação, saberá, com exatidão, o que está sendo pedido.

c) Em linhas gerais, a montagem de um rádio galena pode ser resumida nos itens abaixo.



c1. Enrolar o fio esmaltado #24, no tubo, para obter uma bobina com núcleo de ar. Deixar 15 cm livre em cada extremidade e lixar essas extremidades para retirar o esmalte protetor (detalhe acima à esquerda).

c2. A seguir, os diferentes elementos deverão ser ligados como mostra a figura acima. Seu professor poderá auxiliá-lo nessa etapa.

Física das Radiações: Uma Proposta para o Ensino Médio

2-) Após a montagem, testar o rádio ligando o fio terra a torneira o que facilita a captação das ondas de rádio.

3-) Tentar ouvir alguma captação de onda através do fone.

4-) Pesquisar em casa e trazer na próxima aula o funcionamento dos seguintes componentes do rádio: a bobina, o diodo e o capacitor. De posse dessas informações, tente explicar o funcionamento do rádio de Galena.

5-) Escrever um pequeno relatório referente aos resultados obtidos.

Atividade extra - Vendo o Infravermelho

Objetivo: Observar o aquecimento de um ferro de passar elétrico e verificar o tipo de radiação emitida por ele.

Esta atividade explora o aquecimento de um ferro de passar elétrico e tenta trazer para a discussão a forma de radiação presente nesta situação.

Para esta atividade os alunos deverão formar grupos com 4 integrantes e formularem sínteses das discussões, baseando-se nas orientações abaixo.

Materiais:

- Ferro de passar elétrico.

Orientações

1-) Em uma sala escura, ligar um ferro de passar elétrico e observar o aquecimento de sua base de metal.

2-) Para cada temperatura, registrar a observação em uma tabela semelhante a seguinte:

Temperatura ajustada para o ferro elétrico	Observação feita quando a cor da base de metal do ferro elétrico

3-) Em grupo, discutir para qual temperatura ajustada foi possível observar algum efeito.

4-) É possível dizer que tipo de radiação está presente neste caso?

5-) Escrever uma pequena conclusão referente aos resultados obtidos.

Atividade extra - Teste de Daltonismo

Objetivo: Realizar o teste de daltonismo e verificar se a pessoa apresenta este problema genético.

Esta atividade explora o uso de imagens em um teste conhecido como teste de Ishihara para identificar o daltonismo em uma pessoa.

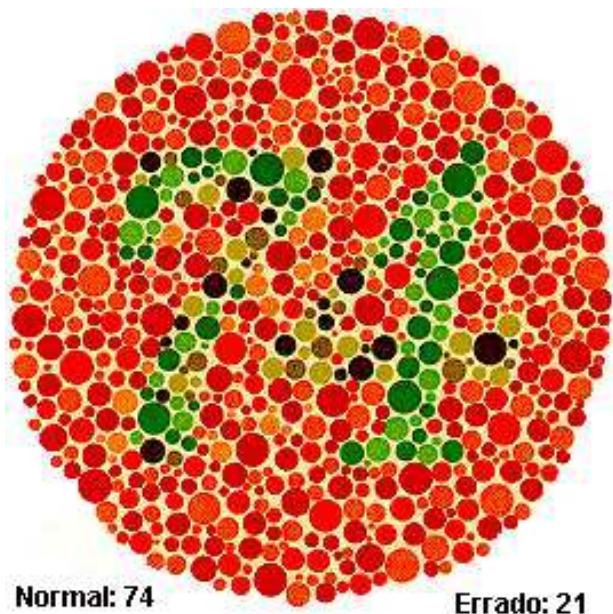
Para esta atividade os alunos deverão formar grupos com 4 integrantes e formularem sínteses das discussões, baseando-se nas orientações abaixo.

Materiais:

- Imagens (teste de Ishihara).

Orientações

1-) Você é daltônico? Não sabe? Para detectar o daltonismo, usa-se o teste de Ishihara, em que pontilhados coloridos formam determinados números ou letras. Na figura abaixo, existe um número. Que número é este? Uma pessoa normal consegue enxergá-lo sem maiores problemas!



QUADRO SINTÉTICO

Bloco 2 - Radiações Corpusculares

	ATIVIDADE(S)	MOMENTOS	TEMPO
Bloco 2 - Radiações Corpusculares	7. Visualizando o átomo e a sua estrutura.	Atividade 6 - Cortando papel para chegar ao próton e as dimensões dos corpos em potência de dez. (25 min)	2 AULAS
		Explicações sobre representações de dimensões em potência de dez. (25 min)	
		Sistematização, leitura e resposta às questões do texto: "Caracterizando o Átomo". (40 min)	
	8. Estabilidade Nuclear.	Atividade 7 - A Tabela Periódica e seus elementos radioativos. (20 min)	1 AULA
		Discussão sobre a estabilidade nuclear. (10 min)	
		Sistematização, leitura e respostas às perguntas do texto "A interação Nuclear e a Estabilidade do Núcleo". (15 min)	
	9. Vídeo: "A descoberta da radioatividade" e visão panorâmica do conteúdo trabalhado.	Vídeo: "A descoberta da radioatividade". (10 min)	2 AULAS
		Discussão sobre os tipos de decaimentos radioativos. (20 min)	
		Sistematização e respostas às perguntas do texto "Compreendendo os Decaimentos Radioativos". (15 min)	
Avaliação referente ao bloco 2. (45 min)			

BLOCO 2 - RADIAÇÕES CORPUSCULARES

Após conhecermos as radiações eletromagnéticas, iniciamos agora o estudo e compreensão das radiações corpusculares, isto é, das radiações constituídas por partículas elementares. Para isso falaremos sobre a estrutura do átomo, a interação forte que ocorre no núcleo atômico e do fenômeno da Radioatividade.

1. Objetivos gerais:

- ✓ Estimular a curiosidade para o estudo das radiações corpusculares.
- ✓ Conhecer e compreender a estrutura do átomo.
- ✓ Compreender a interação nuclear e a estabilidade do núcleo.
- ✓ Entender a natureza das radiações emitidas por elementos radioativos e os decaimentos radioativos.

2. Conteúdo Físico

- ✓ Radiações corpusculares.
- ✓ Estrutura do átomo.
- ✓ Interação nuclear forte.
- ✓ Radioatividade.

3. Leitura complementar

As leituras indicadas servem para um conhecimento mais profundo e detalhado dos conceitos tratados neste bloco. Assim, caso seja possível, leia algumas dessas referências antes de iniciar as aulas.

- ✓ ALVARENGA, Beatriz; MÁXIMO, Antônio. **Física**. 2ª ed., 1ª impressão, São Paulo: Editora Scipione, 2007.
- ✓ CARUSO, Francisco; SANTORO, Alberto. **Do átomo Grego à Física das interações fundamentais**. 2ª ed. Rio de Janeiro: AIAFEX, 2000.
- ✓ GASPAR, Alberto. **Eletromagnetismo e Física Moderna**. 1ª ed., 2ª impressão, São Paulo: Editora Ática, 2001.
- ✓ HEWITT, Paul. **Física Conceitual**. 9ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2002.
- ✓ SEGRÉ, E. **Dos raios X aos Quarks. Físicos Modernos e suas Descobertas**. Universidade de Brasília, Brasília, 1982.
- ✓ SERWAY, Raymond A.; JEWETT, John W. **Princípios de Física: Óptica e Física Moderna**. 3ª ed. Rio de Janeiro: Thomson, 2005.
- ✓ TIPLER, Paul A.; LLEWELLYN, Ralph A. **Física Moderna**. 3ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2001.

4. Quadro Sintético

ATIVIDADES	MOMENTOS	COMENTÁRIOS	Tempo
1. Visualizando o átomo e a sua estrutura.	Atividade 6 - Cortando papel para chegar ao próton e as dimensões dos corpos em potência de dez.	Atividade experimental sobre as dimensões do átomo e de seus constituintes.	2 aulas
	Explicações sobre representações de dimensões em potência de dez.	Navegação no site do CERN (Powers of Ten).	
	Leitura e sistematização geral sobre ordem de grandeza e notação científica.	Texto: "Caracterizando o Átomo".	
2. Estabilidade Nuclear.	Atividade 7 - A Tabela Periódica e seus elementos radioativos.	Atividade com o uso da Tabela Periódica para identificação dos elementos radioativos.	1 aula
	Sistematização, leitura e respostas às perguntas do texto.	Texto: "A interação Nuclear e a Estabilidade do Núcleo".	
3. Vídeo: "A descoberta da radioatividade".	Vídeo: "A descoberta da radioatividade".	Fornece a construção histórica dos trabalhos que levaram até a descoberta da Radioatividade.	1 aula
	Sistematização, leitura e respostas às perguntas do texto.	Texto: "Compreendendo os Decaimentos Radioativos".	
4. Avaliação.	Aplicação de uma avaliação sobre o conteúdo trabalhado no bloco 2.		1 aula

5. Descrição aula-a-aula

AULA 9

Tema: Notação científica, ordem de grandeza e dimensões do mundo microscópico.

Objetivo: Trabalhar de forma mais detalhada com os alunos, as dimensões do mundo microscópico, que é o objeto de estudo da proposta. Fazer com que eles tenham uma idéia inicial do “mundo de pequenas dimensões” do átomo e suas partículas. Trabalhar matematicamente com alguns números e grandezas usando a notação científica e a definição de ordem de grandeza.

Conteúdo Físico: Dimensões do mundo microscópico (do átomo), ordem de grandeza e notação científica.

Recursos Instrucionais

- Roteiro da atividade 6 (1ª parte);
- Aula expositiva;
- Discussão entre professor e alunos;
- Folhas de papel A4, tesouras e réguas.

Motivação

Curiosidade sobre o tamanho limite que conseguimos enxergar.

Momentos

1º Momento	Atividade 6 (1ª parte): “Visualizando o muito pequeno” - cortando papel para chegar a prótons. Essa atividade pode ser realizada em grupo. Alguns grupos podem utilizar tesouras para cortar o papel enquanto outros podem usar réguas conforme o roteiro. Destacar o número de cortes feitos por cada grupo e as medidas do menor pedaço de papel obtido.
	Tempo: ± 25 min

2º Momento	Leitura do texto: “Ordem de grandeza e potência de dez”, e após explicação sobre o que é ordem de grandeza e notação científica e a utilização da potência de dez em ambos os casos, os alunos podem, em grupo, começar a discutir e resolver os exercícios propostos.
	Tempo: ± 20 min

Sugestões: Se o professor achar necessário e caso tenha tempo disponível, pode trabalhar mais exercícios sobre notação científica e ordem de grandeza.

Dinâmica da aula

O professor deve inicialmente destacar que o universo das partículas que estamos adentrando é de dimensões muito pequenas. Destacando também a importância de trabalharmos numericamente com essas dimensões. Em seguida deve-se iniciar a 1ª parte da atividade “Visualizando o muito pequeno” pedindo para que formem grupos, cortem o papel e anotem os números de cortes feitos e a medida do menor pedaço obtido. Podem inclusive anotar na lousa os valores obtidos para o número de cortes e a menor medida obtida para comparação e discussão entre os grupos.

Após esta atividade o professor deve explicar a noção de ordem de grandeza e notação científica que serão extremamente úteis para a representação numérica já citada.

Os alunos recebem o roteiro e trabalham com os exercícios propostos.

AULA 10

Tema: Notação científica, ordem de grandeza e dimensões do mundo microscópico.

Objetivo: Trabalhar com os alunos as dimensões do mundo microscópico, comparando com as dimensões com as quais eles estejam mais acostumados.

Conteúdo Físico: Dimensões do mundo microscópico do átomo.

Recursos Instrucionais

- Roteiro da atividade 6 (2ª parte);
- Apresentação de slides;
- Aula expositiva;
- Discussão entre professor e aluno baseado nos textos: “Conhecendo as Radiações” e “Espectro Eletromagnético (Introdução)”.

Motivação: Curiosidade sobre o tamanho do átomo e relação com o tamanho dos objetos que nos cercam.

Momentos

1º Momento	Realização da atividade 6 (2ª parte): “Tamanho dos corpos, através da potência de dez” Os alunos lêem as informações do roteiro e respondem às questões.
	Tempo: ± 20 min

2º Momento	Leitura do texto: “Caracterizando o Átomo”, e após explicação sobre as características do átomo, os alunos em grupo, começam a discutir e resolver os exercícios propostos.
	Tempo: ± 25 min

Sugestões: Se esta aula não for no mesmo dia da anterior, o professor deve relembrar rapidamente as atividades sobre notação científica e ordem de grandeza. Caso o professor achar necessário e caso tenha tempo disponível, pode trabalhar mais exercícios sobre notação científica e potência de dez. Se o professor não tiver como mostrar os slides através do site do CERN (powers of ten), pode preparar uma apresentação utilizando o power point ou ainda retro-projetor. Se for utilizar a sala de informática, o professor já deve iniciar a aula nela para não perder tempo com a organização dos alunos. Caso o professor queira valorizar a utilização da sala de informática, pode dividir a turma em duas partes. Enquanto uma dessas partes realiza a atividade do texto na sala de aula, os demais exploram o site do CERN na sala de informática.

Dinâmica da aula

Retomada da atividade “Ordem de grandeza e potência dez”, na correção o professor deve destacar sempre as grandezas trabalhadas em relação às que estamos habituados. Pedir para que os alunos leiam as instruções da atividade “Tamanho dos corpos através da potência de dez”, e respondam com base nos slides, a questão.

AULA 11

Tema: Estabilidade nuclear.

Objetivo: Possibilitar a compreensão da estabilidade do núcleo atômico.

Conteúdo Físico: Interação forte.

Recursos Instrucionais:

- Roteiro da atividade 7;
- Tabela Periódica;
- Aula expositiva;
- Discussão entre professor e aluno baseado nos textos: “A Interação Nuclear e a Estabilidade do Núcleo”.

Motivação: Entender de maneira clara como se dá a estabilidade do núcleo atômico, embora ocorra a força de repulsão Coulombiana entre prótons.

Momentos:

1º Momento	Propor a atividade 7: “A tabela periódica e seus elementos radioativos”. O professor fornece para cada aluno uma tabela periódica e pede para que os alunos procurem identificar elementos que são radioativos. Os alunos podem se basear nas legendas que a tabela periódica apresenta para identificarem os elementos radiativos. Os alunos ainda podem identificar o número de massa, número atômico e número de nêutrons dos elementos reconhecidos como radioativos, procurando alguma relação entre essas informações e o fato do elemento ser radioativo.
	Tempo: ± 20 min

2º Momento	Sistematização da atividade e discussão sobre as e estabilidade nuclear com base no texto: “A Interação Nuclear e a Estabilidade do Núcleo”.
	Tempo: ± 25 min

Sugestão: O professor deve relembrar com os alunos as informações que caracterizam um átomo e seus significados, como o número de massa e número atômico. Em seguida, relembrar com os alunos como a tabela periódica está organizada (ordem crescente de número atômico) e pedir que eles sigam as legendas presentes na tabela para identificarem aqueles elementos que são radioativos, além daqueles elementos que os alunos já conhecem como tendo esta característica.

Dinâmica da Aula: Iniciar a discussão falando sobre o núcleo atômico, seus constituintes, o seu aspecto esférico e de dimensões da ordem de 10^{-15} m. Questionar os alunos quanto à estabilidade do núcleo e como ela é possível, já que existem para átomos com dois ou mais prótons, a força de repulsão Coulombiana. Uma pergunta que poderia ser feita seria a seguinte: Por que o núcleo do átomo não se desfaz? Dar a oportunidade de os alunos responderem à questão e intermediar a discussão de forma que se possa introduzir a nova interação entre as partículas do núcleo, no caso, a interação forte. Relembrar o significado de número de massa e número atômico, e como se determina o número de nêutrons com essas informações. Mostrar que para um aumento do numero de prótons do núcleo deve haver um aumento do número de nêutrons para compensar a repulsão entre os prótons, até o limite onde a interação forte consegue manter a estabilidade nuclear que ocorre para elementos com número atômico até de 83, pois após este número, os elementos já são radioativos. Finalmente, peça para que eles respondam às questões propostas no texto.

AULA 12

Tema: Decaimentos radioativos.

Objetivo: Compreender os tipos de decaimentos radioativos e as leis que explicam esses decaimentos.

Conteúdo Físico: Emissões alfa, beta e gama.

Recursos Instrucionais:

- Vídeo: A Descoberta da radioatividade;
- Discussão entre professor e aluno baseado nos textos: “Compreendendo os Decaimentos Radioativos”;
- Aula expositiva.

Motivação:

Momentos:

1º Momento	Vídeo: A Descoberta da Radioatividade.
	Tempo: ± 10 min

2º Momento	Sistematizar as idéias apresentadas no vídeo, como por exemplo, a razão de alguns elementos serem classificados de radioativos. Enfatizar os tipos de radiações corpusculares que o núcleo atômico pode emitir. Apresentar a diferença das radiações quanto ao poder de penetração, massa e carga elétrica, quando comparadas entre si. Sistematização da discussão sobre os decaimentos radioativos com base no texto: “Compreendendo os Decaimentos Radioativos”.
	Tempo: ± 35 min

Sugestão: O professor pode usar o texto suplementar: “A Descoberta da Radioatividade e das Radiações”, caso não tenha como exibir o vídeo para introduzir o assunto. A apresentação do vídeo ajuda bastante na otimização do tempo da aula e na sistematização das idéias sobre o assunto.

Dinâmica da Aula: Inicia-se a aula com o vídeo sobre a descoberta da radioatividade. Em seguida faça uma sistematização das idéias apresentadas no vídeo. Assim é possível fazer uma discussão final, revisando os tipos de decaimentos radioativos e as leis que explicam essas emissões. O professor deve tomar o cuidado de diferenciar os tipos de radiação beta (beta mais e beta menos), apresentando as novas partículas participantes desses decaimentos, como o neutrino e o pósitron. Como o pósitron é a antipartícula do elétron, caso haja tempo, pode-se pedir uma pesquisa sobre as antipartículas conhecidas (que são muitas) e suas descobertas.

AULA 13

Tema: Radiações corpusculares.

Objetivo: Verificação da aprendizagem.

Recursos Instrucionais:

- Avaliação escrita.

Momentos:

1º Momento	Avaliação sobre os assuntos trabalhados no bloco 2.
	Tempo: ± 45 min

Observação: Caso o professor tenha a disponibilidade de duas aulas em seqüência pode iniciar a avaliação um pouco antes de terminar 14ª aula disponibilizando mais tempo de resolução para os alunos.

Dinâmica da Aula: entrega das avaliações individuais sobre o bloco 2.

Radiações Corpusculares

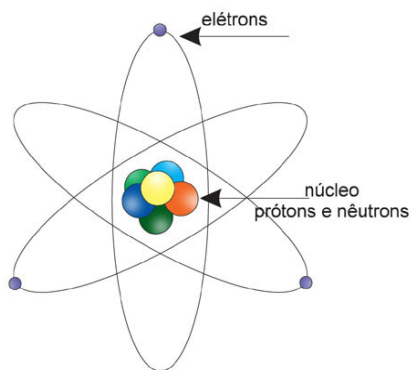
Certamente você já deve ter ouvido em algum momento da sua vida, termos como radioatividade, energia nuclear, bomba atômica, acidente nuclear, e outros termos que mais uma vez nos remetem as radiações e seus efeitos. Quase sempre esses termos são associados à destruição, dor e insegurança. Até hoje, quando mencionamos Guerra Fria, automaticamente pensamos em uma possível guerra nuclear que aconteceria entre as superpotências da década de 80, Estados Unidos e União Soviética, enquanto o restante do mundo ficava em desespero tentando imaginar o que poderia acontecer caso este fato se consumasse.

Em outros momentos da história já nos deparamos com as radiações e o seu emprego não tão benéfico. Podemos lembrar da Segunda Grande Guerra Mundial, onde o uso de bombas atômicas deixaram a humanidade em pânico com o enorme poder de destruição das bombas que foram jogadas pelos americanos sobre as cidades japonesas de Hiroshima e Nagasaki. Temos ainda, os acidentes que ocorreram em Goiânia (bomba de césio 137) e Chernobyl (explosão do reator nuclear), que trouxeram para os jornais e noticiários os perigos da chamada radiação.

Entretanto, o uso das radiações também trouxe melhorias e esperanças para muitas pessoas. Hoje o emprego das radiações é muito grande, como por exemplo, no tratamento do câncer, na geração de eletricidade, no diagnóstico de doenças, na datação de achados arqueológicos, na esterilização de materiais, na agricultura, entre muitas outras aplicações.

Desta forma, após termos conhecido as radiações eletromagnéticas, suas características e aplicações, estudaremos agora as radiações corpusculares, ou seja, aquelas que são formadas por partículas elementares ou núcleos atômicos. Assim, o estudo do átomo e em particular, o núcleo atômico, será uma ferramenta muito útil para o entendimento dessa nova forma de radiação.

A Estrutura do Átomo



Modelo planetário do átomo

Desde os gregos até os modelos mais atuais, o átomo foi por muito tempo (e ainda é) um tema de pesquisa de muitos cientistas. Cada um deles, utilizando-se de teorias e/ou métodos experimentais, criou um modelo para representá-lo. Um modelo que geralmente pode ser usado para representar o átomo é aquele que se assemelha ao sistema solar em miniatura, também conhecido pelo nome de Modelo Planetário.

Neste modelo, o átomo possui uma região central denominada de núcleo (a semelhança do Sol) bastante pequeno, onde se encontram os prótons (com carga elétrica positiva) e os nêutrons (com carga elétrica neutra), e onde está a maior parte da massa do átomo. Ao redor desse núcleo existe uma região chamada de eletrosfera, onde está uma configuração de partículas com carga elétrica negativa, denominadas de elétrons.

O átomo é algo realmente muito pequeno e em sua maior parte, um grande vazio. Para entendermos melhor isso, imagine que você esteja segurando uma bola de basquete enquanto alguns grãos de areia girem em torno da bola, a 25 km de distância. Imagine ainda que todo o espaço entre a bola e os grãos de areia, um espaço suficientemente grande para conter uma cidade inteira, está totalmente vazio. Sob certos aspectos, o interior do átomo é assim, só que em uma escala menor. A bola de basquete seria o núcleo, enquanto que os grãos de areia seriam os elétrons. Um outro exemplo para elucidar essa tamanha desproporção seria o seguinte: Do centro da cidade de São Paulo até o aeroporto de Cumbica em Guarulhos, a distância é de aproximadamente 25 km. Assim, se “o núcleo do átomo, isto é, a bola de basquete estivesse colocada no centro da cidade de São Paulo, o elétron mais próximo estaria a 25 km dele, em outra cidade, em Guarulhos”! O que acha disso?

Experimentos revelaram que o diâmetro do átomo é da ordem de 10^{-10} m¹, enquanto que o de seu núcleo é cerca de 10^{-15} m², logo o diâmetro do átomo é cerca de 100.000 vezes maior que o diâmetro do seu núcleo, o que corresponderia em sua maior parte a um grande vazio. Entretanto sabemos hoje, que o elétron tem probabilidade de ocupar posições diferentes girando ao redor do núcleo, de modo que não caracteriza um vazio absoluto.

A Estrutura do Núcleo

Ernest Rutherford (1871-1937) ao fazer a sua famosa experiência sobre o “Espalhamento das Partículas Alfa” em 1911, descobriu a estrutura do núcleo atômico estudando a interação entre as partículas alfa e átomos de ouro. A partir disso, ele pôde concluir que no núcleo do átomo existia uma partícula positiva e que seria então chamada de próton, pois em latim significava “primeiro”, uma vez que foi a primeira partícula do núcleo a ser descoberta.

O elétron já havia sido descoberto por Joseph John Thomson (1856-1940) em 1897 ao estudar os chamados raios catódicos e sua descoberta serviu como ponto de partida para estes estudos posteriores sobre o átomo, como a experiência de Rutherford, pois os resultados obtidos por Thomson apontaram que o átomo não tinha mais um caráter indivisível como até então se imaginava. Em 1932, James Chadwick (1891-1974) um contemporâneo de Rutherford, mostrou a existência de uma segunda partícula no interior do núcleo atômico. Esta partícula recebeu o nome de nêutron e apresentava carga elétrica neutra e massa muito próxima a do próton.

¹ 10^{-10} m = 1 Angstrom (1 Å). Unidade muito usada para medidas da ordem do diâmetro do átomo.

² 10^{-15} m = 1 Fermi (1 fm). Unidade muito usada para medidas da ordem do núcleo do átomo.



Joseph John Thomson



Ernest Rutherford



James Chadwick

A massa do próton é 1836 vezes maior que a massa do elétron e a massa do nêutron é 1839 vezes maior que a massa do elétron, assim prótons e nêutrons são responsáveis por quase toda a massa do átomo. Isso justifica a afirmação que praticamente toda a massa do átomo está concentrada em seu núcleo. Isto também justifica os espaços vazios no interior do átomo, uma vez que na eletrosfera onde encontramos os elétrons, temos partículas com pouquíssima massa, muito afastadas do núcleo e movimentando-se ao redor dele nas órbitas.

Na tabela a seguir, encontramos os valores das respectivas massas e cargas elétricas das partículas que constituem o átomo.

Partículas	Massa (kg)	Massa ³ (u)	Carga Elétrica ⁴ (C)
<i>Próton</i>	$1,672622 \cdot 10^{-27}$	1,007276	$+ 1,602177 \cdot 10^{-19}$
<i>Nêutron</i>	$1,674927 \cdot 10^{-27}$	1,008665	0
<i>Elétron</i>	$9,109382 \cdot 10^{-31}$	$5,485799 \cdot 10^{-4}$	$- 1,602177 \cdot 10^{-19}$

Caracterizando um Átomo

A característica mais importante de um átomo é o número de prótons do seu núcleo, que é chamado de **número atômico** e é representado pela letra **Z**. É este número que define o elemento a que pertence o átomo. Assim, por exemplo, todos os átomos de ouro (número atômico 79) possuem 79 prótons. Na verdade, para os cientistas, o nome “ouro” é simplesmente uma forma compacta de dizer “átomo com 79 prótons”. Todo elemento possui um número atômico: os átomos de hidrogênio têm 1 próton, os átomos de carbono têm 6 prótons e assim por diante.

Todos os átomos de um elemento possuem o mesmo número de prótons, mas o número de nêutrons pode variar. Em outras palavras, dois átomos com o mesmo número de prótons podem ter números diferentes de nêutrons. Nesse caso, dizemos que os dois átomos,

³ A unidade de massa atômica é representada pela letra **u** e é medida em relação ao átomo de carbono-12.

⁴ A carga elétrica é medida em Coulomb e é representada pela letra **C**. Esta carga corresponde a carga elementar do elétron que foi medida por Milikan em 1907.

que possuem massas diferentes, são **isótopos** do elemento. A soma do número de prótons com o número de nêutrons é chamada de **número de massa**, sendo representada pela letra **A**.

Portanto, para todo átomo podemos usar a seguinte representação ${}^A_Z X$, onde **A** é o número de massa, **Z** representa o número atômico, enquanto **X** representa o símbolo do elemento. Logo, quando escrevemos ${}^{56}_{26} Fe$, estamos querendo dizer na verdade que o elemento representado pelo símbolo Fe, refere-se ao átomo de ferro, que possui 26 prótons e 30 nêutrons, pois subtraindo-se o seu número de massa 56 ($A = 56$) do número atômico 26 ($Z = 26$), obtemos o número de nêutrons ($N = A - Z$) do elemento.

Todos os elementos possuem vários isótopos. No caso do carbono, por exemplo, o isótopo mais abundante é que possui 6 prótons e 6 nêutrons. Este isótopo, cujo número de massa é 12, é representado como ${}^{12}C$ ou carbono-12 e denominado “carbono doze”. Outros isótopos do carbono, como carbono-13, com sete nêutrons, e o carbono-14, com oito nêutrons, possuem uma massa maior que o carbono-12.

Questões

1-) Imagine que uma bola de basquete fosse o núcleo de um átomo e que ela tivesse uma massa de 3 kg. Se neste átomo existissem apenas 1 próton, 1 nêutron e 1 elétron, quanto valeria a massa do próton, do nêutron e do elétron, aproximadamente?

2-) Represente através do modelo planetário os isótopos do átomo de hidrogênio:

a) *Prótio* (conhecido como hidrogênio leve, possui apenas um próton e um elétron).

b) *Deutério* (conhecido como hidrogênio pesado, possui um próton, um elétron e um nêutron).

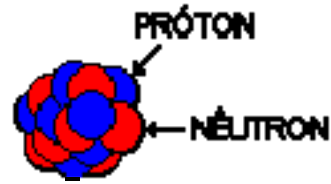
c) *Trítio* (conhecido como hidrogênio mais pesado, possui um próton, um elétron e dois nêutrons).

3-) Determine para os elementos ${}^{40}_{20} Ca$, ${}^{23}_{11} Na$, ${}^{19}_9 F$ e ${}^{20}_{10} Ne$, o seu número de prótons, elétrons e nêutrons. Entre eles, existem isótopos? Quais?

4-) Qual o significado da expressão: carbono-13 e carbono-14? O que estes elementos são entre si?

A Interação Nuclear e a Estabilidade do Núcleo

Os prótons e nêutrons do núcleo estão aglomerados em uma região aproximadamente esférica. Os experimentos revelam que o raio r do núcleo depende do número de massa A e pode ser determinado aproximadamente, através da seguinte expressão: $r = (1,2 \cdot 10^{-15}) \cdot \sqrt[3]{A}$, com r dado em metros (m).



Núcleo Atômico e os núcleons

A partir dela podemos então, calcular o raio do alumínio ($A = 27$), por exemplo:

$$r = (1,2 \cdot 10^{-15}) \cdot \sqrt[3]{27} \Rightarrow r = (1,2 \cdot 10^{-15}) \cdot 3 \Rightarrow r = 3,6 \cdot 10^{-15} \text{ m}.$$

Este valor de raio encontrado, mais uma vez confirma o tamanho diminuto do núcleo atômico e a enorme proximidade entre os prótons e nêutrons. Diante disso, nos deparamos com um problema interessante no núcleo. Nele encontramos apenas partículas neutras (os nêutrons) e partículas positivas (os prótons). Sabemos que cargas elétricas de mesmo sinal se repelem, ou seja, sofrem uma força de natureza elétrica e repulsiva. Por que então a repulsão elétrica entre os prótons, que são positivos, não faz os núcleos se desintegrarem? Isso faz muito sentido, pois pensando em um átomo de oxigênio que possui $Z = 8$, temos em seu núcleo 8 prótons confinados em um espaço muito pequeno, logo esses 8 prótons estariam exercendo entre si uma força de repulsão elétrica. Portanto, voltamos à questão: Por que os núcleos dos átomos não se desintegram?

Para que o núcleo seja estável, é preciso então que exista uma interação atrativa capaz de superar a repulsão elétrica dos prótons. Por esta razão, os físicos a chamaram de interação nuclear, uma manifestação da interação forte, uma das três interações fundamentais conhecidas, no sentido de que podem explicar todas as forças observadas na natureza. A interação nuclear deve agir apenas a pequenas distâncias, distâncias estas da mesma ordem que o tamanho do núcleo atômico, ou seja, distâncias da ordem de 10^{-15} metros ou 1 Fermi. Neste aspecto, a interação nuclear é muito diferente das interações já conhecidas como a gravitacional¹ e eletromagnética², que agem a grandes distâncias. A interação nuclear se manifesta de forma igual entre prótons e nêutrons, não dependendo da carga elétrica.

O alcance limitado da interação nuclear desempenha um papel importante na estabilidade do núcleo. Para que um núcleo seja estável, é preciso que a repulsão elétrica entre os prótons seja compensada pela atração entre os núcleons devido à interação nuclear. Entretanto, um próton repele todos os outros prótons do núcleo, já que a interação eletromagnética é uma interação de longo alcance. Um próton ou um nêutron, por outro lado, atrai apenas os vizinhos mais próximos através da interação nuclear. Nessas condições,

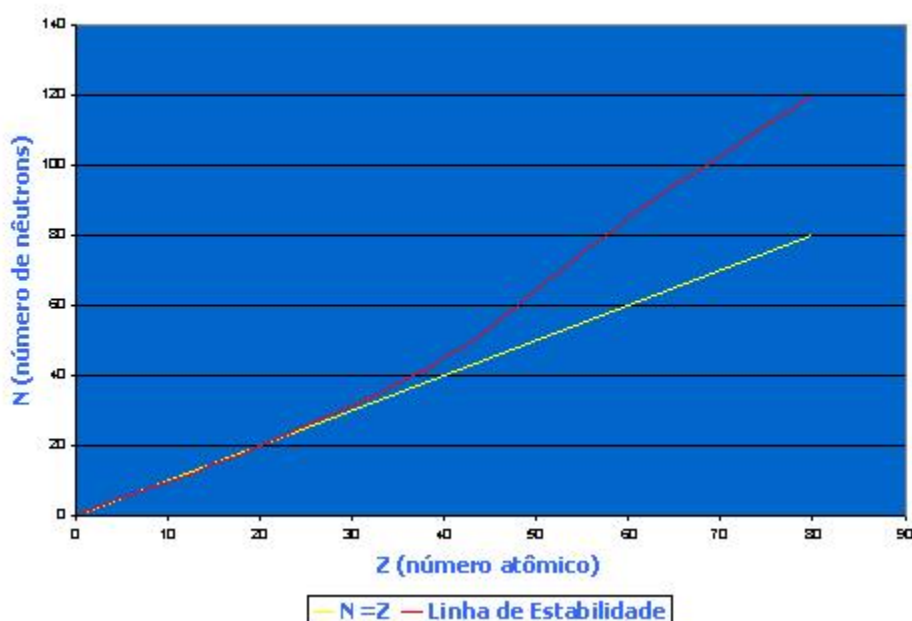
¹ Interação gravitacional: ocorre entre massas.

² Interação eletromagnética: ocorre entre partículas carregadas eletricamente.

quando o número Z de prótons do núcleo aumenta, o número N de nêutrons tem que aumentar ainda mais para que a estabilidade seja mantida.

Podemos considerar que existam cerca de 260 núcleos estáveis e centenas de outros núcleos instáveis. Uma representação gráfica útil na Física é um gráfico que apresenta N em função de Z para os elementos estáveis encontrados na natureza. No gráfico abaixo, a linha reta (em amarelo) representa a condição onde $N = Z$, indicando que estes elementos por possuírem número de prótons e nêutrons iguais, são estáveis. Isso ocorre com núcleos leves. Com o aumento do número atômico Z, os pontos que apresentam núcleos estáveis se afastam cada vez mais dessa reta, refletindo o fato de que é preciso um número relativo de nêutrons cada vez maior para compensar a repulsão elétrica dos prótons.

Linha de Estabilidade Nuclear



Com o aumento do número de prótons do núcleo, chega um ponto em que o aumento do número de nêutrons não é suficiente para compensar a repulsão elétrica. O núcleo estável com maior número de prótons ($Z = 83$) é o bismuto, ${}_{83}^{209}Bi$, que contém 126 nêutrons. Todos os núcleos com mais de 83 prótons, como por exemplo, o urânio ($Z = 92$) são instáveis e com o tempo se desintegram³ espontaneamente, até tornarem-se estáveis. Essa desintegração espontânea foi denominada de **radioatividade** e será estudada em breve.

É interessante mencionar que a maioria dos núcleos estáveis têm valores pares de número de massa (A). De fato, certos valores de Z e de N correspondem a núcleos que têm estabilidade excepcionalmente elevada. Esses valores de N e de Z, chamados de **números mágicos**, são: **Z ou N = 2, 8, 20, 28, 50, 82, 126**. Por exemplo, o núcleo de hélio (dois prótons e dois nêutrons), que tem $Z = 2$ e $N = 2$, é muito estável. Isso acaba lembrando a estabilidade química dos gases nobres que recebem essa nomenclatura por possuírem em sua eletrosfera número de elétrons como 2, 8, 18, 32.

³ Desintegração: emissão de partículas.

Unidades de medida

Para medidas da massa do átomo e de sua energia, trabalhamos com unidades de medida não tão usuais quanto aquelas que estamos habituados a usar em nosso cotidiano. Quanto à massa do átomo ela pode ser expressa em termos da chamada **unidade de massa atômica**⁴ (**u**), que corresponde a um padrão em relação ao átomo de carbono-12. Já para as medidas de energia, usamos o **elétron-volt**⁵ (**eV**) e os seus múltiplos: o **quiloelétron-volt**⁶ (**keV**) e o **megaelétron-volt**⁷ (**MeV**). Um elétron-volt corresponde a quantidade de energia igual àquela que 1 elétron adquire ao acelerar numa diferença de potencial de 1 volt.

Usando a relação de equivalência entre massa-energia de Einstein, isto é, a famosa expressão $E = m.c^2$, podemos estabelecer as relações entre a massa atômica e o elétron-volt. Considerando o valor da velocidade da luz como sendo $c = 3.10^8$ m/s para o vácuo, temos então que:

1 u = 931,5 MeV (representa a energia da unidade de massa atômica)

$m_e = 511,0$ keV = 0,511 MeV (representa a energia de repouso⁸ do elétron)

$m_p = 938,7$ MeV (representa a energia de repouso do próton)

$m_N = 939,6$ MeV (representa a energia de repouso do nêutron)

Energia de Ligação Nuclear

Quando pensamos em uma dúzia de laranjas e uma dúzia de maçãs, a massa total é simplesmente a soma das massas de todas as frutas. No caso dos núcleons (prótons e nêutrons) que formam o núcleo atômico, porém, a situação é diferente: a massa do núcleo é sempre ligeiramente menor que a soma das massas dos prótons e nêutrons. Quando os prótons e nêutrons se unem para formar um núcleo, parte de sua massa é transformada em energia e sabemos disso porque é preciso fornecer uma certa quantidade de energia ao núcleo para desintegrá-lo. Esta energia é denominada de **energia de ligação nuclear (E)** e é diferente para diferentes núcleos. Quanto mais estável for o núcleo, maior será a energia necessária para desintegrá-lo.

Para calcular a energia de ligação nuclear precisamos conhecer o chamado **déficit de massa (Δm)** do núcleo que nada mais é do que a diferença entre a soma das massas dos prótons e nêutrons e a massa do núcleo, e que pode ser escrita da seguinte forma: $E = \Delta m \cdot c^2$.

Como exemplo, vamos fazer o cálculo da energia de ligação nuclear do átomo de hélio-4. Para determinar essa energia, calculamos primeiramente o déficit de massa Δm . O hélio-4 é assim indicado, pois tem $Z = 2$ prótons e $N = 4 - 2 = 2$ nêutrons. Para obter o déficit de massa, calculamos a soma das massas dos prótons e nêutrons que compõem o núcleo e subtraímos

⁴ $1 \text{ u} = 1,661.10^{-27} \text{ kg}$.

⁵ $1 \text{ eV} = 1,6.10^{-19} \text{ J}$.

⁶ $1 \text{ keV} = 1000 \text{ eV} = 10^3 \text{ eV}$.

⁷ $1 \text{ MeV} = 1.000.000 \text{ eV} = 10^6 \text{ eV}$.

⁸ Energia de repouso: energia associada a um corpo, dada pela expressão $E = m.c^2$.

dessa soma a massa do núcleo de hélio-4 que é de $6,6447 \cdot 10^{-27}$ kg, valor este retirado de uma tabela de massa de átomos, encontrada em livros de física nuclear. Logo, temos:

$$\left. \begin{array}{l} m_{\text{próton}} = 1,6726 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \\ m_{\text{nêutron}} = 1,6749 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \\ m_{\text{núcleo}} = 6,6447 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{Como temos 2 prótons e 2 nêutrons:} \\ 2 \cdot (1,6726 \cdot 10^{-27} \text{ kg}) \\ 2 \cdot (1,6749 \cdot 10^{-27} \text{ kg}) \quad + \\ \hline 6,6950 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \end{array}$$

(Valor da soma das massas dos prótons e nêutrons)

Déficit de massa:

$$\Delta m = (\text{soma das massas dos prótons e nêutrons}) - (\text{massa do núcleo})$$

$$\Delta m = 6,6950 \cdot 10^{-27} \text{ kg} - 6,6447 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

$$\Delta m = 0,0503 \text{ kg}$$

Energia de ligação nuclear:

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

$$E = 0,0503 \text{ kg} \cdot (3 \cdot 10^8 \text{ m/s})^2$$

$$E = 4,53 \cdot 10^{12} \text{ J}$$

Como $1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$, temos que:

$$E = 2,83 \cdot 10^7 \text{ eV} = 28,3 \text{ MeV}$$

(energia de ligação nuclear do hélio-4)

Questões

1-) Existe a interação nuclear entre nêutron e próton ou ela ocorre somente entre os prótons que estão sujeitos a repulsão elétrica? Justifique.

2-) É mais fácil remover do átomo um próton ou um elétron? Justifique.

3-) Qual a principal diferença entre a interação nuclear e as interações eletromagnética e gravitacional?

4-) O que significa dizer que um átomo é estável? E que um átomo é instável?

5-) Para que serve a energia de ligação nuclear?

6-) O átomo de menor número de massa e maior número de massa e estáveis, tem respectivamente, $A = 1$ (Hidrogênio) e $A = 209$ (Bismuto). Qual o valor do raio atômico em cada caso?

7-) Sabendo que a massa atômica do ${}^{206}_{82}\text{Pb}$ é 205,974440 u, determine:

a) o seu déficit de massa, em unidades de massa atômica (u);

b) a energia de ligação nuclear, em MeV.

Compreendendo os Decaimentos Radioativos

Conforme foi visto anteriormente, grande parte dos núcleos com menos de 83 prótons são estáveis, pois a interação nuclear consegue manter os núcleons coesos. Entretanto, núcleos mais de 83 prótons são instáveis e com o tempo se desintegram espontaneamente. Ao se desintegrar, um núcleo emite certos tipos de partículas, acompanhadas ou não de fótons de alta energia. Esses fótons e partículas são chamados de “raios”. Três tipos de raios são produzidos pelos núcleos radioativos: raios α , raios β e raios γ . Cada raio tem um poder de penetração: os raios α são os menos penetrantes, sendo bloqueados por uma folha fina de papel ($\cong 0,01$ mm de chumbo), enquanto que os raios β precisam de uma espessura muito maior de chumbo ($\cong 0,1$ mm) para serem bloqueados; os raios γ são os mais penetrantes, podendo atravessar até 100 mm de chumbo.

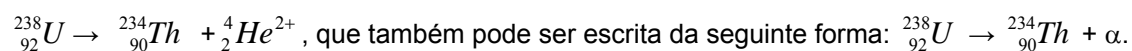
Desta forma, conheceremos agora os processos de decaimento radioativo ou também chamado de desintegração nuclear, que produzem os raios α e β , que são radiações corpusculares. Os raios γ embora sejam de natureza nuclear, não são radiações corpusculares e já foram discutidos nas radiações eletromagnéticas. Embora os processos de decaimento ocorram no núcleo do átomo, eles devem obedecer as leis de conservação que temos na Física, como a:

- Lei de Conservação da Carga Elétrica;
- Lei de Conservação da Massa;
- Lei de Conservação da Energia.

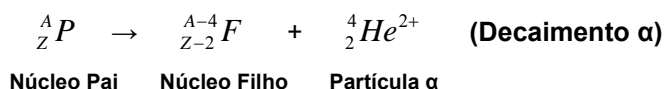
Assim, as quantidades de carga elétrica, massa e energia, antes e depois de qualquer decaimento radioativo, devem ser as mesmas. Isto é um dado muito útil ao conferirmos os mecanismos dos decaimentos e servem como uma prova de que eles de fato ocorrem e obedecem as leis de conservação.

Decaimento alfa (α)

Quando um núcleo se desintegra e produz raios alfa, dizemos que sofreu um **decaimento alfa**. A partícula alfa tem carga elétrica +2 e número de núcleons $A = 4$ e corresponde então a um núcleo de hélio sem elétrons, ou melhor, um núcleo duplamente ionizado (${}^4_2\text{He}^{2+}$). Para fins de simplificação quando falarmos das partículas alfa, usaremos apenas a letra grega α . Disso, concluímos que a partícula α é formada por 2 prótons e 2 nêutrons. Um exemplo de decaimento α é o do núcleo de urânio, que ao emitir uma partícula α , sofre uma **transmutação** transformando-se em um núcleo de tório, conforme a equação:

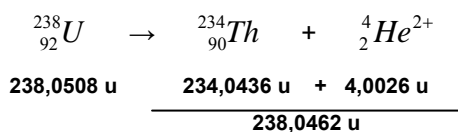


O núcleo original é chamado de núcleo pai e o núcleo que resta após a desintegração é chamado de núcleo filho. Durante este processo podemos perceber de uma maneira muito fácil, a conservação da carga elétrica e da massa. Assim, o processo de decaimento α pode ser escrito de uma maneira geral da seguinte forma:



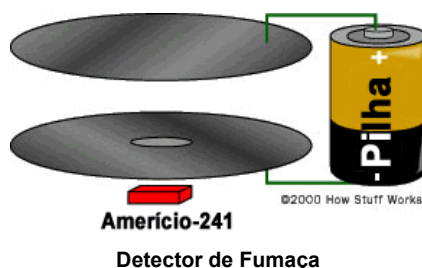
Quando um núcleo emite uma partícula α , ele também libera energia. Esta energia aparece como energia cinética do núcleo filho e da partícula α , exceto por uma pequena parcela que se manifesta na forma de um raio γ . Para ilustrar a liberação de energia em um decaimento α , vamos calcular o valor desta energia no decaimento que converte o urânio-238 em tório-234.

A massa atômica do ${}^{238}_{92}U$ é 238,0508 u, a do ${}^{234}_{90}Th$ é de 234,0436 u e a de uma partícula α (4_2He) é 4,0026 u. Como é liberada energia no decaimento, sabemos que a soma da massa do ${}^{234}_{90}Th$ com a massa da partícula α é menor que a massa ${}^{238}_{92}U$. A diferença entre essas massas é equivalente à energia liberada neste processo. Para determinar essa energia, basta calcular a diferença das massas em unidades de massa atômica e usar o fato de que 1 u equivale a 931,5 MeV. Assim:



A diferença de massa é $238,0508 \text{ u} - 238,0462 \text{ u} = 0,0046 \text{ u}$. Como 1 u equivale a 931,5 MeV, a energia liberada neste decaimento é de 4,3 MeV.

Uma das aplicações do decaimento α é na construção de detectores de fumaça. Estes detectores são compostos de duas pequenas placas de metal que são montadas a uma distância da ordem de um centímetro uma da outra. Uma pequena pastilha de material radioativo, geralmente Amerício-241, montada no centro de uma das placas emite partículas α , que ao colidirem com as moléculas do ar acabam produzindo íons¹ positivos e negativos.



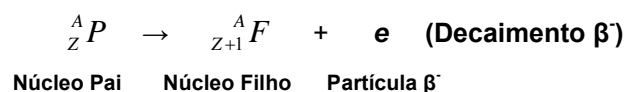
A tensão da pilha torna uma das placas positiva e a outra negativa, o que faz com que as placas atraiam esses íons. Em consequência disso, uma corrente elétrica atravessa o circuito. A presença de partículas de fumaça reduz essa corrente, pois os íons que colidem com uma partícula de fumaça quase sempre são neutralizados. A queda de corrente causada pela presença de partículas de fumaça é usada para disparar um alarme.

¹ Íons: átomos que perderam ou ganharam elétrons.

Decaimento beta menos (β^-)

Os raios β são defletidos pelo campo magnético na direção oposta à dos raios α , que são partículas positivas. Assim, os físicos chegaram à conclusão de que esses raios são formados por partículas de carga negativa, que foram chamadas inicialmente de partículas β^- . Mais tarde descobriu-se que estas partículas β^- são na verdade elétrons (e^-). Como exemplo do **decaimento β^-** , podemos considerar o núcleo do tório-234 que decai em um núcleo de protactínio-234, emitindo uma partícula β^- , conforme a equação: ${}_{90}^{234}\text{Th} \rightarrow {}_{91}^{234}\text{Pa} + e^-$.

Assim como o decaimento α , o decaimento β^- também causa uma transmutação e obedece as leis de conservação. Desta forma, podemos escrever o decaimento β^- da seguinte forma geral:



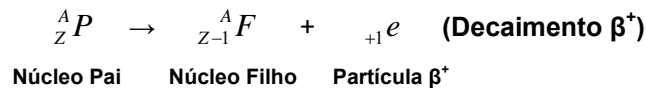
Fica então uma pergunta: Se os processos de decaimento radioativo são de origem nuclear, ou seja, as partículas são emitidas pelo núcleo do átomo, como um elétron pode ser emitido pelo núcleo se no núcleo temos apenas os núcleons (prótons e nêutrons)?

Esta questão atormentou os físicos durante muito tempo e a sua resposta, levou a descoberta de uma nova partícula. Essa nova partícula recebeu o nome de **neutrino**, dado pelo físico Enrico Fermi (1901-1954), em 1934 de, cujo símbolo é ν . Esta partícula é neutra e sua massa é muito pequena, quase imperceptível.

Foi o físico Wolfgang Pauli (1900-1950) que na década de 30, explicou de maneira coerente o decaimento β^- . Na verdade o que é emitido pelo núcleo no decaimento β^- é um nêutron (n) que sofre um decaimento em três outras partículas, um próton (p), um elétron (e) e a nova partícula, o neutrino (ν). Podemos representar o processo pela seguinte equação $n \rightarrow p + e + \nu$, onde o próton permanece no núcleo do átomo, enquanto o elétron (e) é emitido com alta energia, deixando para trás um átomo com número atômico Z aumentado em 1 unidade ($Z+1$). O neutrino é necessário neste processo para garantir a conservação de energia, entretanto, por fins didáticos, omitimos o neutrino na equação do decaimento β^- e β^+ que será estudado a seguir.

Decaimento beta mais (β^+)

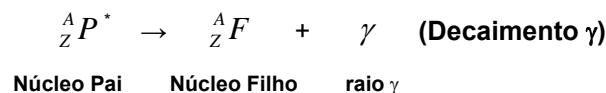
Um segundo tipo de decaimento β também é observado, sendo chamado de **decaimento β^+** . Neste processo, a partícula emitida pelo núcleo é um **pósitron** em vez de um elétron. O pósitron, que também é chamado de **partícula β^+** , tem a mesma massa que o elétron, mas possui uma carga positiva, sendo então representada da seguinte forma ${}_{+1}e$. O pósitron é a **antipartícula** do elétron. Desta forma, podemos escrever o decaimento β^+ da seguinte forma geral:



Assim como no decaimento β^- , o pósitron emitido no decaimento β^+ não estava no núcleo antes do decaimento e o que acontece é o seguinte: um próton (p) sofre um decaimento em três outras partículas, um nêutron (n), um pósitron (${}_{+1}e$) e um neutrino (ν), conforme a equação: $p \rightarrow n + {}_{+1}e + \nu$. O nêutron permanece no núcleo do átomo, enquanto o pósitron (${}_{+1}e$) é emitido com alta energia, deixando para trás um átomo com número atômico Z, diminuído em uma unidade, ou seja, Z-1, uma vez que temos um próton a menos no núcleo. O neutrino é necessário neste processo para garantir a conservação de energia. A energia liberada nos decaimentos β^- e β^+ , podem ser calculadas de maneira semelhante ao cálculo feito no decaimento α .

Decaimento gama (γ)

O decaimento γ não é caracterizado por nenhuma partícula, pois é na verdade, uma radiação eletromagnética. Isso já foi contemplado no estudo do espectro eletromagnético. Essa radiação pode ser representada pelos seus fótons de alta energia, algo característico a esta radiação. Quando um núcleo faz um decaimento radioativo, ele passa de um estado excitado (representado aqui por um asterisco) para um estado de menor energia, não tendo alteração alguma em massa e carga elétrica. Podemos representar o decaimento γ de forma geral da seguinte forma geral:



Desta forma, após o decaimento o núcleo pai e núcleo filho apresentam o mesmo valor de A e Z, diferindo apenas quanto à energia. Neste processo um elemento não se transforma em outro como nos decaimentos α , β^- e β^+ .

Questões

- 1-) Qual a diferença entre os decaimentos α , β^- e β^+ ?
- 2-) Escreva a reação do decaimento β^- do ${}^{35}_{16}S$ (enxofre-35), identificando o símbolo químico e os valores de A e Z do núcleo filho.
- 3-) Determine a energia liberada, em MeV, quando o ${}^{211}_{82}Pb$ (chumbo-211) de massa atômica 210,998735 u sofre um decaimento β^- e se transforma em ${}^{211}_{83}Bi$ (bismuto-211) de massa atômica 210,987255 u.
- 4-) Por que os decaimentos α e β produzem novos elementos e o decaimento γ não?

A descoberta da Radioatividade¹

No dia 20 de janeiro de 1896, Antoine Henri Becquerel (1852-1908) tomava conhecimento da descoberta dos raios X pelo físico Wilhelm Conrad Röntgen (1845-1923). Físico francês da terceira geração da família Becquerel, tinha muito interesse na fosforescência e na fluorescência dos materiais. Estes termos, fosforescência e fluorescência, não são sinônimos. Na fluorescência a emissão luminosa ocorre enquanto houver estímulo, a absorção e a emissão ocorrem rapidamente. Na fosforescência, mesmo cessado o estímulo, haverá a emissão, pois o processo de emissão é mais lento que na fluorescência.

Becquerel imaginou se havia uma relação entre raios X e a fluorescência, ou seja, se algumas substâncias fluorescentes poderiam emitir raios X espontaneamente. Depois de descobrir que muitos elementos não produziam qualquer efeito, passou a utilizar materiais fosforescentes.

Ele utilizou sulfato de potássio e urânio, sal de urânio que era conhecido por suas propriedades fosforescentes. Cobriu uma chapa fotográfica com duas folhas de papel escuro grosso, tão grosso que a chapa não ficou manchada ao ser exposta ao Sol durante um dia inteiro. Colocou sobre o papel uma camada da substância fosforescente e para ativar a fosforescência do sal de urânio, e expôs tudo ao Sol por várias horas. Quando revelou a chapa fotográfica, percebeu a silhueta da substância fosforescente em escuro sobre o negativo. Concluiu que a substância emitia radiações capazes de atravessar a folha de papel opaca à luz. Tudo se passava como se o sal de urânio emitisse raios X.

Em 24 de fevereiro de 1896, Henri Becquerel fez um relatório de sua experiência e apresentou à Academia de Ciências em Paris. No entanto, em 2 de março, Becquerel anunciava aos seus pares da academia algo mais extraordinário. Durante a semana havia tentado repetir a experiência, preparando uma nova placa fotográfica enrolada no papel e no sal de urânio. Aconteceu que o tempo havia piorado e ele ficou impossibilitado de realizar a exposição ao Sol. Então guardou o conjunto numa gaveta à espera de melhores dias. Na véspera da sessão da academia, como o tempo permaneceu encoberto, decidiu, mesmo assim, revelar as placas, esperando encontrar o negativo em branco. Para sua surpresa os negativos mostravam uma mancha de grande intensidade. Concluiu que o sal de urânio emitia raios capazes de atravessar o papel preto, quer tivesse sido exposto ou não ao Sol. Sem dúvida, alguma emissão desconhecida estava saindo do sal, atravessando o papel e chegando até a chapa fotográfica. Essas emissões foram chamadas de **raios de Becquerel**.

Pouco tempo depois, em 9 de março de 1896 já descobrira que a radiação emitida pelo sal de urânio não apenas escurecia as chapas fotográficas protegidas, como também ionizava gases, isto é, provocava a libertação de elétrons dos átomos do gás, que por esse motivo ficavam carregados positivamente (falta de elétrons), transformando estes gases em



¹ Texto original do trabalho de mestrado de Maxwell Roger Siqueira.

condutores de eletricidade. A partir daí, era possível medir a “atividade” de uma amostra simplesmente medindo a ionização que ela produzia.

O instrumento usado para a medição da ionização que o gás sofria era um rústico eletroscópio de lâminas de ouro. Este instrumento é constituído de duas folhas metálicas, neste caso de ouro, finas e flexíveis, ligadas em sua parte superior a uma haste, que se prende a uma placa condutora. Normalmente, as folhas metálicas são mantidas dentro de um frasco vidro transparente e seco, a fim de aumentar a sua sensibilidade e diminuir efeitos do ambiente externo. O isolante impede a passagem de cargas elétricas da haste para o vidro. Aproximando-se da placa um tubo com o gás ionizado, isto é eletrizado, ocorrerá a indução eletrostática, ou seja: se o gás estiver carregado negativamente, ele repele os elétrons livres da placa para as lâminas de ouro, fazendo com que elas se abram devido à repulsão. Se o gás estiver com cargas positivas, ele atrai os elétrons livres das lâminas, fazendo também com que elas se abram, novamente, devido à repulsão. A determinação do sinal da carga do gás em teste, que já se sabe estar eletrizado, é obtida carregando-se anteriormente o eletroscópio com cargas de sinal conhecido. Dessa forma, as lâminas terão uma determinada abertura inicial. Pode-se observar isso nas figuras I (neutro) e II (eletrizado):

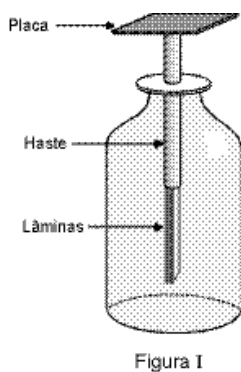


Figura I

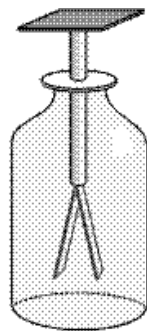


Figura II

A essa altura, um casal de cientistas iniciava suas investigações sobre a radioatividade em Paris, estudando vários minérios, uma vez que Henri Becquerel focalizou suas pesquisas somente no urânio. Marie Sklodowska Curie (1867-1934), polonesa, e seu marido francês Pierre Curie (1859-1906), após analisar vários compostos de urânio, verificaram a constatação de Becquerel, confirmando que a emissão de raios é uma

propriedade do elemento urânio e assim, decidiram examinar todos os elementos conhecidos. Descobriram que também o **tório** emitia raios semelhantes aos do urânio.

Nesse ponto, depois de descobrirem que o urânio não era o único elemento a emitir radiação espontaneamente, Marie decidiu então, analisar todos os minérios naturais e para sua surpresa um mineral de urânio (uranita) era três ou quatro vezes mais radioativo do que se esperava. Desta forma concluiu que um elemento extremamente radioativo deveria existir enquanto impureza nesse minério. Depois de um longo e exaustivo trabalho, em julho de 1898, Marie com a ajuda de seu marido Pierre, conseguiu isolar a impureza e perceberam que se tratava de um novo elemento, que designaram de **polônio**, em homenagem ao país de origem de Marie, a Polônia. Ao aprimorar mais os seus métodos de purificação da uranita, o casal Curie, acabou por encontrar, em setembro desse mesmo ano, um elemento altamente radioativo que recebeu o nome de **rádio**. Marie propôs a palavra **Radioatividade** para esse fenômeno.

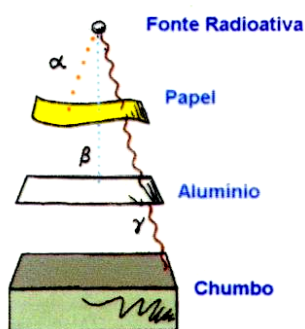
Por esses feitos, Marie recebeu dois prêmios Nobel, um de Química e outro de Física. Infelizmente, foi uma das primeiras vítimas dos efeitos da radiação, assim como todos aqueles que se dedicaram ao estudo dos fenômenos da radioatividade no mesmo período.

A descoberta das Radiações

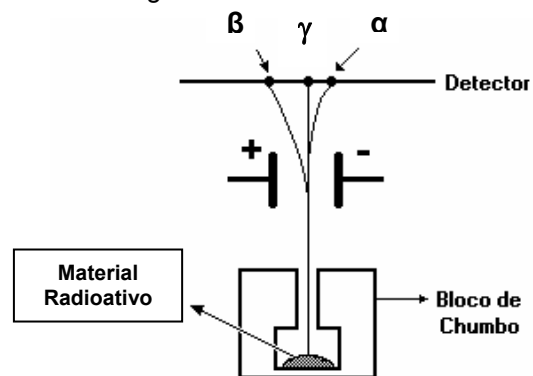
Após a descoberta dos raios X e da radioatividade, Ernest Rutherford (1871-1937), cientista nascido na Nova Zelândia, deu contribuições decisivas para a compreensão da natureza das substâncias radioativas e das suas radiações. Rutherford e seu colaborador Joseph John Thomson (1856-1940) dedicavam-se a medir a ionização nos gases provocada pelos raios X e pelas radiações emitidas pelo o urânio.

Em longo trabalho no laboratório Cavendish, Rutherford percebeu, em 1898, a existência de dois tipos diferentes de radiações emitidas pelo urânio, devido a penetração que tinham na matéria. Os raios que são menos penetrantes ele designou por raios alfa (α) e, os raios que penetravam mais de raios beta (β). Além da diferença na penetração na matéria, ele percebeu que os raios alfa e beta eram defletidos para lados opostos quando passavam por uma região com campo magnético ou campo elétrico. Disso ele pode concluir que eles tinham carga elétrica oposta.

Com o resultado das experiências realizadas por Rutherford, bem como a de outros cientistas como Becquerel, concluiu-se em poucos anos que os raios beta (β) são raios catódicos (elétrons). Entretanto, Paul Ulrich Villard (1860-1934), na França, descobriu uma terceira forma de radiação que era muito mais penetrante que as duas anteriores, que designou por raios gama (γ). Estes não eram sensíveis ao campo magnético, ou seja, não eram desviados e surgiram como uma espécie de raios X mais energéticos. O esclarecimento da natureza dos raios α continuou um mistério durante alguns anos.



Penetração das radiações na matéria

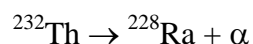


Desvios das radiações em um campo elétrico

Ao se mudar para Toronto, no Canadá, Rutherford pode observar outro fenômeno misterioso. Ao isolar a parte radioativa do sal de urânio, ele pode perceber, que com o passar do tempo, ela perdia a sua radiação, em contra partida a solução que havia retirado o elemento radioativo recuperava a radioatividade inicial. Trabalhando com o químico Frederick Soddy

(1877-1966), Rutherford chegou a um resultado que implicava na transmutação² entre os elementos, algo que foi anunciado com muita cautela ao anunciar, pois lembrava fortemente o antigo sonho dos alquimistas³.

Para fundamentar sua conclusão sobre a transmutação dos elementos, Rutherford teve que investigar mais a natureza das radiações alfa (α). Entre 1900 e 1903, através das medidas da razão entre a massa e carga elétrica das partículas α , ele pode concluir que estas são, na verdade, núcleo do átomo de Hélio (He). Resolvendo assim o problema da transmutação dos elementos que pôde ser explicado da seguinte maneira: os átomos instáveis (radioativos) emitem as radiações α e β , ao fazerem isso eles mudam suas propriedades químicas, transformando-se em outro de elemento (transmutação). A seguir temos um exemplo da transmutação do elemento tório-232 em rádio-228, após a emissão de uma radiação α :



Questões

- 1-) Qual foi a principal contribuição que os Curie deram para a Radioatividade?
- 2-) Qual o termo mais adequado para designar as lâmpadas que iluminam as salas de aula?
- 3-) Qual foi a principal contribuição que Rutherford deu para a radioatividade?
- 4-) Quais são as principais diferenças entre as radiações alfa e beta?
- 5-) Por que a radiação gama (γ) não sofre desvio ao passar por uma região de campo eletromagnético?

² Transmutação: Conversão do núcleo atômico de um elemento no núcleo atômico de um outro elemento, pela perda ou ganho de prótons.

³ Alquimista: Praticante de uma forma primitiva de química, chamada de alquimia, associada com a magia. O objetivo da alquimia era transformar metais ordinários em ouro e descobrir uma poção que possibilitasse a juventude eterna.



POWERS OF TEN

**Welcome to Powers of Ten.
Travel across the Universe.
Changing scale by just a few powers of ten
dramatically alters your perspective.**

[Start](#)

[What is a Power of Ten?](#)

[Credits](#)



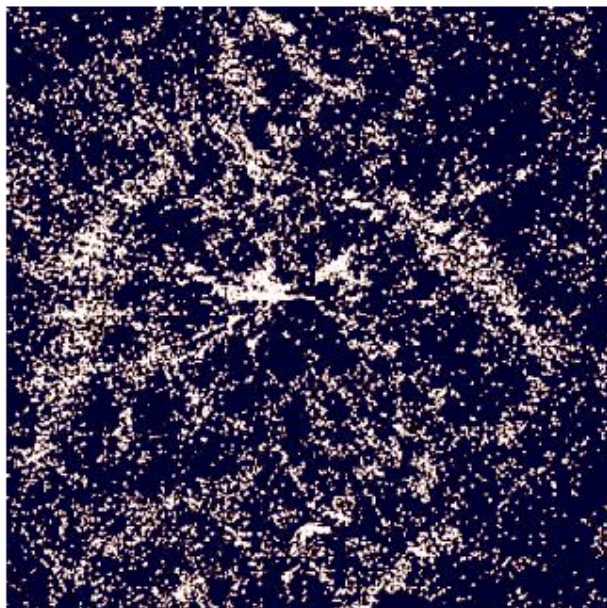


POWERS OF TEN

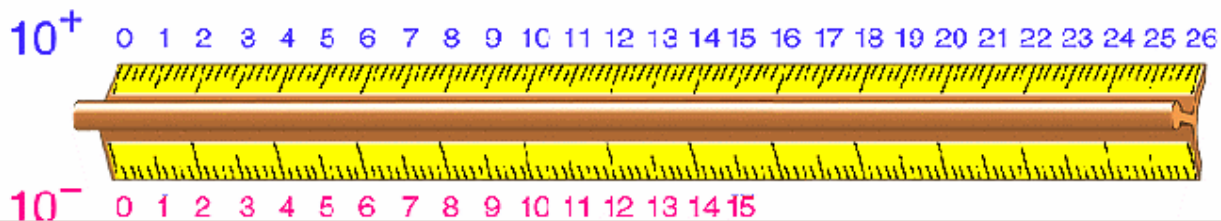


Return to
START

10^{26} metres = 100 000 000 000 000 000 000 000 000 metres

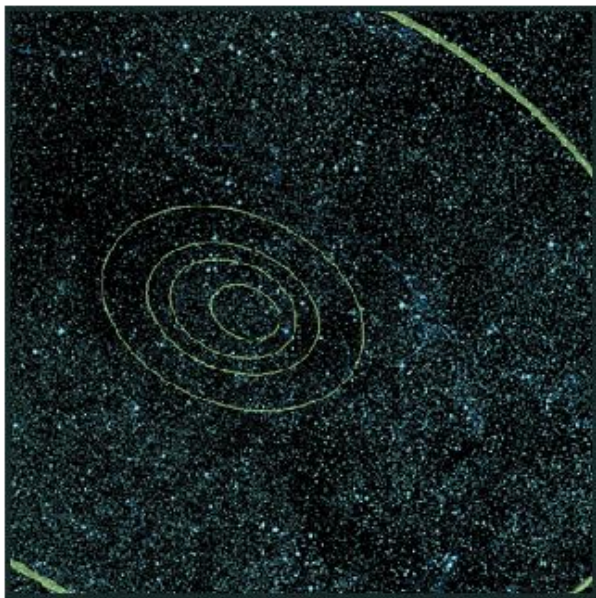


The largest scale picture ever taken. Each of the 9325 points is a galaxy like ours. They clump together in 'superclusters' around great voids which can be 150 million light years across.

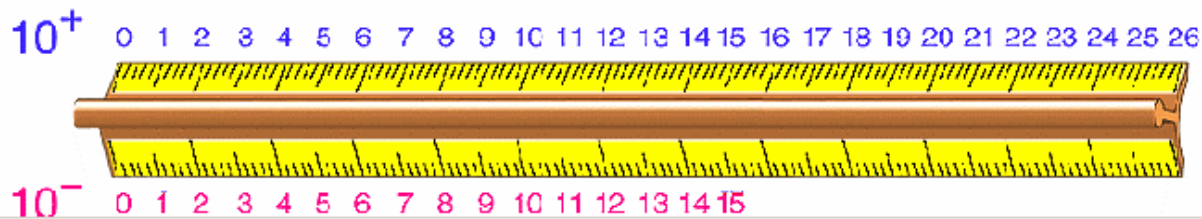


  **POWERS OF TEN**  [Return to START](#)

10^{12} metres = 1 000 000 000 000 metres



The orbits of the inner four planets : Mercury, Venus, Earth and Mars. All four have rocky crusts and metallic cores.





POWERS OF TEN

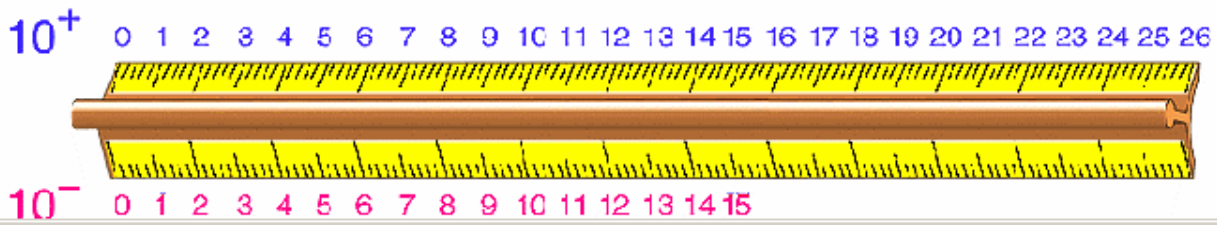


Return to
START

$$10^0 \text{ metres} = 1 \text{ metre}$$



Your journey begins in the garden of the Microcosm visitor centre. This is the scale we know best - our own. Zoom in and out in powers of ten using the ruler.



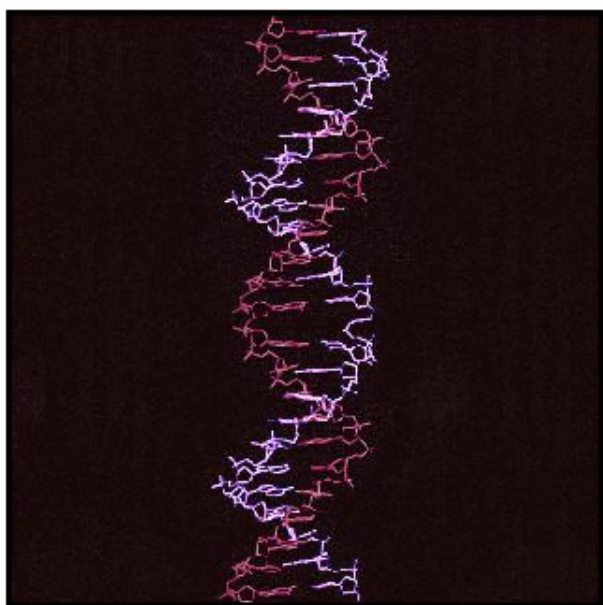


POWERS OF TEN

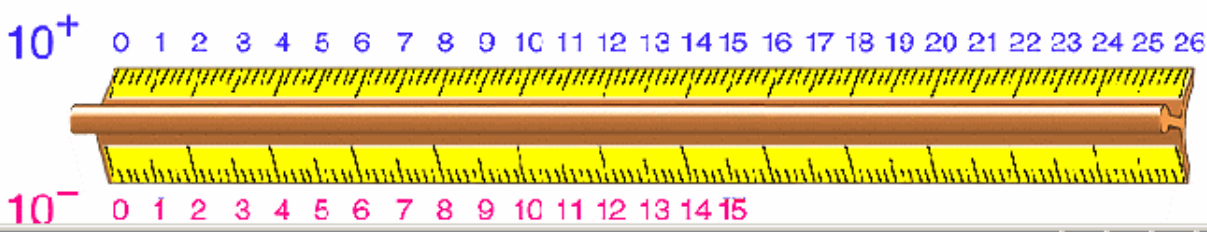


[Return to START](#)

10^{-8} metres = 0.000 000 01 metres



At the centre of the cell is a tightly coiled molecule called DNA. It contains the genetic material needed to duplicate the fly.



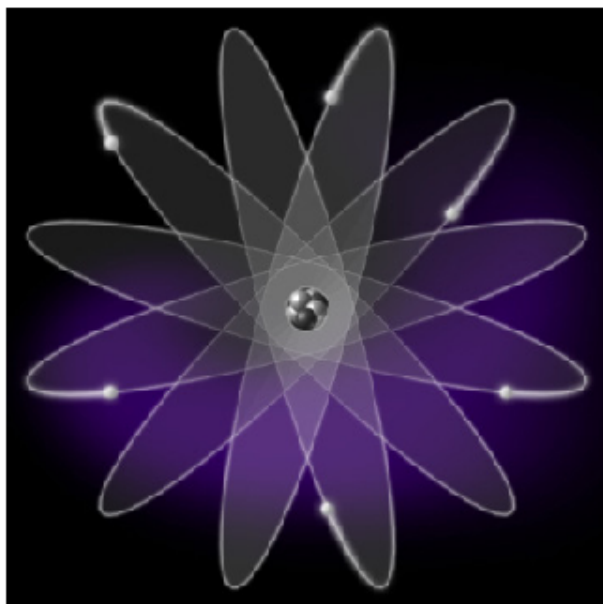


POWERS OF TEN



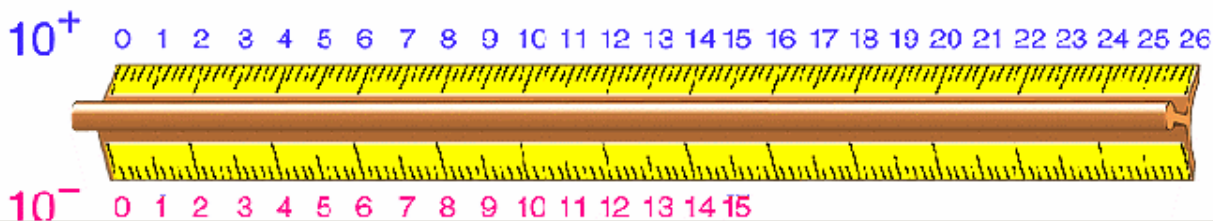
Return to
START

10^{-10} metres = 0.000 000 0001 metres



The carbon atom, an essential ingredient for life, is mostly empty space. A cloud of six negatively charged electrons orbits the positively charged nucleus.

From 10^{-10} m to 10^{-13} m not much changes.



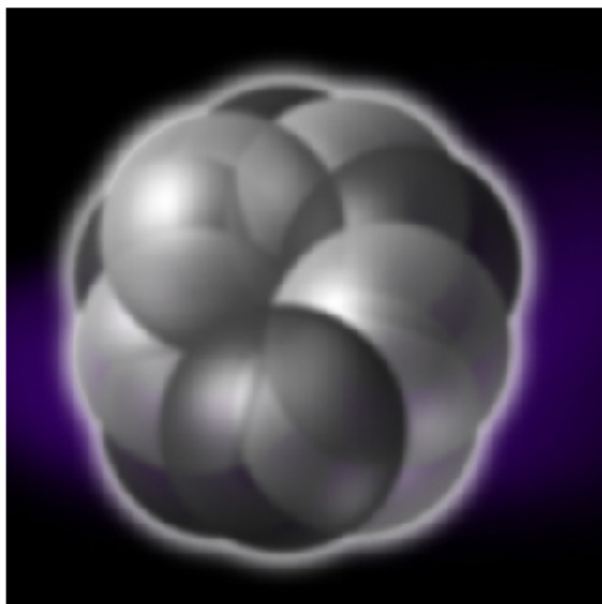


POWERS OF TEN

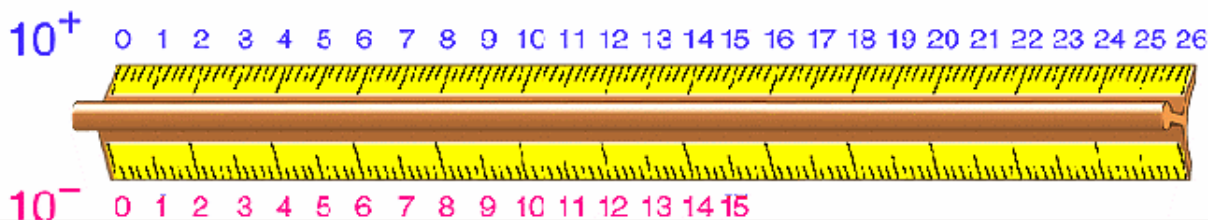


Return to
START

10^{-14} metres = 0.000 000 000 000 01 metres

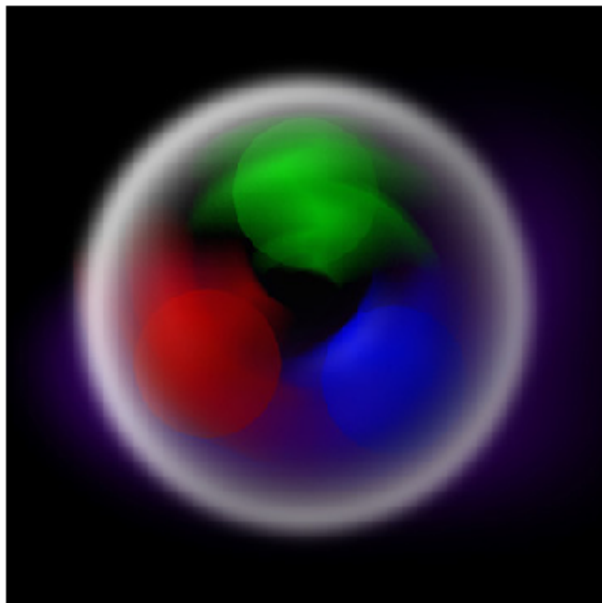


At the centre of the carbon atom is a nucleus made of six protons and six neutrons. 99.95% of the mass of the atom is concentrated in this tiny space.

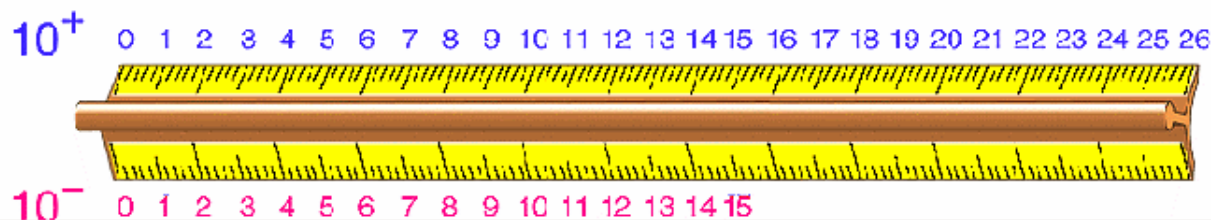


  **POWERS OF TEN**  [Return to START](#)

10^{-15} metres = 0.000 000 000 000 001 metres



Protons and neutrons in the nucleus are made of 3 quarks. Quark interactions are studied at CERN to learn how particles formed in the very early Universe.



Física das Radiações: Uma Proposta para o Ensino Médio

Atividade 6 - Visualizando o “Muito Pequeno”

Investigando 6a: Cortando papel para chegar a prótons

Objetivo: Tentar dar uma idéia do tamanho dos objetos estudados na Física das Radiações.

Material

- Folha de papel A4.
- Tesoura ou régua.

Orientações

1-) Pegue a folha de papel e corte-a no meio. Com uma das metades, faça outro corte, também ao meio. Repita esse procedimento quantas vezes forem possíveis até chegar a um pedaço que você não consiga mais cortar.

2-) Conte os números de cortes feitos e faça a medida do menor pedaço de papel que você conseguiu.

	Nº de cortes	Medida do papel
Cortes a mão		
Cortes com tesoura		

Ordem de Grandeza e potência de 10

Quando estudamos Física de Partículas é inevitável, a utilização de valores muito pequenos ou muito grandes, que não fazem parte de valores utilizados no dia a dia. Considere os exemplos abaixo:

Se alguém lhe dissesse que o tamanho de um átomo é aproximadamente 0,000 000 000 1 m, você dificilmente assimilaria essa idéia, por se tratar de um valor totalmente fora daqueles utilizados por você.

Se o núcleo de um átomo de hidrogênio fosse do tamanho da cabeça de um alfinete (1mm), então o elétron no átomo estaria, aproximadamente, a uns 50m de distância.

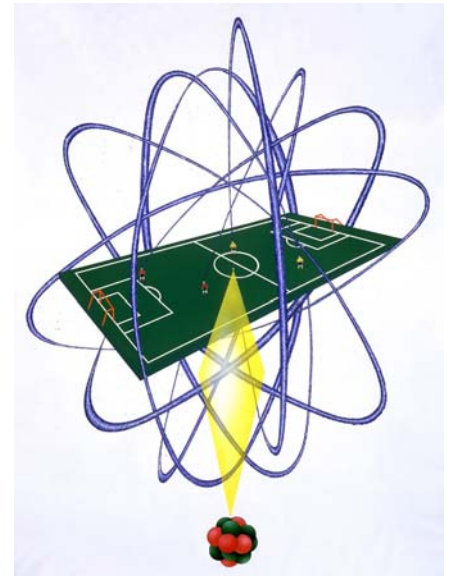
Estes números podem ser representados como um produto de um número por uma potência de dez, denominada notação científica, fácil de interpretar, comparar e operacionalizar.

Veja como se representam alguns valores em notação científica:

$$200m = 2 \times 100m = 2 \times 10^2 m$$

$$5300m = 5,3 \times 1000m = 5,3 \times 10^3 m$$

$$0,007cm = \frac{7}{1000} cm = \frac{7}{10^3} cm = 7 \times 10^{-3} cm$$



Física das Radiações: Uma Proposta para o Ensino Médio

Exercícios

I - Escreva os números abaixo em notação científica:

- o diâmetro do próton $0,000\ 000\ 000\ 001\ \text{m} =$
- o diâmetro do átomo $0,000\ 000\ 000\ 1\ \text{m} =$
- a velocidade da luz no vácuo $300\ 000\ 000\ \text{m/s} =$
- a massa da Terra $5\ 980\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ \text{Kg} =$
- a carga de um elétron - $0,000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 16\ \text{C} =$

II - Considerando as dimensões atômicas e subatômicas listadas abaixo, complete a tabela e responda:

DIMENSÃO	DECIMAL	FRAÇÃO	POTÊNCIA DE 10
Menor objeto visto a olho nu	0,00001 m		
diâmetro aproximado de um átomo	0,000 000 000 1 m		
diâmetro aproximado de um núcleo	0,000 000 000 000 01 m		
diâmetro aproximado de um próton	0,000 000 000 000 001 m		

- Quantas vezes um núcleo típico é maior do que um próton?
- Quantas vezes um átomo típico (o tamanho determinado pelos elétrons mais externos) é maior que um núcleo típico?
- Quantas vezes uma cabeça de alfinete ($1\text{mm} = 10^{-3}\text{m}$) é maior que um átomo típico?
- Quanto átomos há na espessura de papel A4, considerando que uma folha de papel A4 tenha espessura igual a um décimo de milímetro?
- Se um átomo fosse do tamanho de uma cabeça de alfinete, qual seria a espessura de uma folha de papel?

Investigando 6b: O que têm dimensões com as seguintes ordens de grandeza?

Entre no site do **cern** :

<http://microcosm.web.cern.ch/microcosm/p10/english/welcome.html>,
escreva o que você visualiza com dimensões nas seguintes ordens de grandeza.

Ordem de grandeza (m)	O que você visualiza?
10^{26}	
10^{12}	
10^0	
10^{-8}	
10^{-10}	
10^{-14}	
10^{-15}	

Física das Radiações: Uma Proposta para o Ensino Médio

Atividade 7 - Tabela Periódica

Objetivo: Verificar na Tabela Periódica os elementos que são radioativos.

Esta atividade tem a intenção de identificar os elementos que são radioativos na Tabela Periódica.

Para esta atividade os alunos deverão formar grupos com 4 integrantes e formularem sínteses das discussões, baseando-se nas orientações abaixo.

Material

- Tabela Periódica.

Orientações

1-) Dada a Tabela Periódica, identificar os elementos que são radioativos. Isso pode ser feito examinando a legenda da tabela onde aparece o número atômico, a massa atômica do elemento, entre outras informações.

2-) Registrar os elementos que são radioativos em uma folha.

3-) Existe alguma relação entre o elemento ser radioativo e o seu número atômico? A partir de que número atômico na tabela, temos os elementos radioativos? Por que isso ocorre?

4-) Pesquisar a diferença entre os elementos cisurânicos e transurânicos.

5-) Escrever uma pequena conclusão a respeito da discussão feita pelo grupo.

QUADRO SINTÉTICO

Bloco 3 - Interação das Radiações com a Matéria e seus Efeitos

	ATIVIDADE(S)	MOMENTOS	TEMPO
Bloco 3 - Interação das Radiações com a Matéria e seus Efeitos	10. Vídeos: "Hiroshima" e "Incrível Hulk".	Atividade 8 - Vídeos (trechos dos filmes): "Hiroshima" e "Incrível Hulk". (20 min)	1 AULA
		Discussão sobre os efeitos das radiações na matéria com base nos vídeos apresentados. (25 min)	
	11. Radiações ionizantes e não-ionizantes.	Leitura do texto e questões sobre o texto: "Interação da Radiação com a Matéria e seus Efeitos". (45 min)	2 AULAS
	Sistematização sobre os efeitos das radiações. (20 min)		
		Respostas às perguntas do texto: "Interação da Radiação com a Matéria e seus Efeitos". (25 min)	

BLOCO 3 - INTERAÇÃO DAS RADIAÇÕES COM A MATÉRIA E SEUS EFEITOS

Após conhecermos as radiações eletromagnéticas e as radiações corpusculares, iniciamos agora o estudo e compreensão da interação destas radiações com a matéria e os possíveis efeitos sobre ela.

1. Objetivos gerais:

- ✓ Estimular a curiosidade para o estudo da interação radiação-matéria.
- ✓ Conhecer os efeitos que as radiações podem causar na matéria.

2. Conteúdo Físico

- ✓ Radiações eletromagnéticas e corpusculares.
- ✓ Radiações ionizantes e não-ionizantes.

3. Leitura complementar

As leituras indicadas servem para um conhecimento mais profundo e detalhado dos conceitos tratados neste bloco. Assim, caso seja possível, leia algumas dessas referências antes de iniciar as aulas.

- ✓ ALVARENGA, Beatriz; MÁXIMO, Antônio. **Física**. 2ª ed., 1ª impressão, São Paulo: Editora Scipione, 2007.
- ✓ CARUSO, Francisco; SANTORO, Alberto. **Do átomo Grego à Física das interações fundamentais**. 2ª ed. Rio de Janeiro: AIAFEX, 2000.
- ✓ GASPAR, Alberto. **Eletromagnetismo e Física Moderna**. 1ª ed., 2ª impressão, São Paulo: Editora Ática, 2001.
- ✓ HEWITT, Paul. **Física Conceitual**. 9ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2002.
- ✓ SEGRÉ, E. **Dos raios X aos Quarks. Físicos Modernos e suas Descobertas**. Universidade de Brasília, Brasília, 1982.
- ✓ SERWAY, Raymond A.; JEWETT, John W. **Princípios de Física: Óptica e Física Moderna**. 3ª ed. Rio de Janeiro: Thomson, 2005.
- ✓ TIPLER, Paul A.; LLEWELLYN, Ralph A. **Física Moderna**. 3ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2001.

4. Quadro Sintético

ATIVIDADES	MOMENTOS	COMENTÁRIOS	Tempo
1. Vídeos: “Hiroshima” e “Incrível Hulk”.	Atividade 8 - Vídeos (trechos dos filmes): “Hiroshima” e “Incrível Hulk”.	Atividade que promove o uso das radiações e apresenta seus efeitos sobre a matéria, em um caso real e na ficção científica.	1 aula
	Discussão sobre os efeitos das radiações na matéria com base nos vídeos apresentados.	Distinguir o que é realidade e o que é ficção, além do efeito imediato e prolongado em exposição às radiações.	
2. Radiações ionizantes e não-ionizantes.	Sistematização, leitura e respostas às perguntas do texto.	Texto: “Interação da Radiação com a Matéria e seus Efeitos”.	2 aulas

5. Descrição aula-a-aula

AULA 14

Tema: Efeitos da radiação na matéria.

Objetivo: Perceber os efeitos da radiação sobre a matéria, diferenciando a realidade da ficção.

Conteúdo Físico: Radiações ionizante e não-ionizante.

Recursos Instrucionais

- Roteiro da atividade 8;
- Trecho dos vídeos sobre Hiroshima e o Incrível Hulk;
- Discussão entre professor e alunos.

Motivação

Curiosidade sobre os feitos da radiação sobre a matéria.

Momentos

1º Momento	Propor a atividade 8: Trechos sobre os filmes Hiroshima e o Incrível Hulk.
	Tempo: ± 20 min

2º Momento	Propor a atividade 8 sobre os vídeos de Hiroshima e o Incrível Hulk. Orientar os alunos quanto as radiações que são mencionadas nos vídeos, sua natureza e seus efeitos possíveis na matéria. Analisar com base no estudo das radiações se os efeitos que são descritos são possíveis ou apenas especulações.
	Tempo: ± 25 min

Sugestões: Dizer aos alunos para analisarem com os olhos da Física das Radiações as radiações envolvidas em cada situação e seus efeitos, reforçando o uso destas radiações de forma benéfica ou maléfica.

Dinâmica da aula

O professor apresenta a atividade e os vídeos que serão vistos. Em seguida, pede aos alunos para anotarem as radiações que são mencionadas nestes trechos de vídeo, para mais tarde servirem de referência para as discussões que eles farão. Pedir aos alunos que também percebam os efeitos que estas radiações causam ao interagirem com a matéria. Comentar com eles as diferentes aplicações que foram dadas às radiações, desde a descoberta da radioatividade até os nossos dias atuais.

AULA 15 e 16

Tema: Efeitos da radiação na matéria.

Objetivo: Diferenciar as radiações quanto ao seu caráter ionizante e não-ionizante.

Conteúdo Físico: Radiações ionizante e não-ionizante.

Recursos Instrucionais

- Discussão entre professor e alunos;
- Aula expositiva.

Motivação

Curiosidade sobre os feitos da radiação sobre a matéria.

Momentos

1º Momento	Leitura e exercícios às perguntas do texto: “Interação da Radiação com a Matéria e seus Efeitos”.
	Tempo: ± 45 min

2º Momento	Sistematização e respostas às perguntas do texto: “Interação da Radiação com a Matéria e seus Efeitos”.
	Tempo: ± 45 min

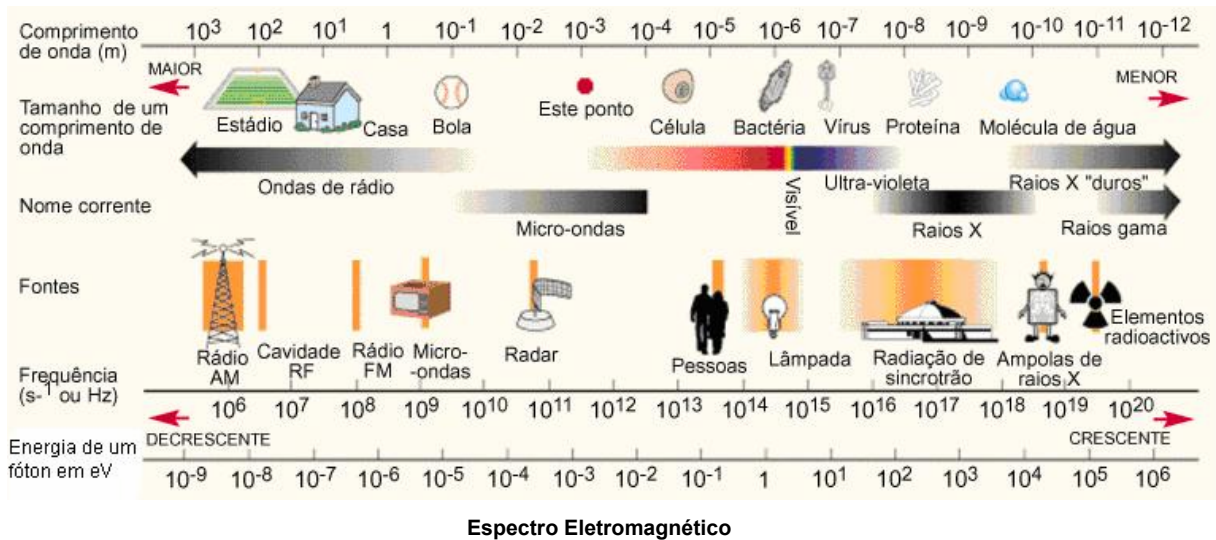
Sugestões: O professor pode orientar os alunos para detalharem bem a diferença entre as radiações ionizantes e não-ionizantes.

Dinâmica da aula

O professor retoma a atividade sobre os vídeos. Em seguida, sistematiza a diferença entre as radiações ionizantes e as não-ionizantes, principalmente quanto ao fator energético de cada uma delas. Apresenta-se depois, o limiar de energia que as diferencia. Comentar com alunos também os efeitos que estas radiações causam ao interagirem com a matéria e as diferentes aplicações que foram dadas a elas, desde a descoberta da radioatividade até os nossos dias atuais.

Interação da Radiação com a Matéria e seus Efeitos

Na figura abaixo, temos novamente o esquema do espectro eletromagnético, mostrando as faixas de frequência que classificam os diversos tipos de radiações.



O conjunto das radiações eletromagnéticas pode também ser classificado segundo os efeitos de alteração estrutural que provoquem, ou não, em átomos ou moléculas da matéria sobre as quais elas incidam. Nesta perspectiva, as radiações são diferenciadas entre:

- **não-ionizantes** e;
- **ionizantes**.

As radiações ionizantes são aquelas que provocam uma ruptura na organização elétrica do átomo ou molécula, arrancando-lhe, com o choque na passagem, um ou mais elétrons de sua estrutura, tornando-o(a) um íon e quimicamente ativo(a). As **radiações ionizantes** encontram-se no extremo superior do espectro de frequências, onde encontramos **os raios-X, os raios γ e os raios cósmicos**.

As radiações não-ionizantes não provocam tais efeitos. As alterações provocadas são temporárias; os átomos e moléculas atingidos por radiações não-ionizantes permanecem intactos na sua organização eletrônica, quando essas alterações desaparecem pelo retorno ao estado fundamental de energia mínima. As **radiações não-ionizantes** compreendem desde as **ondas de rádio até as radiações ultravioletas**.

Desta forma, a **energia associada aos fótons** de cada radiação é que determinam o seu **caráter ionizante ou não**. Por exemplo, para o nosso corpo que é constituído principalmente de átomos de carbono, oxigênio, nitrogênio e hidrogênio, temos como **limiar biológico uma energia da ordem de 13,6 eV**, energia esta necessária minimamente para que se possa ionizar algum dos átomos mencionados anteriormente em nosso corpo. Essa energia corresponde a uma radiação com **freqüência de aproximadamente $3,3 \cdot 10^{15}$ Hz e comprimento de onda na faixa do ultravioleta, por volta de 909 Å**.

Efeitos das Radiações Ionizantes e Não-Ionizantes na Matéria

Vamos fazer novamente um pequeno passeio pelo espectro eletromagnético, onde tentaremos identificar para cada uma das faixas de radiações ionizantes e não-ionizantes apontadas anteriormente, suas características, recordando suas origens, suas formas de interação com a matéria e os efeitos produzidos por essa interação e, ainda, destacando as principais aplicações que nos beneficiam, bem como danos ou prejuízos que nos causem.

Ondas de Rádio

Nosso passeio começará pelo extremo onde se encontram as radiações de baixa frequência, na direção daquelas, no outro extremo, de frequência mais alta. Ou, o que equivale, em termos de comprimentos de onda, das ondas de maior comprimento de onda para as de menores comprimentos de onda.

As ondas de rádio são aquelas cujas frequências se encontram no intervalo de 10^5 a 10^{10} Hz, que apresentam os maiores comprimentos de ondas do espectro, na faixa de 3 km a 3 cm e portam energias inferiores a 10^{-5} eV. Elas são geradas por circuitos oscilantes, em transmissores de estações, mas também em grandes corpos no espaço, tais como cometas, planetas ou nuvens de gás gigantes. São ondas deste tipo que trazem até nós os sinais que recebemos nos nossos aparelhos de rádio, TV e telefones celulares. No nível atômico e molecular, **as ondas de rádio não provocam efeitos sobre a matéria; o corpo humano, como a maioria dos materiais, é transparente** a essas radiações.

Microondas

No intervalo de 10^{10} a 10^{12} Hz estão as microondas. Os comprimentos de onda respectivos situam-se na faixa de 3 cm a $300 \mu\text{m}^1$; elas transportam energias de 10^{-5} a 10^{-3} eV. As microondas são geradas por válvulas eletrônicas especiais. Nessa faixa energética encontram-se apenas estados quânticos de rotação e de torsão molecular. Logo, os **efeitos** que uma **microonda** provocará em **moléculas** serão aqueles de **girar ou torsionar as moléculas da matéria** que recebe a radiação, produzindo calor como resultado destes movimentos. É desta forma que um forno de microondas opera, aquecendo/cozinhando os alimentos. Mas é também pela mesma razão, que microondas são usadas na pesquisa para se obter informações sobre a estrutura de moléculas. A partir da análise dos espectros de rotação molecular é possível se determinar a intensidade das ligações químicas e os ângulos formados por moléculas; **Microondas** são também usadas para a transmissão de informações porque elas **atravessam nuvens, chuva, neve e fumaça**; elas são empregadas em radares, sensoriamento remoto e, ainda, em telefonia celular e transmissão de dados informatizados.

¹ 1 micrômetro ($1\mu\text{m}$) = $0,000001 \text{ m} = 10^{-6} \text{ m}$.

Raios Infravermelhos

Continuando o passeio, seguem-se as ondas (ou raios) infravermelhas, ou ondas de calor, ou ainda radiação térmica, situadas na faixa de 10^{11} a $4 \cdot 10^{14}$ Hz, com comprimentos de onda entre 1 milímetro e 750 nanômetros e energias na faixa de 0,0012 a 1,65 eV. As ondas infravermelhas são geradas pela vibração ou oscilação dos elétrons das camadas mais externas de átomos e moléculas. Ao interagir com a matéria, as **ondas infravermelhas colocam as moléculas em vibração**. No cotidiano, **experimentamos os efeitos dessas interações quando sentimos calor** proveniente do Sol, de radiadores, de ferros de passar roupa, e até de nosso próprio corpo.

Radiações infravermelhas **são utilizadas** para diversas finalidades: aquecimento/cozimento de alimentos em fornos de restaurantes, nos controles remotos de aparelhos elétricos/eletrônicos, na formação de imagens, com câmeras e filmes especiais sensíveis a essas radiações, e em terapias. Às radiações infravermelhas está associado o efeito estufa que é usado benéficamente em agricultura e jardinagem, mas também responsável pelo aquecimento global da Terra. O efeito estufa é o papel que a camada de CO_2 da atmosfera desempenha, impedindo que as radiações solares refletidas na faixa do infravermelho se propaguem para longe da Terra a fim de manter a temperatura em níveis adequados à vida, à disponibilidade de água, produzindo mudanças climáticas.

Luz Visível

Prosseguindo, chegamos à faixa das radiações visíveis, que, genericamente, identificamos como luz. Em comparação com amplitude total do espectro, a luz ocupa uma faixa muito estreita de frequência, situada entre o infravermelho e o ultravioleta, que vai de $4,3 \cdot 10^{14}$ a $7,5 \cdot 10^{14}$ Hz, correspondente a comprimentos de onda de 750 a 400 nanômetros e a energias de 1,65 a 3,1 eV. A origem da luz está nas oscilações ou transições dos elétrons entre as camadas mais externas dos átomos, conforme visto anteriormente quando estudamos os modelos atômicos. Estas radiações são essenciais para a existência da vida uma vez que propiciam a realização da fotossíntese pelas plantas, além de favorecerem o aparecimento das condições climáticas para o equilíbrio do mundo em que vivemos.

Radiação Ultravioleta

Tendo atravessado a estreita faixa de frequência do visível, nosso passeio se aproxima do extremo superior do espectro, alcançando a região das radiações ultravioleta, ou radiações UV. Tal denominação, o prefixo latino **ultra** significa **além**, como você pode perceber, vem da posição ocupada por estas radiações na escala de frequência, além da luz violeta, a última radiação visível para nós. As radiações UV têm frequências entre $7,5 \cdot 10^{14}$ e $3 \cdot 10^{16}$ Hz, que

correspondem a comprimentos de onda na faixa de 400 nm a 10 nm e a energia compreendidas entre 1,8 a 3,1 eV.

Nesta faixa de energia está o limiar entre as radiações não-ionizantes e as ionizantes. Tal como a luz, as radiações ultravioletas também se originam de transições eletrônicas das camadas mais externas dos átomos. Aquelas de menores comprimentos de onda (de frequências mais altas) têm energia no patamar da energia de ionização de muitas moléculas, tornando-se assim muito perigosas, pois provocam muitos danos à saúde; podemos fazer um pequeno jogo de palavras, afirmando que as radiações ultravioletas são ultra violentas! Sua fonte primária é o Sol, mas elas também são produzidas em dispositivos criados pelo homem. Um exemplo disso são os arcos de solda elétrica, usados para soldar metais. Dado às altas energias que carregam, **as radiações ultravioletas são fortemente absorvidas pela maioria das substâncias sólidas.** Sobre a **pele**, o seu efeito é muito conhecido: o **tom bronzeado** que adquirimos no verão; vem justamente da absorção pela nossa pele das radiações UV emitidas pelo Sol. Mas também aí reside o perigo maior de se adquirir também um **câncer de pele**. Os protetores solares são substâncias que absorvem os raios UV, impedindo a sua ação sobre nossa pele.

Nossos **olhos** são particularmente suscetíveis aos danos das radiações ultravioletas, pois elas provocam a conhecida **inflamação UV ou mesmo a cegueira**, provocada pela reflexão das radiações UV na neve que é uma das poucas substâncias que não as absorve, mas as reflete. Não é por outra razão que você vê um soldador usar um visor de proteção quando faz uma solda elétrica.

Como toda radiação, a UV não tem só riscos, ou representa só ameaças para nós, existem também, felizmente, os bons usos, tanto em terapias, quanto em tecnologias. Quanto às primeiras, destacamos o uso de das radiações UV para estimular o sistema imune e os sistemas de várias enzimas.

Raios X, Raios Gama e Raios Cósmicos

Chegamos ao fim do nosso passeio, chegando as **radiações ionizantes, que compreendem os raios X, a radiação γ e os raios cósmicos.**

Devemos lembrar que os raios cósmicos são as radiações de altíssima energia, da ordem de de 100 a 1000 trilhões de elétron-volts, que chegam à Terra, vindas do espaço, cujas fontes estão na longínqua constelação Cygnus, situada a 37 mil anos-luz² da Terra. Já os raios X e raios γ são ondas eletromagnéticas também muito energéticas, com energias entre 1000 eV a 200.000 eV, para os raios X, e maiores que 200.000 eV, para os raios gama. São extremamente penetrantes, e diferem um do outro quanto à origem, pois os raios γ se originam dentro do núcleo atômico, enquanto que os raios X têm origem fora do núcleo, na desexcitação dos elétrons.

² Ano-luz: distância que a luz percorre em 1 ano; 1 ano-luz = $9,5 \cdot 10^{15}$ m.

Estas radiações interagem com a matéria através do **efeito fotoelétrico**³, **pelo efeito Compton**⁴ **ou pela produção de pares**⁵, e nesses efeitos são emitidos elétrons ou pares elétron-pósitron⁶ que, por sua vez, **ionizam a matéria**. Para blindagem desse tipo de radiação usa-se chumbo, concreto, aço ou terra.

Questões

1-) Qual a diferença entre as radiações ionizantes e as radiações não-ionizantes? Dê um exemplo de cada uma delas.

2-) Complete a tabela abaixo, preenchendo as colunas de energia, comprimento de onda, dimensões típicas das radiações e a sua classificação como radiações ionizantes ou não-ionizantes. Consulte o texto para ajudá-lo neste preenchimento:

Tipo de Radiação	Energia (E)	Comprimento de Onda (λ)	Dimensões Típicas	Classificação da Radiação	Aplicações em nosso cotidiano
<i>Ondas de Rádio</i>					
<i>Microondas</i>					
<i>Raios Infravermelhos</i>					
<i>Luz Visível</i>					
<i>Raios Ultravioletas</i>					
<i>Raios X</i>					
<i>Raios Gama</i>					

³ Efeito Fotoelétrico: corresponde ao fenômeno de emissão de elétrons por certos metais, quando expostos à luz de determinadas frequências.

⁴ Efeito Compton: corresponde ao fenômeno de espalhamento de um fóton por um elétron em um material. O fóton espalhado tem menor frequência e, portanto, menor energia que o fóton incidente.

⁵ Produção de Pares: formação de um par elétron-pósitron, por fótons com energia mínima de 1,022 MeV.

⁶ Pósitron: antipartícula do elétron, que possui carga elétrica oposta a dele.

Física das Radiações: Uma Proposta para o Ensino Médio

Atividade 8 - Radiação-Matéria

Objetivo: Identificar os efeitos da radiação na matéria.

Esta atividade tem a intenção de estabelecer que efeitos as radiações podem causar na matéria, neste caso, nos seres vivos. Para isso, os alunos irão assistir trechos de dois vídeos: um sobre Hiroshima e a bomba atômica da BBC e outro sobre o incrível Hulk, um filme de ficção científica, procurando diferenciar aquilo que é real daquilo que é ficção.

Para esta atividade os alunos deverão formular uma síntese das discussões, baseando-se nas orientações abaixo.

Material

- Trechos dos vídeos: Hiroshima e Incrível Hulk.

Orientações

1-) Assistir aos vídeos e anotar que radiações causaram os efeitos observados na matéria, em cada situação.

2-) Anotar os efeitos que ocorreram sobre a matéria em cada situação.

3-) Discutirem pequenos grupos de quatro alunos se estes efeitos são de fato possíveis ou são apenas especulações sobre os efeitos da radiação.

4-) Escrever uma pequena conclusão a respeito da discussão feita pelo grupo.

QUADRO SINTÉTICO

Bloco 4 - Detectores de Radiação

	ATIVIDADE(S)	MOMENTOS	TEMPO
Bloco 4 - Detectores de Radiação	12. Papel Fotográfico.	Atividade 9 - Papel fotográfico. (10 min)	1 AULA
		Discussão sobre as respostas do roteiro. (20 min)	
		Leitura, discussão e sistematização geral sobre os aspectos dos detectores de radiação. (15 min)	
	13. Apresentação panorâmica do conteúdo trabalhado.	Apresentação panorâmica do conteúdo trabalhado. (25 min)	2 AULAS
Questionário Inicial (Reaplicação). (20 min)			
Avaliação referente aos blocos. (45 min)			

BLOCO 4 - DETECTORES DE RADIAÇÃO

Estudamos agora os dispositivos que permitem detectar as diversas formas de radiações, sejam elas, eletromagnéticas ou corpusculares.

1. Objetivos gerais:

- ✓ Estimular a curiosidade para o estudo dos detectores de radiação.
- ✓ Conhecer e compreender as diferentes formas de se detectar as radiações eletromagnéticas e corpusculares, através dos detectores naturais que temos e dos artificialmente criados pelo homem.

2. Conteúdo Físico

- ✓ Detectores de radiação naturais e artificiais.

3. Leitura complementar

As leituras indicadas servem para um conhecimento mais profundo e detalhado dos conceitos tratados neste bloco. Assim, caso seja possível, leia algumas dessas referências antes de iniciar as aulas.

- ✓ ALVARENGA, Beatriz; MÁXIMO, Antônio. **Física**. 2ª ed., 1ª impressão, São Paulo: Editora Scipione, 2007.
- ✓ CARUSO, Francisco; SANTORO, Alberto. **Do átomo Grego à Física das interações fundamentais**. 2ª ed. Rio de Janeiro: AIAFEX, 2000.
- ✓ GASPAR, Alberto. **Eletromagnetismo e Física Moderna**. 1ª ed., 2ª impressão, São Paulo: Editora Ática, 2001.
- ✓ HEWITT, Paul. **Física Conceitual**. 9ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2002.
- ✓ SEGRÉ, E. **Dos raios X aos Quarks. Físicos Modernos e suas Descobertas**. Universidade de Brasília, Brasília, 1982.
- ✓ SERWAY, Raymond A.; JEWETT, John W. **Princípios de Física: Óptica e Física Moderna**. 3ª ed. Rio de Janeiro: Thomson, 2005.
- ✓ TIPLER, Paul A.; LLEWELLYN, Ralph A. **Física Moderna**. 3ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2001.

4. Quadro Sintético

ATIVIDADES	MOMENTOS	COMENTÁRIOS	Tempo
1. Papel Fotográfico.	Atividade 9 - Papel fotográfico.	Atividade experimental sobre detecção da radiação, fazendo uma analogia entre o papel fotográfico e a chapa fotográfica.	1 aula
	Discussão sobre as respostas do roteiro.		
	Leitura, discussão e sistematização geral sobre os aspectos dos detectores de radiação.	Texto: “Detectores de Radiação”.	
2. Apresentação panorâmica do conteúdo trabalhado.	Apresentação panorâmica do conteúdo trabalhado.	Revisão dos conteúdos discutidos nos blocos 3 e 4.	2 aulas
	Questionário Inicial (Reaplicação).	Reaplicação do questionário inicial para avaliação da proposta do curso.	
	Aplicação de uma avaliação referente aos blocos 3 e 4.		

5. Descrição aula-a-aula

AULA 17

Tema: Detectores de Radiação.

Objetivo: Discutir as formas de se detectar as radiações.

Conteúdo Físico: Detectores de radiação.

Recursos Instrucionais:

- Roteiro da atividade 9;
- Papel fotográfico;
- Alguns objetos opacos, transparentes e translúcidos como, caneta, régua, borracha, celular e outros objetos de fácil acesso.

Motivação: Compreender os processos de detecção das radiações.

Momentos:

1º Momento	Propor a atividade 9: Pedir aos alunos que sentem em grupos e peguem objetos diversos. Entregue a eles o papel fotográfico e peça para que coloquem os objetos sob o papel.
	Tempo: ± 10 min

2º Momento	Sistematização da atividade. Fazendo uma analogia com os raios X detectados pela chapa fotográfica. Discussão sobre os detectores naturais que temos em nosso corpo, como os olhos e a pele.
	Tempo: ± 20 min

3º Momento	Sistematização geral sobre o que foi discutido sobre os detectores de radiações.
	Tempo: ± 15 min

Sugestões: O professor pode explorar os efeitos biológicos dos raios X. Aproveitando a atenção dos alunos, explique como eram complicados os exames antigamente. O tempo necessário para a exposição do papel fotográfico que sugerimos ser de 5 minutos. Reforçar que nós temos detectores naturais para algumas radiações eletromagnéticas.

Dinâmica da Aula: Iniciar a discussão lembrando o que são os raios X (raios de alta frequência) e como são absorvidos de maneiras diferentes pelos diversos materiais. Explique a sua produção e a origem do seu nome relatando como foram descobertos. Comente sobre as aplicações dos raios X, responda às eventuais questões dos alunos e explique em detalhes o processo de obtenção das radiografias. Use a atividade da analogia com papel fotográfico, para o aluno entender o processo. Nessa atividade os alunos colocarão diversos objetos sobre um papel fotográfico e aguardarão por cerca de 5 minutos (faça o teste antes) para observar o efeito da luz. Lembrá-los que o papel fotográfico é uma das formas de se detectar a radiação eletromagnética, no caso, a luz visível. Reforçar que nossos olhos e nossa pele são exemplos de detectores naturais de radiação: os olhos detectam a luz visível, e a pele detecta a radiação infravermelha. Peça para que eles respondam às questões propostas.

AULA 18

Tema: Revisando a interação da radiação com a matéria e os detectores de radiação.

Objetivo: Destacar os assuntos estudados até o momento.

Conteúdo Físico: radiações ionizantes, radiações não-ionizantes e detectores de radiação.

Recursos Instrucionais:

- Aula expositiva;
- Questionário Inicial (Reaplicação).

Motivação: Sistematização e organização dos assuntos tratados até o momento.

Momentos:

1º Momento	Revisão geral do que foi estudado até aqui.
	Tempo: ± 25 min

2º Momento	Reaplicação do questionário inicial.
	Tempo: ± 20 min

Dinâmica da Aula: Faça uma sistematização das idéias apresentadas nos últimos textos referentes aos blocos 3 e 4. Assim é possível fazer uma discussão final, revisando todos os conceitos estudados até o momento.

Observação: O professor deve procurar destacar os pontos importantes que deseja discutir nessa aula utilizando uma apresentação em PowerPoint ou mesmo pontuando na lousa, para não correr o risco de dispersar e perder o foco principal. Pode também, utilizar essa aula para retomar questões que não estejam bem resolvidas ou apresentar novos questionamentos sem esquecer que a idéia principal no momento é uma preparação para avaliação dos assuntos discutidos nesse bloco.

AULA 19

Tema: Interação da radiação com a matéria e os detectores de radiação.

Objetivo: Verificação da aprendizagem.

Recursos Instrucionais:

- Avaliação escrita.

Momentos:

1º Momento	Avaliação sobre os assuntos trabalhados nos blocos 3 e 4.
	Tempo: ± 45 min

Observação: Caso o professor tenha a disponibilidade de duas aulas em seqüência pode iniciar a avaliação um pouco antes de terminar 17ª aula disponibilizando mais tempo de resolução para os alunos.

Dinâmica da Aula: Entrega das avaliações individuais sobre os blocos 3 e 4.

Detectores de Radiação

Detectores Naturais

Muitas vezes não percebemos como nosso corpo é uma máquina fantástica, e certamente o é, pois até os dias de hoje, ainda não conseguiram criar “algo” que se comparasse a ele. Nosso corpo é tão sofisticado que é dotado de sensores, ou melhor, detectores naturais que conseguem verificar a presença de diferentes tipos de radiações. Por exemplo, ao acordarmos pela manhã, abrindo os olhos, podemos verificar a presença da luz visível que entra pela janela, que nada mais é como já visto anteriormente, um tipo de radiação eletromagnética. Através da nossa pele, conseguimos detectar um outro tipo de radiação eletromagnética, a radiação infravermelha, ou melhor, a radiação térmica. Isso é fácil de ser percebido principalmente quando estamos com alguma região do nosso corpo descoberta e recebendo os raios solares diretamente na pele. Ela nos transmite a sensação térmica de quente, uma vez que esse sentido detectou isso.

Assim, somos um conjunto de mecanismos que permitem interagirmos com o mundo ao nosso redor e percebê-lo através das mais diferentes experiências, seja através do contato físico com as coisas, ou simplesmente pelo ato de senti-las.

Detectores Artificiais

Embora muitas radiações não possam ser detectadas por nossos sentidos, existem instrumentos apropriados que permitem detectar essas radiações, principalmente radiações constituídas de partículas e fótons (raios γ) que são emitidos quando um núcleo radioativo decai. Esses instrumentos detectam a ionização¹ causada por essas partículas e fótons ao atravessarem substâncias sólidas, líquidas ou gasosas. Entre os detectores de radiação mais usados podemos citar o **Contador Geiger** e o **Cintilador**.

Contador Geiger

Este é o detector de radiação mais conhecido. Também é chamado de Contador Geiger-Müller. Foi desenvolvido em 1908 por Johannes Hans Wilhelm Geiger (1882-1945), físico alemão, e aperfeiçoado pelo também físico alemão Walther Müller (1905-1979).

Consiste em um cilindro de metal cheio de gás. Os raios α , β e γ entram no cilindro através de uma janela fina situada em uma das extremidades. Os raios γ também podem penetrar diretamente através do metal. Um fio situado no eixo do cilindro é mantido a um alto potencial

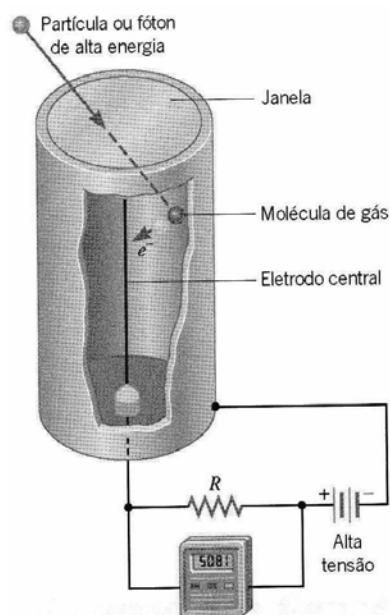


Hans Geiger (1882-1945)

¹ Ionização: fenômeno onde elétrons são arrancados do material.

positivo (1000 a 3000 V) em relação à parede do cilindro. Quando uma partícula ou fóton de alta energia penetra no cilindro, colide com uma molécula do gás, ionizando-a. O elétron arrancado da molécula é acelerado pelo fio positivo e adquire energia suficiente para ionizar outras moléculas. Com isso, novos elétrons são arrancados, e uma avalanche de elétrons atinge o fio, produzindo um pulso de corrente no resistor R do circuito externo. Esse pulso pode ser contado eletronicamente ou ser usado para produzir um "clique" em um alto-falante. O número de contagens ou cliques é proporcional ao número de desintegrações que produziram as partículas ou fótons.

Na figura ao lado temos o esquema de um contador Geiger.



Contador Geiger

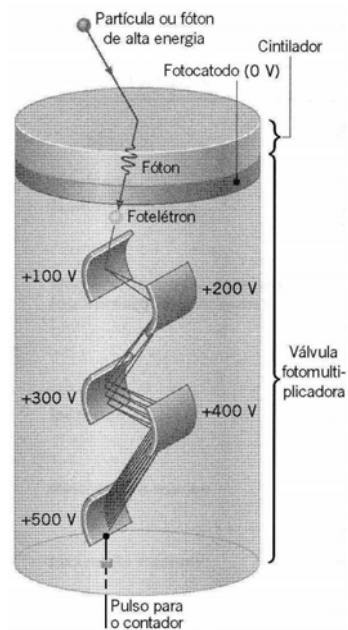
Cintilador

O cintilador é outro detector de radiação muito utilizado. Esse instrumento é constituído por um cintilador e uma válvula fotomultiplicadora. Em geral, o cintilador é um cristal (iodeto de cério, por exemplo) que contém uma pequena concentração de uma impureza (tálio, por exemplo), mas também são usados cintiladores plásticos, líquidos e gasosos.

Quando é submetido a uma radiação ionizante, o cintilador emite fótons de luz visível. Esses fótons incidem no fotocatodo da válvula fotomultiplicadora. O fotocatodo é feito de um material que emite elétrons ao ser bombardeado com fótons. Esses fotoelétrons são atraídos para um eletrodo especial mantido a uma tensão positiva de aproximadamente 100 V em relação ao fotocatodo.

O eletrodo é revestido com uma substância que emite vários elétrons para cada elétron que recebe. Esses elétrons são atraídos para um segundo eletrodo do mesmo tipo, mantido a uma tensão de 200 V em relação ao fotocatodo, que produz um número ainda maior de elétrons. As válvulas fotomultiplicadoras comerciais podem conter até 15 desses eletrodos especiais. Como no contador Geiger, os elétrons produzidos em um cintilador constituem um pulso de corrente que pode ser contado eletronicamente.

Na figura ao lado temos o esquema de um cintilômetro, onde se destacam o cintilador e a válvula fotomultiplicadora. Para efeitos de simplificação, o contador foi omitido no esquema.



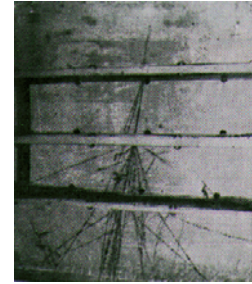
Cintilador

Observando a Trajetória das Radiações

Vários instrumentos podem ser usados para observar a trajetória das partículas emitidas por núcleos instáveis. Podemos citar entre estes instrumentos: a **câmara de nuvens**, a **câmara de bolhas** e as **emulsões fotográficas**.

Câmara de Nuvens

Na câmara de nuvens, um gás é resfriado até o ponto em que está prestes a se condensar. Quando uma partícula de alta energia, como uma partícula α ou uma partícula β , atravessa o gás, os íons produzidos se comportam como núcleos de condensação, e uma série de gotas é formada ao longo da trajetória da partícula. Na figura ao lado temos a fotografia da trajetória de uma partícula ao atravessar uma câmara de nuvens.



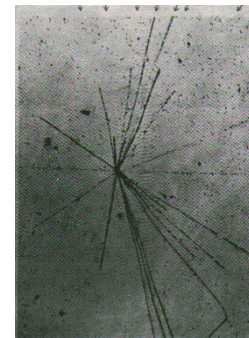
Câmara de Bolhas

A câmara de bolhas funciona de forma semelhante a câmara de nuvens. A principal diferença é que ela contém um líquido prestes a entrar em ebulição. Nesse caso, pequenas bolhas se formam ao longo da trajetória da partícula. As trajetórias que aparecem em uma câmara de bolhas podem ser fotografadas para que haja um registro permanente do evento. A figura ao lado mostra uma fotografia dos rastros de partículas em uma câmara de bolhas.



Emulsões Fotográficas

Para tornar viável a utilização dos raios cósmicos, única fonte de partículas de alta energia disponível até meados da década de 50, foi necessária a criação das emulsões fotográficas. Os íons formados quando a partícula atravessa a emulsão fazem com que sejam depositados grãos de prata ao longo da trajetória quando a emulsão é revelada. A figura ao lado mostra a fotografia do rastro de uma partícula separada em forma de estrela em uma emulsão.



Questões

- 1-) Que detectores naturais de radiação nossos corpos possuem?
- 2-) Diferencie a câmara de nuvens da câmara de bolhas.
- 3-) A chapa fotográfica também pode ser considerada um tipo de detector de radiação? Que tipo de radiação ela pode detectar?
- 4-) É possível que uma pessoa com os olhos fechados e com as mãos cobertas com luvas, consiga detectar a luz solar ao ser exposta a ela? Por quê?

Atividade 9 - Papel Fotográfico

Objetivo: Compreender a formação das imagens em chapas radiográficas, por analogia, a imagens registradas em papel fotográfico.

Esta atividade é uma continuação ao estudo dos raios X que irá favorecer o entendimento da formação das imagens nas radiografias.

Formem grupos com 4 alunos e formule sínteses das discussões, baseando-se nas orientações abaixo.

Materiais:

- Papel fotográfico.
- Materiais transparentes, translúcidos e opacos.

Orientações:

1-) Escolha alguns materiais transparentes, translúcidos e opacos.

2-) O professor lhe fornecerá papel fotográfico, que é sensível à luz.

3-) Coloque os materiais que você selecionou sobre o papel e deixe exposto à iluminação por cinco minutos.

4-) Decorridos os cinco minutos, retire os materiais que estão sobre o papel fotográfico e responda:

a) Todos os contornos das imagens formadas no papel fotográfico têm a mesma nitidez? Quais apresentam melhor nitidez? Por quê?

b) Há diferença nas imagens formadas pelos materiais transparentes, translúcidos e opacos? Justifique sua resposta.

c) Como se formaram as regiões claras e escuras no papel fotográfico?

d) Como se formam as regiões claras e escuras em uma radiografia?