



Caro(a) aluno(a),

Nos dois primeiros Cadernos, ao investigar a eletricidade e o magnetismo, você foi apresentado ao universo do “muito pequeno” por meio de modelos atômicos e interações relacionados aos elétrons e prótons.

Neste Caderno, você terá um contato maior com esse universo do “infinitamente pequeno”. E também a oportunidade de acompanhar a evolução de alguns dos modelos utilizados para a descrição desse universo.

Inicialmente, aprenderá como a matéria é constituída, fará comparações e analogias e ganhará parâmetros para compreender as dimensões do Universo. Poderá ter uma noção do quão pequenas são as partículas atômicas: não é possível observá-las nem com o mais potente microscópio!

Ao longo do Caderno, você poderá entender como os cientistas caminharam e caminham para conhecer mais sobre as partículas atômicas. Para isso, você será apresentado ao modelo atômico de Rutherford e Bohr, assim como às implicações e aos avanços conceituais provenientes desses modelos.

A partir do estudo desses avanços, poderá observar e entender como são identificados elementos químicos em materiais que vão desde elementos presentes num gás de cozinha ou de laboratório até elementos presentes numa estrela. Isso possibilitará, inclusive, a compreensão básica de alguns trabalhos realizados por astrônomos.

Ainda focando o estudo no comportamento dos elétrons, você será apresentado a uma nova interpretação para a luz: os fótons. Partindo da interação entre fótons e elétrons, você conhecerá o efeito fotoelétrico, base dos estudos realizados por alguns dos pesquisadores que receberam o Prêmio Nobel de Física em 2009.





Também estudará o *laser* e o desenvolvimento da tecnologia que utiliza de forma prática as interações entre fótons e elétrons.

Por fim, chegamos ao mundo da radioatividade, muitas vezes temida no imaginário popular. Entenderá como e quando ocorrem emissões de partículas radioativas (alfa, beta e gama) e verá aplicações práticas da radioatividade, como na medicina, por exemplo, podendo emitir juízo de valor e desenvolver seu senso crítico em relação ao tema.

Este Caderno apresenta sugestões de atividades práticas e de experimentos de investigação, além de sugestões de pesquisas que envolvem consultas a *sites*, livros e revistas, dando atenção aos conceitos físicos e à linguagem matemática. Eles são fundamentais para que você compreenda os conhecimentos propostos nesta etapa.

Equipe Técnica de Física
Ciências da Natureza e suas Tecnologias
Coordenadoria de Estudos e Normas Pedagógicas – CENP
Secretaria da Educação do Estado de São Paulo

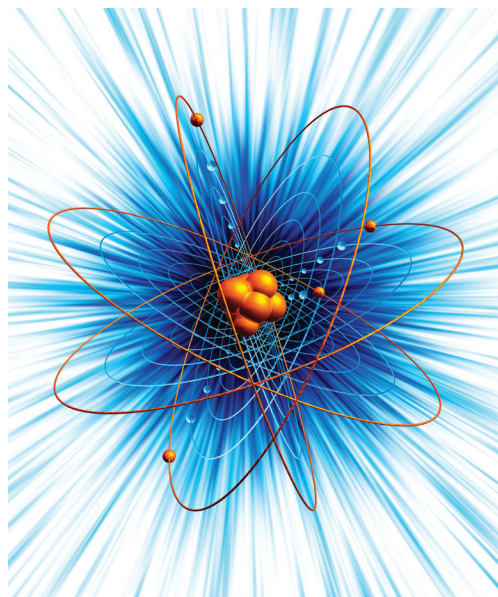


TEMA 1:

MATÉRIA, SUAS PROPRIEDADES E ORGANIZAÇÃO. ÁTOMO: EMISSÃO E ABSORÇÃO DA RADIAÇÃO

Ao observar a diversidade dos objetos que nos cercam, você percebe que são compostos de diferentes materiais. Canetas são usualmente feitas de plástico; régua podem ser feitas de madeira; lentes de óculos são, na sua maioria, de vidro; e os talheres são feitos de metais. E há ainda outros materiais, originados de seres vivos, como a lã e o couro, com os quais fazemos roupas, calçados e tantas outras coisas.

Há muito tempo, desde a Pré-História, o homem busca manipular e utilizar os diversos tipos de material com base em suas características. A ciência moderna também elabora esses materiais, e faz isso com base em conhecimentos sobre sua estrutura interna. Neste tema, você vai aprender a relacionar as características e as propriedades dos materiais com sua organização interna.



© Mehau Kulyk/Science Photo Library-Latinstock



SITUAÇÃO DE APRENDIZAGEM 1 OBJETOS QUE COMPÕEM O NOSSO MUNDO: SEMELHANÇAS E DIFERENÇAS

Nota-se que o mundo é formado por uma grande quantidade de seres e objetos muito diferentes entre si. Semelhanças e diferenças aproximam e separam os materiais que nos cercam. Vidros e plásticos são maus condutores de calor. Já metais e tecidos vivos são bons condutores de eletricidade. Vidros e metais são bons refletores de luz. Metais oxidam-se. Madeiras e plásticos são inflamáveis. Vidros e plásticos podem ser transparentes; os metais, não. Em parte, são essas características que definem se o material é ou não adequado para determinados usos. Por exemplo, o vidro é usado nas lentes de óculos devido à transparência. Na atividade a seguir, vamos tratar das formas de organizar os materiais a partir de suas propriedades e características.



© Tek Image/Science Photo Library-Latinstock

Problematizando e classificando

Corpos que compõem o universo ao nosso redor

Sob a orientação de seu professor, reúna-se em grupo com seus colegas e discuta as seguintes questões:

1. Faça, em seu caderno, uma lista de, pelo menos, vinte objetos usados no dia a dia.
2. Organize, no quadro a seguir, esses objetos segundo algumas de suas principais características, identificando semelhanças e diferenças.

3. A partir dessas características, identifique os materiais que os compõem.

4. Esses objetos têm alguma coisa em comum? Explique.

5. O que explicaria, então, a diversidade de suas características e propriedades físicas?



Estado físico

Muitas características e propriedades dos corpos se relacionam ao seu estado físico, pois a ligação entre átomos e moléculas varia muito quando acontece uma mudança de estado. Nos sólidos, o potencial de ligação é forte e pode ser representado como se átomos e moléculas fossem ligados por uma mola: os átomos e moléculas podem vibrar em conjunto, cada qual em uma posição de equilíbrio. Nos líquidos, esse potencial de ligação é mais fraco, mas ainda suficiente para manter as moléculas ligadas umas às outras – a maior liberdade de movimentação explica a fluidez dos líquidos. Nos gases, o potencial de ligação entre as moléculas pode ser considerado nulo; por isso, uma molécula pode se movimentar de forma quase independente de outra.



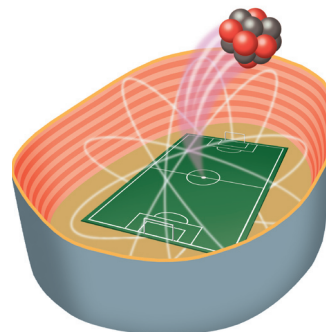
Leitura e Análise de Texto

Tamanho dos objetos estudados em Física Atômica

Ao examinar o tamanho relativo e o espaço entre partículas, é possível ter uma ideia dos tamanhos envolvidos nos objetos estudados em Física de Partículas. Se o núcleo de um átomo de hidrogênio fosse do tamanho da cabeça de um alfinete (1 mm), então o elétron nesse átomo estaria, aproximadamente, a 70 m de distância do núcleo.

Algumas relações de proporção que podem ajudá-lo na compreensão das dimensões atômicas e subatômicas são:

- Um núcleo típico é dez vezes maior do que um próton.
- Um átomo típico (o tamanho é determinado pelos elétrons mais externos) é 10 mil vezes maior do que um núcleo típico.
- Uma cabeça de alfinete ($1 \text{ mm} = 10^{-3} \text{ m}$) é 10 milhões de vezes maior do que um átomo típico.
- Na espessura de uma folha de papel A4 (75 g/cm^3), há, aproximadamente, 1 milhão de átomos.
- A massa de um próton é, aproximadamente, 2 mil vezes maior do que a de um elétron.



Representação aproximada da relação entre o tamanho do núcleo atômico e a sua eletrosfera. No caso, se o núcleo estivesse no centro do campo, o elétron mais próximo estaria atrás da trave.

Adaptado de: SIQUEIRA, Maxwell et al. *Física das partículas*. Bloco II: ordem de grandeza e modelos atômicos. p. 43. São Paulo: NuPIC/ FEUSP, 2006. Disponível em: <<http://nupic.incubadora.fapesp.br/portal/projetos/fisica-moderna/fisica-das-particulas-1>>. Acesso em: 8 mar. 2010.

Com base nas informações anteriores, responda:

Se sua casa fosse o núcleo do átomo de hidrogênio e seu vizinho fosse o elétron, a que distância ele estaria?

Raio atômico

A Mecânica Quântica permite obter o raio de vários átomos. A tabela de Sargent-Welch fornece o valor para muitos deles. Veja a seguir os raios de alguns átomos.

Tabela de Sargent-Welch

Raio atômico ($\times 10^{-10}\text{m}$)

Finalização de Lic Kobayashi sobre ilustrações de Pedro Antônio de Sousa Neto

H 0,37							He 0,60
Li 1,32	Be 1,11	B 0,88	C 0,77	N 0,70	O 0,66	F 0,64	Ne 0,90
Na 1,86	Mg 1,60	Al 1,43	Si 1,12	P 1,10	S 1,04	Cl 0,99	Ar 0,94
K 2,31	Ca 1,97	Ga 1,22	Ge 1,22	As 1,21	Se 2,17	Br 1,14	Kr 1,09
Rb 2,44	Sr 2,15	In 1,62	Sn 1,40	Sb 1,41	Te 1,37	I 1,33	Xe 1,30
Cs 2,62	Ba 2,17	Tl 1,71	Pb 1,75	Bi 1,46	Po 1,50	At 1,40	Rn 1,40

Exemplo:

Ao pensarmos em um metal, a imagem que normalmente vem à cabeça é a de uma estrutura compacta, na qual os átomos estão muito próximos. Será que essa visão é correta? Qual o espaço ocupado pelos átomos numa barra de ferro?

É simples calcular o volume para cada átomo numa barra de ferro. Basta conhecermos a densidade da barra ($\approx 7,86 \text{ g/cm}^3$) e a massa atômica do ferro (56), em que esta indica a quantidade de matéria em 1 mol de um certo elemento. Utilizando a relação de Avogrado, sabemos que em 1 mol de uma substância existem aproximadamente $6,02 \times 10^{23}$ átomos. Assim:

$$56 \text{ g de ferro} \text{ — } X \text{ cm}^3$$

$$7,86 \text{ g de ferro} \text{ — } 1 \text{ cm}^3$$

$$X = 7,12 \text{ cm}^3$$

Em $7,12 \text{ cm}^3$ de ferro temos $6,02 \times 10^{23}$ átomos; o volume para cada átomo é:

$$V = 7,12 \times 10^{-6} \text{ m}^3 / 6,02 \times 10^{23} \text{ átomos.}$$

Ou:

$$V = 1,183 \times 10^{-29} \text{ m}^3 \text{ para cada átomo.}$$

De acordo com a tabela de Sargent-Welch, o raio atômico do ferro é $1,4 \times 10^{-10} \text{ m}$. Calcule o volume ocupado por ele e compare com o valor acima.



VOCÊ APRENDEU?



1. O diamante e a grafite são constituídos de carbono, mas têm transparências muito diferentes. Por que alguns corpos se apresentam transparentes, e outros não?

2. Qual a vantagem de utilizar a característica atômica como meio de classificação dos materiais?

3. O que caracteriza o estado físico de um corpo? Use a água como exemplo.

4. Se um átomo fosse do tamanho de uma cabeça de alfinete, a espessura da folha de papel teria qual medida?



LIÇÃO DE CASA



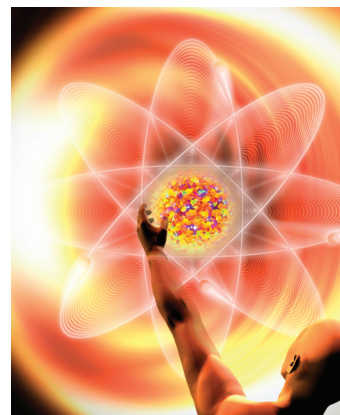
1. Pesquise em seu livro didático, na biblioteca de sua escola ou na internet: qual a característica atômico-molecular que explica a melhor ou a pior condução de calor nos corpos? Justifique.

2. Quantos átomos de ferro compõem uma colherzinha de café? (Use como guia a resolução do exemplo apresentado nas páginas 6 e 7.)



SITUAÇÃO DE APRENDIZAGEM 2 COMO PODEMOS “VER” UM ÁTOMO?*

Na Situação de Aprendizagem anterior, você aprendeu que a matéria é constituída de átomos e que a combinação entre eles bem como o estado físico da matéria permitem explicar a diversidade de características e propriedades percebidas. O átomo é o constituinte básico da matéria e sua dimensão é da ordem de 10^{-10} m. Com esse tamanho, deve ter ficado claro para você que um átomo não pode ser visto a olho nu, nem mesmo com o auxílio dos mais potentes instrumentos ópticos. Nesse fato reside um enigma: como foi possível “ver” o interior da matéria? Como sabemos representar o átomo?



© Mike Agliolo/Corbis-Latinstock



ROTEIRO DE EXPERIMENTAÇÃO

Observando algo invisível!

Você já participou de um jogo de sinuca ou brincou com bolinhas de gude? Se já fez isso, sabe que, quando atiramos uma bolinha com dada velocidade contra um objeto ou anteparo, dependendo de seu tamanho e formato, ela rebate de forma diferente. Vamos usar essa “técnica” simples: atirar bolinhas contra um anteparo (alvo) para observar como elas se comportam depois de se chocar contra o alvo. A atividade permitirá compreender uma importante experiência, feita em 1908 pelos cientistas Ernest Rutherford, Ernest Marsden e Hans Geiger, usada para elaborar um modelo atômico. Você vai descobrir o formato e a estrutura de um material sem enxergá-lo diretamente, pois ele estará escondido embaixo de uma placa de madeira.

* Adaptado de: SIQUEIRA, Maxwell et al. *Física das partículas*. São Paulo: NuPIC/FEUSP, 2006. Disponível em: <<http://nupic.incubadora.fapesp.br/portal/projetos/fisica-moderna/fisica-das-particulas-1>>. Acesso em: 8 mar. 2010.

Materiais

- placa de madeira com um corpo material plano fixado numa das faces, que ficará virada para baixo;
- bolinhas bem pequenas, de plástico, vidro ou metal, de no máximo 1 cm de diâmetro;
- folhas em branco, lápis e caneta.

**Lembre-se!**

Você precisará descobrir uma característica do objeto sem conseguir vê-lo diretamente. Por isso, não tente enxergá-lo. Se o fizer, a atividade perderá todo o sentido!

Mãos à obra

1. Atire as bolinhas embaixo da placa, identificando sua trajetória.
2. Repare, com muito cuidado, qual o caminho que cada uma faz ao ser lançada em direção ao alvo e por qual caminho ela volta após bater nele.
3. Para melhorar suas observações, coloque um papel em branco sobre a placa e use uma caneta ou um lápis para marcar com precisão a trajetória das bolinhas.
4. Depois procure responder com seus colegas de grupo às questões a seguir.

1. Qual é o possível formato do corpo embaixo da placa? Represente-o com um desenho.

2. Como e por que vocês chegaram a essa conclusão? Vocês poderiam confirmá-la?

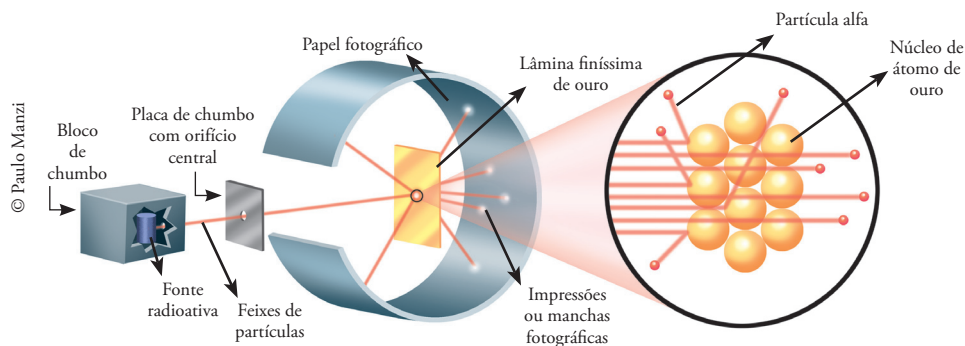
3. O tamanho da bolinha tem alguma relação com a capacidade de perceber os detalhes do formato do material? Se as bolinhas fossem menores, os resultados poderiam ser diferentes? Explique.

4. É possível “ver” algo invisível? Discuta com seus colegas e responda de acordo com a atividade realizada.



Leitura e Análise de Texto

O modelo atômico de Rutherford (1911)



Em 1911, o físico neozelandês Ernest Rutherford (1871-1937) publicou os resultados de sua “experiência de espalhamento de partículas alfa”, na qual relata suas descobertas sobre a estrutura do átomo, que são a base para o modelo atômico que estudamos até os dias de hoje.

Em sua experiência, Rutherford bombardeou uma fina folha de ouro com partículas alfa (pequenas partículas radioativas portadoras de carga elétrica positiva, emitidas por alguns átomos radioativos, como o polônio) e observou que a maioria atravessou a lâmina, outras mudaram ligeiramente de direção e algumas ricochetearam, o que foi evidenciado por uma tela com material apropriado (fluorescente) usada para a identificação das partículas alfa. Mas o que Rutherford esperava com isso?

Esperava que as partículas alfa atravessassem a folha de ouro quase sem desvios, se tudo desse certo de acordo com os conhecimentos atômicos da época. Entretanto, os desvios foram muito mais intensos do que se poderia supor e algumas partículas até ricochetearam. Foi a partir dessa experiência que Rutherford apresentou suas ideias para o meio científico. Alguns conceitos do modelo de Thomson para o átomo foram mantidos, mas com modificações estruturais importantes.

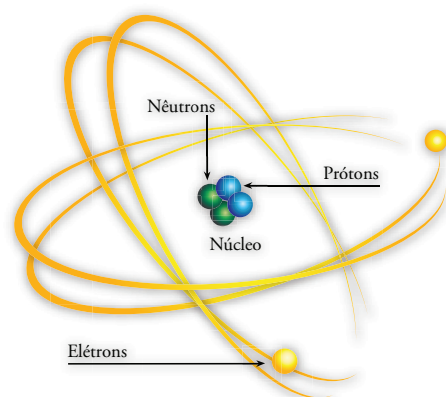
No modelo de Rutherford, os átomos são constituídos por um núcleo muito denso, carregado positivamente, no qual se concentra praticamente toda a massa. Os elétrons ficam ao redor desse núcleo positivo, distribuídos espaçadamente numa região denominada eletrosfera. Ele comparou seu modelo ao Sistema Solar, no qual o Sol seria o núcleo e os planetas seriam os elétrons. Surge, então, o célebre modelo planetário do átomo.

De sua experiência, Rutherford também pôde concluir, a partir de medidas quantitativas, que o átomo teria um núcleo com diâmetro da ordem de 10^{-15} m e que o diâmetro do átomo seria da ordem de 10^{-10} m. Isso significa que o núcleo é aproximadamente 100 mil vezes menor de que o átomo. Esse valor originou uma unidade de medida conhecida por angstrom ($1\text{Å} = 10^{-8}$ cm ou 10^{-10} m).

Portanto, as principais características do átomo de Rutherford são:

- o átomo não é maciço, mas formado por uma região central, denominada núcleo, muito pequena em relação ao diâmetro atômico;
- esse núcleo concentra praticamente toda a massa do átomo e é dotado de carga elétrica positiva, onde estão os prótons;
- na região ao redor do núcleo, denominada eletrosfera, os elétrons (partículas cerca de 1836 vezes mais leve do que os prótons) giram em órbitas circulares, neutralizando a carga nuclear.

As partículas alfa (α) são constituídas por núcleos de hélio (dois prótons e dois nêutrons) com carga +2 (${}_{+2}\text{He}$) e massa 4 u (${}^4\text{He}$), sendo u = unidade de massa atômica = $1,66 \times 10^{-24}$ gramas.



© Lie Kobayashi

Adaptado de: BROCKINGTON, Guilherme; SOUSA, Wellington Batista de; UETA, Nobuko. *Física: Física moderna e contemporânea*, módulo 6. Pró-Universitário, USP. Secretaria da Educação do Estado de São Paulo, 2005. Disponível em: <<http://naeg.prg.usp.br/puni/disciplinas/fisica/homedefisica/arquivos/modulo6/modulo6.pdf>>. Acesso em: 8 mar. 2010.

Depois da leitura, com apoio de seu professor, responda, em seu caderno:

1. Represente o modelo atômico de Rutherford para o átomo de hidrogênio.
2. Faça um desenho que represente a força elétrica que atua no elétron.
3. Estime a intensidade da força elétrica que atua no elétron a partir do valor das cargas elétricas presentes no hidrogênio e no raio da órbita do elétron (busque os valores necessários).
4. A partir desse valor, estime a velocidade orbital do elétron (lembre-se de que os elétrons giram em torno do átomo).



VOCÊ APRENDEU?



1. Destaque as principais características do modelo atômico de Rutherford.

2. Por que, na experiência de Rutherford, a maioria das partículas atravessa a folha sem sofrer nenhum desvio?



LIÇÃO DE CASA



Pesquise em seu livro didático, na biblioteca de sua escola ou na internet e resolva as próximas situações:

1. Busque informações sobre os modelos atômicos de Dalton, Thomson e Rutherford e escreva, em poucas palavras, as ideias centrais de cada modelo. Procure notar a partir de qual modelo se introduzem as cargas elétricas no interior do átomo e a forma como elas estão distribuídas.
2. Em 1911, Rutherford publica os resultados de sua famosa e importante experiência, na qual bombardeou com partículas alfa uma fina lâmina de ouro. (Veja a Figura da página 10.) Uma partícula alfa é um núcleo de átomo de hélio ionizado. A partir do experimento descrito, explique por que as partículas alfa sofrem desvios de trajetória.



SITUAÇÃO DE APRENDIZAGEM 3 DADOS QUÂNTICOS

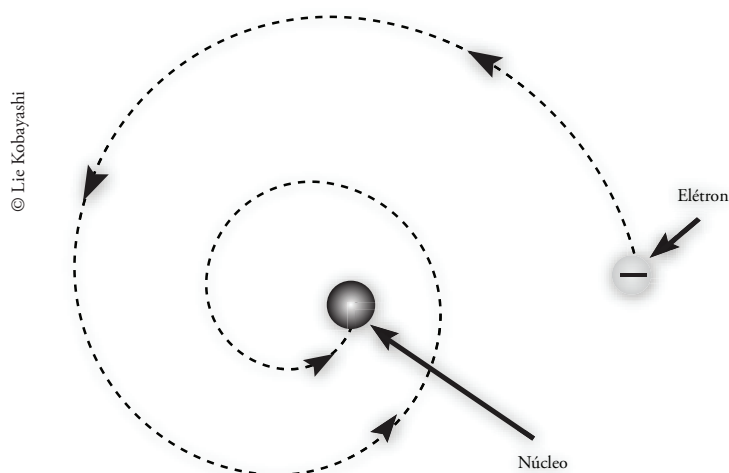
Na Situação de Aprendizagem anterior, estudamos o modelo proposto por Rutherford e como este modelo foi um passo importante no desenvolvimento da Ciência. Nesse modelo, elétrons giravam em torno do núcleo porque, se estivessem parados, seriam atraídos eletricamente por ele.

A aproximação com o modelo planetário, ou seja, imaginar que os elétrons orbitam o núcleo, foi uma forma interessante de pensar a estrutura interna do átomo. Mas esse modelo fez surgir um problema. A teoria aceita e conhecida até então, a eletrodinâmica clássica, previa que toda partícula carregada em movimento e com aceleração deveria emitir energia. Dessa forma, o elétron deveria perder energia, diminuir a velocidade e se dirigir ao núcleo em um movimento espiralado, como mostra a figura abaixo.



© Don Farrall/Photodisc-Latinstock

Colapso do átomo



© Lie Kobayashi

Logo se percebeu que o modelo planetário do átomo era apenas uma primeira aproximação e que muitas descobertas seriam reveladas pela continuidade das pesquisas em Física Atômica.

Esta Situação de Aprendizagem pretende explorar uma das mais intrigantes propriedades atômicas, responsável por dar o “tom” das pesquisas no século XX: a quantização dos níveis de energia.



Leitura e Análise de Texto

O modelo atômico de Bohr (1913)

Em 1913, o físico dinamarquês Niels Bohr (1885-1962), Prêmio Nobel em 1922, propôs um modelo atômico explicando a estabilidade do átomo. Bohr obteve um excelente resultado aplicando a teoria quântica do alemão Max Planck (1858-1947). Após um estudo detalhado do espectro descontínuo do átomo de hidrogênio, que tem apenas um elétron movendo-se em torno do núcleo, Bohr propôs um modelo atômico por meio dos seguintes postulados:*

- O elétron descreve órbitas circulares ao redor do núcleo, cujos raios r_n são dados pela expressão:
$$r_n = n^2 \cdot \frac{\epsilon_0 \cdot h^2}{\pi \cdot m \cdot Z \cdot e^2}$$
 ϵ_0 = permissividade elétrica do vácuo
 h = constante de Planck
- As órbitas foram chamadas por Bohr de estados estacionários e, portanto, diz-se que o elétron está em um estado estacionário ou nível de energia em que cada órbita é caracterizada por um número quântico (n), que pode assumir valores inteiros entre 1, 2, 3, ...; a energia associada aos níveis de energia do hidrogênio é dada por:

$$E_n = \frac{-13,60 \text{ eV}}{n^2}$$

- Um elétron que permanece em dado estado estacionário não emite energia, apresentando, assim, uma energia constante.
- A passagem de um elétron de uma órbita para outra supõe absorção ou emissão de determinada quantidade de energia, conforme o elétron se move de uma posição menos energética para outra mais energética, e vice-versa.
- A energia é absorvida ou liberada na forma de radiação eletromagnética e é calculada pela expressão: $\Delta E = h \cdot f$ ou $E_f - E_i = h \cdot f$.

Adaptado de: BROCKINGTON, Guilherme; SOUZA, Wellington Batista de; UETA, Nobuko. *Física: Física moderna e contemporânea*, módulo 6. Pró-Universitário, USP. Secretaria de Educação do Estado, 2005. Disponível em: <<http://naeg.prg.usp.br/puni/disciplinas/fisica/homedefisica/arquivos/modulo6.pdf>>. Acesso em: 8 mar. 2010.

Agora, responda à questão:

- Utilize as expressões matemáticas do texto acima para calcular o valor da energia dos níveis de 1 a 5 para o átomo de hidrogênio.

* De acordo com o *Dicionário Houaiss*, postulado designa uma “afirmação ou fato admitido sem necessidade de demonstração”. *Dicionário Houaiss da língua portuguesa*, edição eletrônica. Rio de Janeiro: Objetiva, 2007.



APRENDENDO A APRENDER

Fótons e o efeito fotoelétrico

Um importante passo no desenvolvimento das concepções sobre a natureza da luz foi dado no estudo de um fenômeno muito interessante, que recebeu o nome de efeito fotoelétrico. Esse efeito consiste na emissão de elétrons pela superfície de um material quando a luz visível ou ultravioleta incide sobre ela. Esse fenômeno pode acontecer com vários materiais; no entanto, é mais facilmente observado em metais. Para explicar o efeito fotoelétrico, Albert Einstein estabeleceu que a luz, ou qualquer outra forma de radiação eletromagnética, não é contínua, mas composta de pequenos “pacotes” de energia, ou fótons.

Com isso, no efeito fotoelétrico, cada elétron do material sobre o qual a luz incide pode absorver apenas um fóton por vez. Se a energia desse fóton for suficiente, o elétron pode ser arrancado da superfície do material, sendo emitido com uma determinada energia cinética. Einstein também explicou uma característica desconcertante do efeito fotoelétrico. Embora a intensidade da luz faça mais elétrons se projetarem do material, a velocidade dos elétrons liberados permanece a mesma, não importa o quanto a luz é mais ou menos brilhante. A única maneira de mudar a velocidade dos elétrons é usar uma cor diferente de luz. Como explicação, Einstein propôs que a energia de cada partícula de luz (fóton) depende de sua frequência, sendo h a constante de Planck ou constante de proporcionalidade.

Assim, a energia transportada por um fóton é dada pela expressão $E = f \times h$, onde E é a energia do fóton, f sua frequência e h a constante de Planck, cujo valor é aproximadamente $6,63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$. Podemos aplicar essa expressão para saber o valor da energia de um fóton de qualquer radiação eletromagnética; por exemplo:

- A frequência da radiação eletromagnética vermelha (luz vermelha) é de $4,5 \times 10^{14} \text{ Hz}$. A energia de um fóton dessa radiação (fóton vermelho) será:

$$E = f \cdot h = 4,5 \times 10^{14} \text{ Hz} \cdot 6,63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} = 2,9835 \times 10^{-19} \text{ J}.$$

- A frequência da radiação eletromagnética azul (luz azul) é de $6,5 \times 10^{14} \text{ Hz}$. A energia de um fóton dessa radiação (fóton azul) será:

$$E = f \cdot h = 6,5 \times 10^{14} \text{ Hz} \cdot 6,63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} = 4,3095 \times 10^{-19} \text{ J}.$$

Um fóton azul contém mais energia do que um fóton vermelho e age essencialmente como uma bola de bilhar com mais energia, transmitindo desse modo maior energia de movimento a um elétron.

Hoje, o efeito fotoelétrico é explorado nas mais diversas tecnologias, como nas células fotoelétricas – dispositivos que têm a capacidade de transformar energia luminosa, seja ela proveniente do Sol, seja de qualquer outra fonte, em energia elétrica. Essas células podem funcionar como geradoras de energia elétrica ou mesmo como sensores capazes de reagir à incidência de luz, como nas fotocélulas das portas de elevadores e lojas.



ROTEIRO DE EXPERIMENTAÇÃO

Dados quânticos

Você já deve ter participado de algum jogo de tabuleiro em que um dado indica quantas “casas” se pode pular. Agora, imagine que você comprou um jogo com defeito e que um dos dados veio com uma face com o número 0,5. Nesse caso, os jogadores poderiam estipular que quem tirasse esse número perderia sua vez, pois não há como pular “meia casa”! Só se pode avançar no jogo quando se tira um número inteiro, como 1, 2, 3 etc.

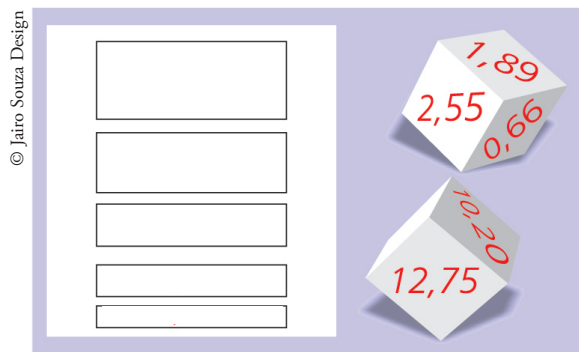
Vamos, então, supor que exista um jogo no qual, para avançar nas casas do tabuleiro, fossem necessários valores diferentes. Talvez um dado com um número “quebrado”, como 1,25, fosse útil e permitisse que você mudasse de casa. Esse será o tipo de jogo que faremos hoje. Nosso tabuleiro representa os níveis energéticos de um átomo, e o “pino” que levaremos de uma casa à outra representa um elétron.

Materiais

- cartolina;
- tesoura;
- caneta.

Mãos à obra

1. Recorte uma cartolina de forma que você consiga fazer dois cubos. Eles serão os seus dados.
2. Nas faces de um dos dados escreva os números 0; 0,31; 10,20; 12,09; 12,75 e 13,06. Escreva os números 0; 0,66; 0,97; 1,89; 2,55 e 2,86 no segundo dado.
3. Agora você precisa montar um tabuleiro que seja compatível com seus dados. Para isso, cada casa corresponderá a um nível energético do átomo de hidrogênio. Para conhecer esses valores, utilize a fórmula $E = -13,60 \cdot Z^2/n^2$, onde E é a energia correspondente ao nível n , na unidade eV (elétron-volt). Os níveis atômicos vão de 1 a 5. (Lembre-se de que o número atômico Z do hidrogênio é 1.)



Vocês deverão partir do nível 1 e chegar ao nível 5. Para isso, o valor tirado no dado deve ser a exata diferença dos valores de dois níveis. Sob a orientação de seu professor, junte-se a seus colegas e veja quem consegue ser o primeiro a chegar ao nível 5. Cada um deverá ser um elétron e é obrigatório sempre jogar os dois dados.

Após realizar a atividade, responda em seu caderno às seguintes questões:

1. Quantas jogadas são necessárias para ir do nível 1 ao 5?
2. Qual é o nível mais energético dos cinco? O elétron precisa ganhar ou perder energia para chegar a esse nível?
3. O valor 10,10 eV permite que o elétron saia do primeiro nível? E o valor 10,30 eV?
4. O que significa “ser quantizado”? Dê alguns exemplos de objetos quantizados que você conhece.



VOCÊ APRENDEU?



1. Qual o principal problema no modelo atômico proposto por Rutherford?

2. Por que a palavra “quantização” caracteriza tão bem os resultados obtidos pelo modelo de Bohr?

3. No modelo atômico de Bohr, o que é necessário acontecer para que um elétron passe de uma posição (órbita) menos energética para outra mais energética?



LIÇÃO DE CASA



1. Considere que o elétron no átomo de hidrogênio “salte” do nível de energia $n = 3$ para o estado fundamental (nível $n = 1$). Baseando-se no diagrama ou na expressão de níveis para o átomo de hidrogênio, responda:
 - a) Ao realizar esse “salto”, o elétron absorveu ou emitiu energia? Qual o valor dessa energia envolvida? Responda utilizando a unidade elétron-volt.

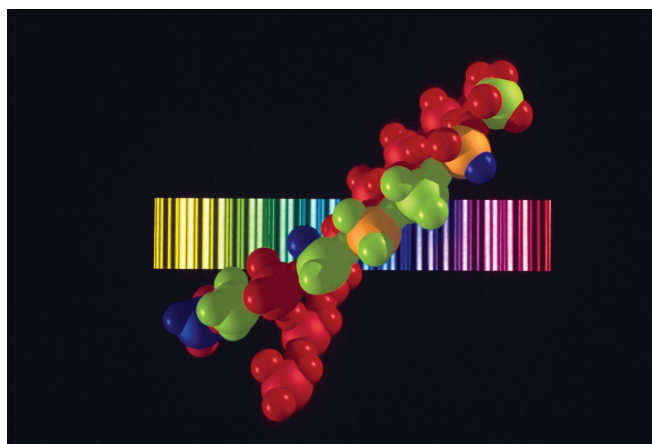
b) Qual o valor da energia, em Joule, e da frequência do fóton ao realizar essa transição de nível?

2. Acesse o endereço <<http://nupic.incubadora.fapesp.br/portal/modulos>>, faça *download* da simulação “Dardos Quânticos” e explore-a.
3. O que é o efeito fotoelétrico? Por que esse efeito ocorre preferencialmente em superfícies metálicas? Justifique sua resposta.



SITUAÇÃO DE APRENDIZAGEM 4 IDENTIFICANDO OS ELEMENTOS QUÍMICOS DOS MATERIAIS

Após o estudo do átomo de hidrogênio na Situação de Aprendizagem anterior, você deve ter percebido que esse átomo tem níveis de energia bem estabelecidos. Quando um elétron muda de um nível mais energético para um menos energético, o átomo de hidrogênio emite luz de uma frequência bem determinada. O que você pode imaginar agora é que, sendo o conjunto dos níveis de energia característico da substância que o emite, ele serve como uma espécie de “impressão digital” para átomos e moléculas. Se formos capazes de obter essas informações dos materiais, saberemos do que eles são feitos. Nesta Situação de Aprendizagem, estudaremos os espectros das substâncias e veremos por que eles podem ser considerados as impressões digitais dos elementos.



© Phanie/Stock Image-Latinstock

O que está escondido nesse material?

É difícil imaginar que um fenômeno culinário corriqueiro possa ter relação com a Física Quântica, mas tem. Uma chama de fogão normalmente é azulada, que é a cor da luz emitida pelos gases de combustão submetidos a altas temperaturas, mas talvez você já tenha reparado que, quando

alguém derruba parte de um alimento que está sendo cozido sobre o fogão, atingindo a chama, o fogo torna-se mais amarelado durante um breve intervalo.

Como já foi estudado, os átomos emitem luz de uma cor característica (frequência) quando um elétron muda de nível energético. No caso do fogão, em geral, o que torna a chama amarelada é o sal presente no alimento. O sal de cozinha é um composto de sódio (NaCl), e quando esse material recebe energia, como o fogo, o elétron do átomo de sódio vai para um nível mais energético e emite uma luz amarelada quando volta ao nível fundamental.

Se o sal de cozinha não fosse composto de sódio, mas de outro elemento químico, como potássio, a cor seria outra. A cor da chama depende do elemento químico, pois cada elemento possui níveis de energia com valores característicos. Vimos que o átomo de hidrogênio tem determinados níveis energéticos ($-13,60$ eV, $-10,20$ eV etc.), mas, de um elemento químico para outro, esses valores podem mudar. Assim, a luz emitida nas transições de elétrons pode ter diferentes cores. É como dizer que cada elemento químico tem uma assinatura que pode ser desvendada pela luz emitida pelo elemento na combustão.



Leitura e Análise de Texto

Robert Bunsen e Gustav Kirchhoff foram dois cientistas que estudaram a composição atômica dos materiais. Leia a carta de Bunsen e responda às questões a seguir.

Carta de Bunsen

“No momento estou envolvido em uma pesquisa com Kirchhoff, que nos deixou noites em claro. Kirchhoff fez uma das mais belas e inesperadas descobertas: ele descobriu a causa das linhas escuras no espectro solar e conseguiu igualmente intensificá-las de forma artificial e provocar o seu aparecimento no espectro contínuo de uma chama, identificando a posição dessas linhas com as de Fraunhofer. Assim, abre-se a possibilidade de determinar a composição material do Sol e das estrelas fixas com o mesmo grau de certeza com que podemos constatar com nossos reagentes a presença de óxido de enxofre e cloro. Por esse método também é possível determinar a composição da matéria terrestre, distinguindo as partes componentes com a mesma facilidade com que se distingue a matéria contida no Sol. Pude, por exemplo, detectar o lítio em vinte gramas de água do mar. Para registrar a presença de muitas substâncias, esse método deve ser preferido a qualquer um dos até agora conhecidos. Assim, se tivermos uma mistura de lítio, potássio, sódio, bário, estrôncio e cálcio, tudo que se tem de fazer é levar um miligrama da mistura ao nosso aparelho para determinar a presença de todas as substâncias acima indicadas por mera observação. Algumas dessas reações são extremamente delicadas. Detectei cinco milésimos de miligrama de lítio com a maior facilidade e precisão. Descobri a presença desse metal em quase todas as amostras de potassa.”

ROSCOE, Henry. Bunsen memorial lecture. *Journal of Chemical Society. Transactions*, v. 77, 1900, p. 531. Tradução Maurício Pietrocola.

1. Qual a importância da descoberta apresentada pelo cientista em sua carta?

2. Por que ele está tão entusiasmado com ela?



Leitura e Análise de Texto

Séries de Balmer

Maurício Pietrocola

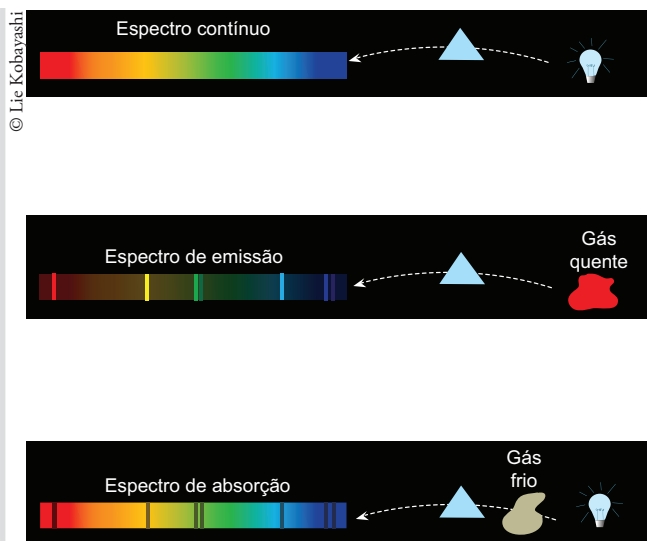
Um gás, ao ser excitado pela passagem de uma descarga elétrica, emite radiação. O espectro dessa radiação emitida não é contínuo, mas discreto, contendo apenas alguns comprimentos de onda. Esse espectro de emissão é característico do elemento no estado de vapor quando excitado, sendo único para tal elemento. Portanto, a análise do espectro de emissão fornece informações sobre a composição química de determinada substância.

Tal espectro tem origem na excitação da nuvem eletrônica ao redor do núcleo. Os elétrons excitados, ao passar para um estado de energia menor, emitem fótons cuja energia é igual à diferença de energia dos dois estados da transição. O espectro em geral constitui-se de diferentes séries de linhas para determinado elemento. A primeira observação de uma série coube a J. J. Balmer, que, em 1885, observou uma série de linhas discretas emitidas pelo hidrogênio.

Linhas do espectro de hidrogênio (série de Balmer, espectro visível)			
Linha	Frequência (10^{14} Hz)	Comprimento de onda (10^{-9} m)	Cor
H_{α}	4,57	656	Vermelho
H_{β}	6,17	486	Azul-esverdeado
H_{γ}	6,91	434	Azul
H_{δ}	7,32	410	Violeta

Leis de Kirchhoff

Em seus trabalhos, Kirchhoff extraiu algumas “leis” empíricas muito úteis no tratamento de espectros. São elas:



1. Um corpo opaco muito quente (sólido, líquido ou gasoso) emite um espectro contínuo.
2. Um gás transparente muito quente produz um espectro de linhas brilhantes (de emissão). O número e a posição dessas linhas dependem dos elementos químicos presentes no gás.
3. Se um espectro contínuo emitido por um corpo quente passar por um gás à temperatura mais baixa, a presença do gás frio faz surgir linhas escuras (absorção). O número e a posição dessas linhas dependem dos elementos químicos presentes no gás.

Elaborado especialmente para o *São Paulo faz escola*.

Após a leitura do texto, responda:

1. Explique com suas palavras o que é um “espectro”.

2. Qual a grande aplicabilidade dos espectros para a identificação de materiais?

3. O que define o número e a posição das linhas escuras em um espectro de absorção?



LIÇÃO DE CASA



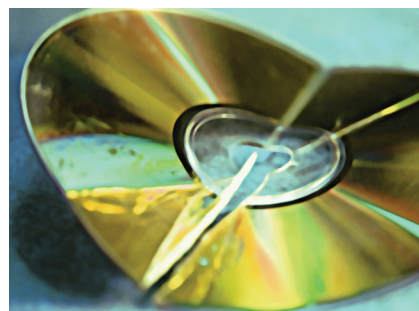
1. Sabemos que o Sol é composto principalmente de hidrogênio e hélio. Pesquise em seu livro didático, na biblioteca de sua escola ou na internet quais outros elementos a análise espectral mostrou que lá existem.

2. Qual a relação entre um espectro de absorção e um espectro de emissão?



SITUAÇÃO DE APRENDIZAGEM 5 UM EQUIPAMENTO ASTRONÔMICO*

Você já deve ter percebido que as lâmpadas utilizadas nas vias públicas ora são mais “amareladas”, ora são mais “azuladas”. O que talvez você não saiba é que essa diferença de tonalidade está ligada ao tipo de gás que se encontra no interior da lâmpada. Se obtivéssemos o espectro dessas lâmpadas, seria fácil afirmar que elas são realmente feitas de sódio (as “amareladas”) ou de mercúrio (as “azuladas”). O espectroscópio é um equipamento que permite obter espectros. Vamos construir um desses equipamentos de forma bem simples e, com a ajuda dele, obter e analisar o espectro de algumas fontes de luz.



© Derek P. Redfern/The Image Bank-Getty Images



ROTEIRO DE EXPERIMENTAÇÃO

Montando um espectroscópio

Talvez você já tenha ouvido falar de grandes descobertas astronômicas: uma nova galáxia que até então era desconhecida, a explosão de uma estrela etc. Mas você já parou para pensar como é possível estudar um objeto celeste que está a uma distância tão grande de nós? Os astrônomos estudam o céu principalmente por meio da luz que os corpos emitem, que é a maior fonte de informação que chega à Terra. Analisando cuidadosamente as características da luz emitida, é possível descobrir muitas coisas que ocorrem no Universo. Construiremos um aparelho que permite analisar a luz, decompondo-a em suas diferentes frequências. Ele se chama espectroscópio, e por meio dele poderemos estudar a luz emitida por muitos objetos.

Materiais

- fita isolante e fita adesiva comum;
- papel *color set* preto;
- um CD;
- cola e régua;
- estilete e tesoura;
- tubo de papelão (pode ser um tubo de papel higiênico).



© Fernando Favoretto

* Adaptado de BROCKINGTON et al. *Curso de dualidade onda-partícula*. São Paulo: NuPIC/FEUSP, 2005. Disponível em: <<http://nupic.incubadora.fapesp.br/portal/projetos/fisica-moderna/dualidade-onda-particula-1>>. Acesso em: 8 mar. 2010.

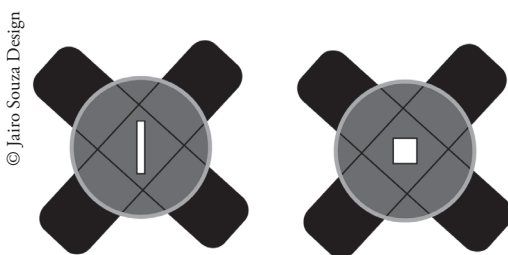
Mãos à obra**Montagem do espectroscópio**

1. Com o papel *color set*, construa um cilindro de aproximadamente 4 cm de diâmetro e de 7 a 10 cm de comprimento. Use um tubo de papelão (tubo de papel higiênico ou papel-toalha) como base, se desejar. Veja a figura a seguir.

Tubo de papelão

© Fernando Favretto

2. Utilizando o papel preto, faça duas tampas com abas para o cilindro, como na figura. Em uma delas, use um estilete para recortar uma fenda fina (mais ou menos $2\text{ cm} \times 1\text{ mm}$). Na outra tampa, faça uma abertura no centro (mais ou menos $1\text{ cm} \times 1\text{ cm}$).

Tampas

© Jairo Souza Design

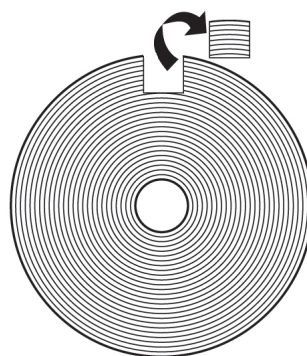
3. Retire a película refletora do CD usando fita adesiva (grude-a na superfície e puxe-a). Se necessário, faça um pequeno corte com a tesoura no CD para facilitar o início da remoção. Veja a figura a seguir.

CD com a película removida

© Fernando Favretto

4. Depois de retirar a película, recorte um pedaço quadrado do CD (mais ou menos $2\text{ cm} \times 2\text{ cm}$). Utilize preferencialmente as bordas, pois as linhas de gravação (que são invisíveis) são quase paralelas e, conseqüentemente, a imagem que elas irão formar será mais nítida.

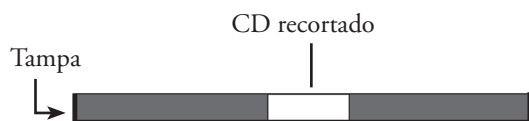
É importante fazer uma marcação no pedaço recortado do CD para não esquecer qual a orientação das linhas (em qual posição as linhas são paralelas).

Recorte do pedaço de CD

© Jairo Souza Design

5. Cole as tampas no cilindro, deixando a fenda alinhada com a abertura. Fixe o pedaço recortado do CD na tampa com a abertura quadrada, usando a fita isolante apenas nas bordas.

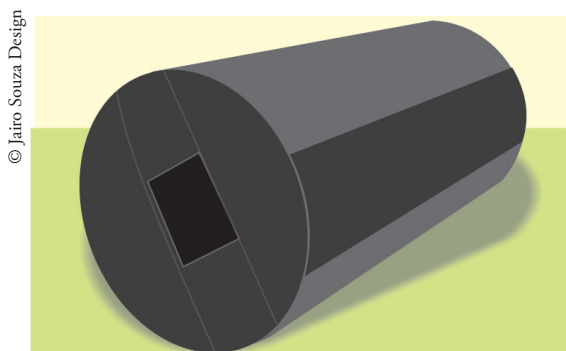
Fixação do pedaço recortado do CD na tampa



O ideal é orientar as linhas de gravação paralelamente à fenda do espectroscópio, pois assim as imagens que observaremos também estarão alinhadas com a fenda. Caso opte por usar cola, tenha cuidado para não sujar a superfície do CD. Nesse caso, fixe o pedaço de CD na parte interior do espectroscópio e aguarde o tempo necessário para a cola secar.

- Para evitar que a luz penetre no interior do tubo por eventuais frestas, utilize fita isolante para vedar os pontos de união entre o cilindro e as tampas, conforme apresentado na figura abaixo.

Espectroscópio



Observações com o espectroscópio

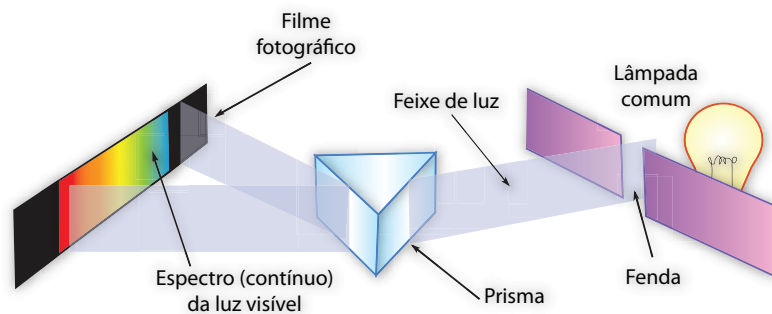
- Com o seu espectroscópio pronto, observe diferentes fontes de luz, como a luz solar, a luz de uma lâmpada de filamento, a luz de uma lâmpada fluorescente, a luz emitida por uma tela de TV etc. Para fazer a observação, aponte a parte recortada com uma fenda para o objeto luminoso e olhe pela parte com o pedaço de CD. Você não deve olhar diretamente para a fonte de luz, mas deve reparar na parte lateral interna do tubo, onde se formará o espectro. Para isso, varie um pouco a posição do espectroscópio até conseguir ver a formação do espectro dentro do tubo. Procure bem, de forma que as cores fiquem nítidas. Além disso, tome cuidado para saber se a luz que está entrando é realmente a do objeto observado.
- Faça uma representação mostrando cada espectro observado, comparando as cores presentes em cada um deles. Verifique se as cores aparecem de forma igual, uma ao lado da outra sem interrupções, característica do espectro contínuo, ou se o espectro é discreto, ou seja, se apenas algumas cores aparecem (ou algumas cores aparecem em destaque) e se há regiões em que a luz não aparece, ficando uma faixa escura entre as cores.



Leitura e Análise de Texto

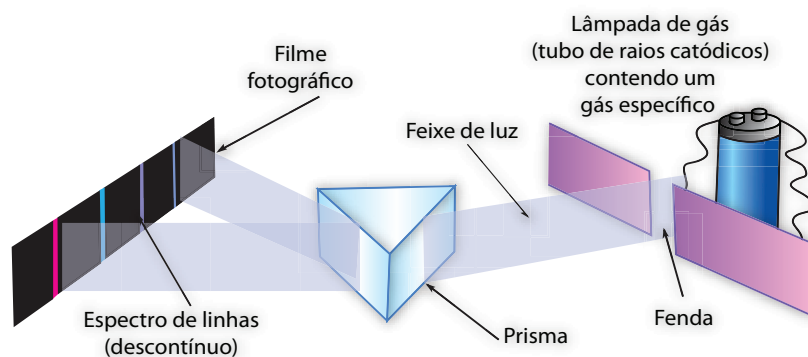
Espectros atômicos

Se fizermos a luz de uma lâmpada comum (de filamento incandescente) passar através de um prisma, ela será decomposta em várias cores, que são popularmente conhecidas como arco-íris. Cientificamente, ele recebe outro nome: espectro da luz visível.



© Lic Kobayashi

Contudo, se repetirmos essa experiência utilizando a luz proveniente de uma lâmpada de gás, não obteremos o espectro completo. Apenas algumas linhas estarão presentes, correspondendo somente a determinadas frequências das ondas de luz visível. Essas linhas formam o espectro de linhas ou espectro atômico. (Veja quadro das leis de Kirchhoff na Situação de Aprendizagem 4, página 21).



© Lic Kobayashi

Alguns exemplos de espectros atômicos aparecem na próxima Situação de Aprendizagem. Como você pode perceber, as linhas obtidas dependem do elemento utilizado e são descontínuas.

Com base no modelo atômico de Bohr, você consegue entender o mistério dos espectros atômicos. Conforme seus postulados, os elétrons, ao serem excitados por uma fonte externa de energia, saltam para um nível de energia maior e, ao retornarem aos níveis de energia menor, liberam energia na forma de luz (fótons). Como a cor da luz emitida depende da energia entre os níveis envolvidos na transição e como essa diferença varia de elemento para elemento, a luz apresentará uma cor característica para cada elemento químico.

Adaptado de: BROCKINGTON, Guilherme; SOUSA, Wellington Batista de; UETA, Nobuko. *Física: Física moderna e contemporânea*, módulo 6. Pró-Universitário, USP. Secretaria da Educação do Estado de São Paulo, 2005. Disponível em: <<http://naeg.prg.usp.br/puni/disciplinas/fisica/homedefisica/arquivos/modulo6/modulo6.pdf>>. Acesso em: 8 mar. 2010.

Após a leitura do texto, responda:

1. Como podemos obter o espectro da luz visível?

2. Qual a diferença entre espectros de linhas e espectros atômicos?



LIÇÃO DE CASA



1. O que define a cor de uma lâmpada?

2. Para que serve um espectroscópio?

3. Utilizando o modelo atômico de Bohr, explique o que é o espectro de emissão.



SITUAÇÃO DE APRENDIZAGEM 6
ASTRÔNOMO AMADOR*

Frequentemente surgem notícias sobre alguma descoberta astronômica. Elas não aparecem apenas em revistas de divulgação científica, mas também em jornais impressos e televisivos, destinados a todo tipo de público. No entanto, raramente se discute como é possível que os cientistas estudem objetos que estão a milhares de anos-luz da Terra. Na Situação de Aprendizagem anterior, você montou um espectroscópio,



© Larry Landolfi/Photoresearchers-Latinstock

* Adaptado de: BROCKINGTON et al. *Curso de dualidade onda-partícula*. São Paulo: NuPIC/FEUSP, 2005. Disponível em: <<http://nupic.incubadora.fapesp.br/portal/projetos/fisica-moderna/dualidade-onda-particula-1>>. Acesso em: 8 mar. 2010.

que permitiu analisar a luz. Agora você vai aprender a como obter informações da luz observada. O objetivo é relacionar as linhas espectrais emitidas por uma estrela à sua composição. A análise dessas linhas permite identificar os elementos químicos de uma estrela.



ROTEIRO DE EXPERIMENTAÇÃO

Viajando até as estrelas

Por um breve momento, você vai trabalhar como um astrônomo e estudar as estrelas. Nesta atividade vamos descobrir os elementos químicos que formam uma estrela. Como já vimos, os átomos emitem e absorvem luz de cores e comprimentos de onda bem determinados. Assim, por meio das linhas presentes nos espectros de emissão das estrelas, vamos descobrir os elementos que as constituem.

Materiais

- espectros de elementos químicos impressos em papel;
- espectro de estrela impresso em papel transparente.

Espectros de elementos químicos

Espectro alumínio (Al)



Espectro cálcio (Ca)



Espectro carbono (C)



Espectro hélio (He)



Espectro hidrogênio (H)



Espectro estrela



© Jairo Souza Design

Mãos à obra

1. Seu grupo acaba de receber os espectros de diferentes elementos químicos e também o espectro de uma estrela.
2. Vocês devem comparar o espectro da estrela com os espectros dos elementos químicos.
3. Se o espectro apresentar todas as linhas correspondentes ao elemento, isso significa que ele é um dos constituintes da estrela.
4. Comparem com cuidado, pois a estrela é composta de vários elementos.



Leitura e Análise de Texto

Os espectros de emissão e absorção e os níveis de energia

© Mariana Coan

Emissão de um fóton

<p>Colimador Luz emitida Elemento dispersor (prisma ou rede de difração) Espectro Gás excitado emite luz</p>	<p>Elétron n = 3 Fóton emitido n = 2</p>	<p>n = 3 $E_3 = -1,51 \text{ eV}$ Fóton emitido n = 2 $E_2 = -3,4 \text{ eV}$ H_α H_β H_γ H_δ</p>
Procedimento experimental	O elétron salta do nível n = 3 para o nível n = 2, emitindo um fóton de energia $E_2 - E_3$	O fóton de energia $E_2 - E_3$ corresponde exatamente à frequência da raia H_α da série de Balmer

Supondo que acima temos uma amostra de hidrogênio que de alguma forma foi excitada, podemos observar que um elétron saltou do nível 2 para o nível 3. Em seguida, ele retorna para seu estado inicial n = 2, emitindo um fóton. No estado n = 3 a energia é $E_3 = -1,51 \text{ eV}$, e no estado n = 2 a energia é $E_2 = -3,4 \text{ eV}$. Assim, podemos calcular a frequência do fóton emitido:

$$\Delta E = \pm h \cdot f \qquad \pm f = \frac{E_2 - E_3}{h} \qquad f = 4,6 \times 10^{14} \text{ Hz}$$

$$\pm f = \frac{\Delta E}{h} \qquad \pm f = \frac{-3,4 - (-1,51)}{4,1 \times 10^{-15}}$$

Utilizando uma chapa fotográfica podemos registrar essa linha e outras que sejam emitidas. Como houve emissão de energia pelo átomo, esse espectro recebe o nome de **espectro de emissão**.

Absorção de um fóton

Procedimento experimental

O elétron salta do nível $n = 2$ para o nível $n = 4$, absorvendo um fóton de energia $E_4 - E_2$

O fóton de energia $E_4 - E_2$ corresponde exatamente à frequência da raia H_β da série de Balmer

© Mariana Coan

Supondo que agora a amostra de hidrogênio é atravessada por um feixe de luz, os elétrons do gás podem absorver a energia da luz incidente, ou melhor, os fótons. Entretanto, não são todos os fótons que interessam aos elétrons, apenas aqueles cuja energia é suficiente para proporcionar um salto quântico entre os níveis de energia permitidos. Assim, alguns fótons de certa energia (frequência) serão absorvidos, enquanto outros passarão e não serão absorvidos pelo gás.

Imaginando que um elétron que esteja ocupando o nível $n = 2$, com energia $E_2 = -3,4 \text{ eV}$, absorva determinado fóton do feixe incidente, saltando para uma órbita mais afastada, por exemplo $n = 4$, com energia $E_4 = -0,85 \text{ eV}$, a frequência do fóton absorvido será:

$$\Delta E = \pm h \cdot f \qquad \pm f = \frac{E_4 - E_2}{h} \qquad f = 6,2 \times 10^{14} \text{ Hz}$$

$$\pm f = \frac{\Delta E}{h} \qquad \pm f = \frac{-0,85 - (-3,4)}{4,1 \times 10^{-15}}$$

Mais uma vez, utilizando uma chapa fotográfica, podemos registrar este espectro. Só que agora teremos um espectro diferente do espectro de emissão, pois aparecerão linhas escuras, relativas à luz de certas frequências e que foram absorvidas do feixe incidente. Como houve absorção de energia, este espectro recebe o nome de **espectro de absorção**.

Assim, os espectros de emissão e de absorção ocupam a mesma posição, pois estão associados a uma mesma frequência. A diferença fundamental é que as linhas de emissão correspondem a fótons emitidos num salto quântico, ao passo que as linhas escuras de absorção correspondem a fótons absorvidos durante um salto quântico.

Adaptado de: BROCKINGTON, Guilherme; SOUSA, Wellington Batista de; UETA, Nobuko.
 Física: Física moderna e contemporânea, módulo 6. Pró-Universitário, USP. Secretaria da Educação do Estado de São Paulo, 2005.
 Disponível em: <<http://naeg.prg.usp.br/puni/disciplinas/fisica/homedefisica/arquivos/modulo6/modulo6.pdf>>. Acesso em: 8 mar. 2010.

Após a leitura do texto, responda:

Qual a frequência de um fóton emitido por um elétron que salta do nível 4 para o nível 1 num átomo de hidrogênio?



VOCÊ APRENDEU?



1. Como foi possível conhecer a constituição das estrelas?

2. Elabore uma hipótese de como é possível saber com precisão se o Sol é composto de hidrogênio e hélio.

3. Explique por que podemos comparar o espectro com uma “impressão digital”.



LIÇÃO DE CASA



Pesquise em seu livro didático, na biblioteca de sua escola ou na internet:

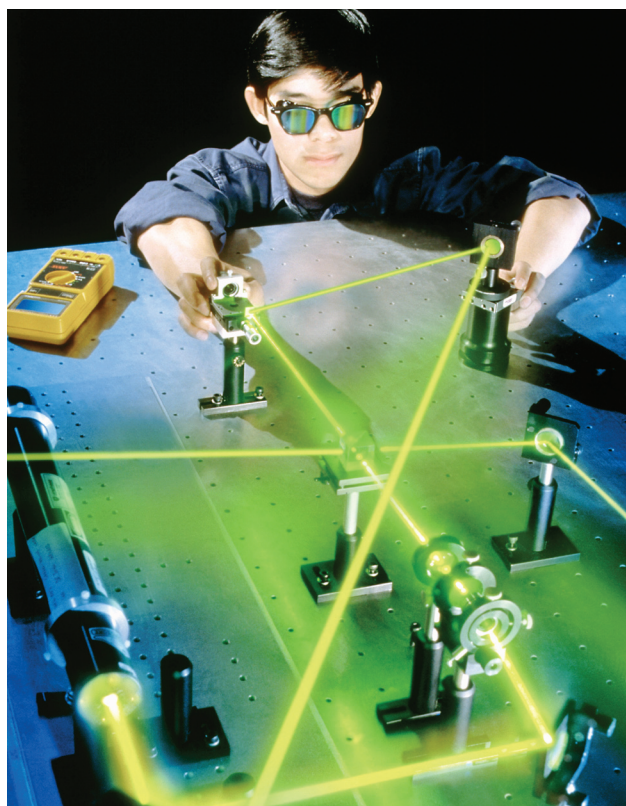
Com base no modelo atômico de Bohr, seus postulados e os espectros atômicos, procure justificar por que no espectro de emissão do hidrogênio existem quatro raias visíveis (veja os espectros atômicos no Roteiro de Experimentação na página 27), visto que ele é um elemento que possui apenas um elétron em seu estado fundamental.



SITUAÇÃO DE APRENDIZAGEM 7 O PODEROSO *LASER*

Você já foi surpreendido por um ponto luminoso vermelho movendo-se rapidamente numa parede próxima? Provavelmente sim, e deve saber que se trata da luz projetada por uma ponteira *laser*. Elas se tornaram um utensílio que saiu dos filmes e dos livros de ficção científica para as barracas de camelô e lojas de bairro.

O *laser* está entre as inovações tecnológicas mais importantes da segunda metade do século XX. Desde sua invenção, na década de 1960, até hoje, sua aplicação já se estendeu para as mais diversas áreas tecnológicas e de pesquisa básica. Embora as pessoas já tenham ouvido falar em *laser*, raramente têm clareza sobre como ele é produzido ou por que sua luz é diferente daquela emitida por uma lâmpada comum. Nesta Situação de Aprendizagem, iremos explorá-lo a fim de descobrir o que há de especial nessa poderosa invenção.



© Firefly Productions/Corbis-Lainstock



ROTEIRO DE EXPERIMENTAÇÃO

O poderoso *laser*

Você já viu um *laser*? É bem provável que já tenha ouvido falar desse tipo de luz. Os dispositivos que emitem luz *laser* têm diversas aplicações, que vão desde o uso no comércio – com a leitura de códigos de barras – até delicadas cirurgias oftalmológicas. Mas você sabe dizer o que é um *laser*? A palavra é uma sigla em inglês (*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*) que significa: luz amplificada por emissão estimulada de radiação. O *laser* é a luz emitida de forma coerente por um conjunto de átomos, por meio de um processo especial para ganhar características específicas.

Primeiramente, vamos investigar qual é a diferença entre a luz emitida por um *laser* e a emitida por uma lâmpada comum, como a de uma lanterna. Em seguida, estudaremos algumas aplicações do *laser*.

Materiais

- ponteira *laser*;
- lanterna comum;
- folha de papel branco;
- caneta esferográfica.

Mãos à obra

Sob a coordenação de seu professor, você vai observar o comportamento da luz emitida por um *laser* e da luz emitida por uma lanterna. Para tanto, siga os dois procedimentos abaixo:

- a) Incida os raios da lanterna e da ponteira *laser* sobre uma folha de papel branco situada a 5 cm de distância. Calcule o tamanho da mancha luminosa formada por ambas sobre a folha. Repita o procedimento, mas agora com a folha posicionada a 10 cm de distância. Calcule novamente o tamanho da mancha luminosa.
- b) Pegue uma caneta esferográfica cujo corpo seja transparente e retire a carga do interior. Projete a luz da ponteira *laser* e da lanterna na caneta (sem carga), uma de cada vez, de modo que as luzes a atravessem. Veja se a aparência das cores da luz se modifica. Se tiver um pedaço de vidro (óculos, anel, brinco etc.), repita a operação.

Com base nas suas observações, responda à seguinte questão:

- Qual desses dispositivos emite luz monocromática (com apenas um comprimento de onda de determinada cor) e qual emite luz policromática (formada por um conjunto de ondas de diferentes cores)?

**Leitura e Análise de Texto****O funcionamento do *laser***

Os *lasers* podem ser produzidos a partir de diversos tipos de substâncias líquidas, sólidas e gasosas. Na tabela a seguir, são apresentados os tipos de *laser*, o meio utilizado para produzi-lo e o comprimento de onda da luz produzida. Veja que, de acordo com o meio, o comprimento de onda da luz emitida pode variar muito.

Tipo de <i>laser</i>	Meio ativo	Comprimento de onda de operação
Gasoso	Hélio – neônio (He – Ne)	0,63 μm ; 1,15 μm
	Gás carbônico (CO ₂)	10,6 μm
	Argônio (Ar)	0,488 μm ; 0,514 μm
	Nitrogênio (N)	0,337 μm
	Álcool	
Sólido	Rubi (Al ₂ O ₃ – Cr ₂ O ₃)	0,694 μm
	Neodímio – YAG*	1,06 μm
	Érbio – YAG*	2,94 μm
	Neodímio – YAG* – dobrado	0,532 μm
	Hólmio – YAG*	2,10 μm
	Arseneto de gálio (Ga – As)	0,6 μm – 1,1 μm
Líquido	Corantes	Todo o espectro

O princípio de funcionamento do *laser* está baseado nas leis fundamentais da interação da radiação luminosa com a matéria. Mais especificamente, a luz *laser* é resultado de um fenômeno denominado “emissão estimulada”. E daí vem seu nome: *laser*, que significa “luz amplificada por emissão estimulada de radiação”.

A emissão estimulada consiste no seguinte: vamos imaginar um átomo de determinado material e supor que um elétron desse átomo esteja em um estado excitado, ou seja, com “excesso” de energia. Esse elétron excitado rapidamente voltará para o seu estado “natural”, ou seja, para um nível de energia mais baixo. Ao fazer isso, ele devolve ao meio a energia na forma de um pacote de luz (fóton). Porém, sozinho, esse retorno seria mais demorado – pelo menos nas escalas de tempo dos processos atômicos. Mas ele pode ser antecipado com a ajuda de um agente externo: outro fóton. Assim, a emissão estimulada resulta em dois fótons: um emitido pelo átomo excitado ao voltar a seu estado de energia mais baixo e o próprio fóton que estimulou o processo. Os dois são idênticos.

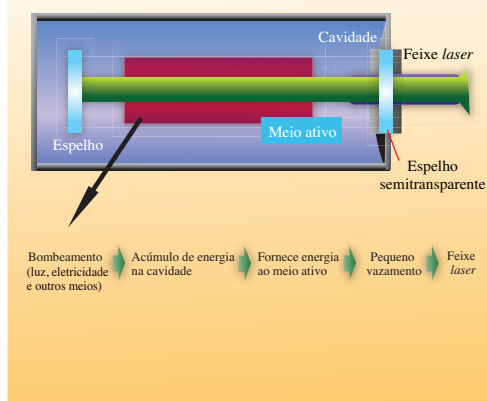
Na produção da luz *laser*, basicamente, um meio ativo – ou seja, uma amostra sólida, líquida ou gasosa, contendo energia na forma de inúmeros átomos excitados – é colocado no interior de uma cavidade óptica (para os propósitos desta Situação de Aprendizagem, imagina-se essa cavidade como um recipiente com as paredes internas espelhadas).

* YAG é uma pedra sintética que se assemelha ao diamante e que, para uso em *lasers*, recebe pequenas porções – diz-se que é dopada – de outros elementos químicos em sua estrutura.

A luz do *laser*, portanto, provém justamente da emissão de fótons que ocorre quando, em um processo estimulado pela própria luz, elétrons retornam de seus estados excitados para níveis mais baixos de energia, acumulando na cavidade porções de luz fisicamente idênticas.

Esquema simplificado das partes que constituem um *laser*

© Lie Kobayashi



O bombeamento fornece energia ao meio ativo. Com isso, há acúmulo de energia na cavidade. Nela, um espelho semitransparente permite um vazamento de parte da luz produzida, que constitui o feixe de luz *laser*.

Imagine um fóton que deu início ao processo de emissão estimulada, gerando dois fótons idênticos. Estes, por sua vez, podem estimular outros dois, que agora se somam a eles, formando quatro fótons idênticos, e assim sucessivamente; imagine-se, agora, o que ocorrerá se os fótons que emergem desse sistema forem novamente jogados sobre ele com a ajuda de espelhos que são colocados em cada extremidade do meio ativo. A amplificação da luz ocorrerá de forma multipli-

cativa, gerando uma razoável quantidade de luz com as mesmas características de direção de propagação e frequência, entre outras.

Após vários passos, os fótons que se movimentam na direção determinada pelo eixo principal da cavidade óptica – composta de espelhos ao redor, bem como nas extremidades do meio ativo – formarão um feixe que apresenta uma intensidade considerável. Uma abertura – ou mesmo um dos espelhos na extremidade da cavidade óptica, que deixa passar parte da luz (reflexão parcial) – permite que uma fração dessa luz escape continuamente do sistema. Essa fração é o feixe de luz *laser*. A figura acima resume o princípio de funcionamento do *laser*.

Adaptado de: BAGNATO, Vanderlei Salvador. O magnífico *laser*: aplicações modernas de uma solução em busca de problemas. *Ciência Hoje*. Rio de Janeiro: Instituto Ciência Hoje, v. 37, n. 222, p. 30-37, dez. 2005.




PESQUISA EM GRUPO

O *laser* ganha cada vez mais importância na sociedade moderna. Talvez você conheça apenas as “ponteiras”, mas ele tem muitas outras aplicações. Inicialmente, procure se lembrar de situações, equipamentos e notícias que envolvem o uso do *laser* e faça uma lista. Em seguida, amplie essa lista por meio de uma pesquisa em diversas fontes (bibliotecas, internet, jornais, revistas etc.). Para cada caso, complete com seu grupo a tabela a seguir:


Situação de uso	Aplicação	Vantagem
Telecomunicações	Fibras ópticas	Dezenas de milhares de ligações telefônicas simultâneas

Depois da leitura do texto, responda:


- O que significa emissão estimulada?



VOCÊ APRENDEU?



- Quais as principais características de um feixe de *laser*?



LIÇÃO DE CASA

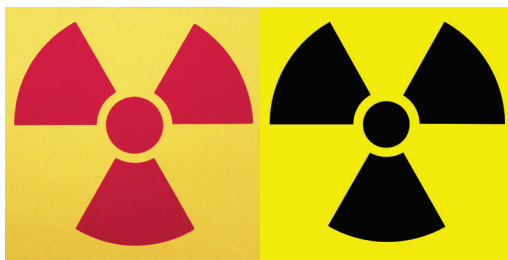


1. Qual o número de fótons que corresponderia a 1 Joule de luz verde, 1 Joule de luz vermelha e 1 Joule de luz azul?
2. Assista e explore a animação que demonstra o funcionamento interno do *laser*, apresentada no site: <http://www.pet.dfi.uem.br/anim_show.php?id=77>. Acesso em: 8mar. 2010.

TEMA 2:

FENÔMENOS NUCLEARES

© Roger Ressemer/Corbis—Latinstock.
© Science Photo Library—Latinstock



Você já viu o símbolo representado nas figuras ao lado? O que imagina ser: uma advertência, um logotipo de empresa? Se você nunca o viu, saiba que ele indica a presença de radiação. Em geral, as pessoas associam radiação com coisas ruins. Porém, embora ela possa ser perigosa, não é necessariamente ruim.

Por mais contraditório que possa parecer, esse símbolo é muito comum em hospitais. Se você já fez uma radiografia, deve tê-lo visto na porta da sala de exames ou na máquina que “tira a radiografia”.

Hoje em dia, a radioatividade voltou a ser tema de debate, sobretudo com a proposta de criação de usinas nucleares para geração de energia elétrica. Os que defendem tais usinas acreditam que elas oferecem muitas vantagens em comparação às usinas termelétricas e mesmo a certas hidrelétricas (veja o Caderno da 3ª série, volume 2).

Como é possível avaliar os riscos e os benefícios do uso de materiais radioativos?

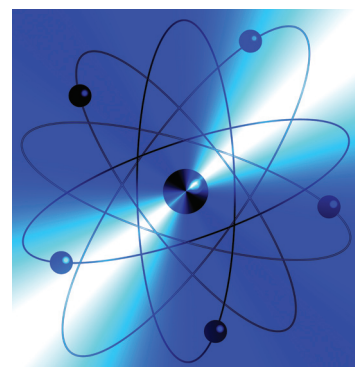
O objetivo deste tema é mostrar como ocorrem alguns dos fenômenos radioativos e discutir como eles se vinculam ao cotidiano. Pretende-se mostrar que muitos deles são fundamentais para a sobrevivência e que podem ser utilizados para promover o bem-estar do homem, por meio de aplicações na medicina, por exemplo.

Para conhecer a radiação e sua interação com a matéria, é necessário partir de uma compreensão sobre o núcleo. As atividades anteriores abordavam fenômenos atômicos sem discutir especificamente a constituição do núcleo. Daqui em diante, o núcleo passará de ator coadjuvante para ator principal nas discussões. A primeira atividade apresentará o modelo de núcleo, formado por prótons e nêutrons, e abordará o problema de sua estabilidade. Em seguida, serão explorados os tipos de radiação nuclear emitidos – as radiações α (alfa), β (beta) e γ (gama) – e será analisada a família de decaimento de um núcleo radioativo. Por fim, a última Situação de Aprendizagem deste volume propõe um debate sobre o uso das radiações em exames de diagnóstico médico.



SITUAÇÃO DE APRENDIZAGEM 8 FORMAÇÃO NUCLEAR

Já lhe ocorreu perguntar como o núcleo atômico, que é constituído de prótons, pode permanecer coeso? Como cargas positivas que se repelem eletricamente podem permanecer tão juntas?



© Dennis Hallinan/Alamy—Otherimages

O objetivo desta Situação de Aprendizagem é apresentar a formação do núcleo e a existência de uma força nuclear forte*, que o mantém ligado. Para isso, você vai realizar uma atividade que, por meio de materiais simples, simula a estabilidade do núcleo.



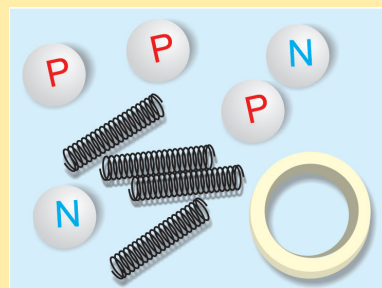
ROTEIRO DE EXPERIMENTAÇÃO

Construindo um núcleo

Você já deve saber que o núcleo é formado por prótons (cargas positivas) e nêutrons (sem carga elétrica). O desafio é explicar como ele se mantém “ligado”, visto que cargas de mesmo sinal se repelem. Afinal, cargas de mesmo sinal não se repelem?! Para esclarecer a questão, vamos realizar uma atividade na qual você vai “construir” um núcleo atômico.

Materiais

- 16 bolinhas de isopor com diâmetro de cerca de 5 cm;
- molas espirais utilizadas para encadernação, com 6 cm de comprimento;
- fita adesiva.



© Jairo Souza Design

Mãos à obra

1. Divida em dois grupos o conjunto de bolinhas que você recebeu.
2. Marque as bolinhas de um grupo com a letra P, indicando que são prótons, e as do outro grupo com a letra N, para identificar os nêutrons.
3. O objetivo é manter o núcleo estável e coeso, ou seja, fazer todas as bolinhas ficarem grudadas umas às outras.

Regras

Para que a atividade represente como os núcleons (partículas que compõem o núcleo) interagem você deve considerar a existência de dois tipos de interação entre eles:

- força de repulsão elétrica;
- força forte.

* O nome **força nuclear forte**, ou simplesmente **força forte**, é adotado para distingui-la da força nuclear fraca, responsável pela emissão β , na qual, por exemplo, um nêutron “se transforma” em próton emitindo um elétron ($e^- \equiv \beta$).

1. Sempre que duas bolinhas estiverem se tocando, você deve colar entre elas uma fita adesiva; utilize apenas um pequeno pedaço em cada bolinha, suficiente para grudar a face de uma à da outra.
2. Sempre que for ligar dois prótons, use uma mola, que deverá ser deformada para poder grudá-los.

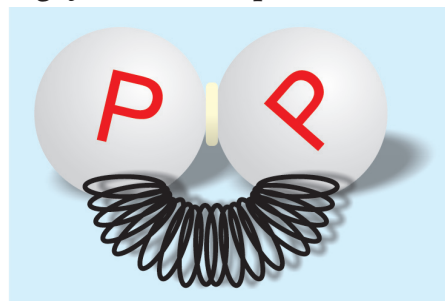
Importante! Não use mola quando a ligação for entre dois nêutrons ou entre um nêutron e um próton.

Agora, você deverá montar seu núcleo de acordo com os procedimentos listados abaixo:

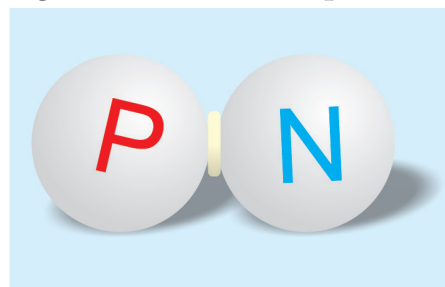
1. Tente montar um núcleo apenas com prótons.
2. Em seguida, utilize a mesma quantidade de prótons e nêutrons.
3. Agora, utilize mais nêutrons do que prótons.

Em cada caso, conte quantas bolinhas você consegue manter grudadas.

Ligação entre dois prótons



Ligação entre nêutron e próton



Após realizar a atividade, responda às questões a seguir.

1. Por que colocar uma mola apenas entre dois prótons, e não entre um próton e um nêutron? O que a mola representa do ponto de vista da Física?

2. Em qual dos três arranjos que você montou foi mais fácil manter o “núcleo” unido? Por quê?

3. Com base no que observou, você saberia dizer qual é a importância do nêutron na constituição nuclear?



Leitura e Análise de Texto

Força forte

A estabilidade do núcleo se deve a uma força de atração chamada **força forte**. Essa força une as partículas presentes no núcleo – chamadas de núcleons – e age entre prótons, entre nêutrons ou entre próton e nêutron. Essa força é diferente das outras três forças que você já estudou em Física: a força gravitacional, a força elétrica e a força magnética.

É um tipo de força muito intenso, como seu próprio nome diz, mas tem curto alcance, agindo somente entre partículas constituintes do núcleo.

Os prótons e os 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 pela seguinte expressão:

$$r = (1,2 \times 10^{-15}) \cdot \sqrt[3]{A},$$

onde A representa o número de massa e r é medido em metros (m).

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

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

Adaptado de: SOUSA, Wellington Batista de. *Física das radiações*. São Paulo: NuPIC/FEUSP, 2006.
Disponível em: <<http://nupic.incubadora.fapesp.br/portal/projetos/fisica-moderna/radiacoes-1>>.
Acesso em: 29 mar. 2010.

Agora responda às questões propostas:

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

2. Qual é a principal diferença entre a interação nuclear e as interações eletromagnéticas e gravitacionais?

3. Os átomos estáveis de menor e de maior número de massa têm, respectivamente, $A = 1$ (hidrogênio) e $A = 209$ (bismuto). Qual é o valor do raio atômico em cada caso?



APRENDENDO A APRENDER

No Brasil, a empresa estatal responsável pela geração de energia elétrica a partir das reações nucleares é a Eletronuclear. No país existem duas usinas nucleares, em Angra dos Reis, no Estado do Rio de Janeiro. Há duas décadas, o governo federal pensa em retomar a construção de uma nova usina. Acesse o *site* da estatal em <http://www.eletronuclear.gov.br/inicio/index.php> e veja como está o cronograma de construção da terceira usina em Angra dos Reis. Se puder, amplie a pesquisa, procurando informações em jornais e revistas e veja quais são os argumentos a favor e contra a construção dessa nova unidade.



Leitura e Análise de Texto

Estabilidade nuclear*

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

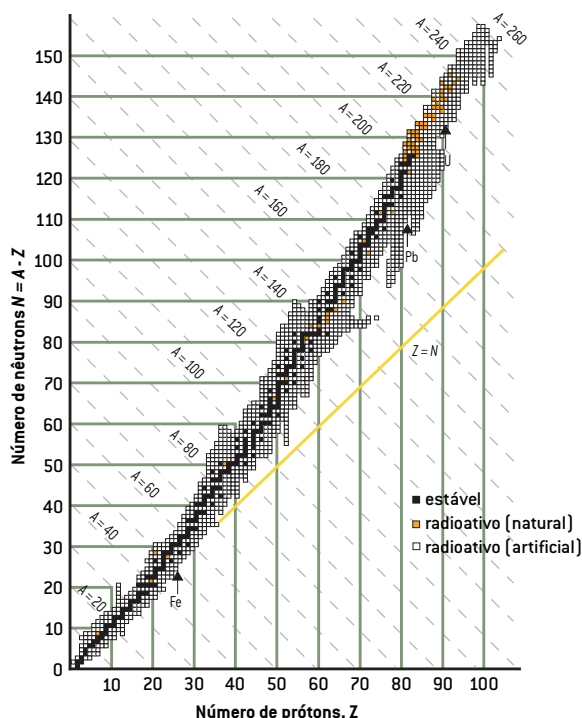
*Adaptado de: SOUSA, Wellington Batista de. *Física das radiações: uma proposta para o Ensino Médio*. São Paulo, 2009. Dissertação (Mestrado). Universidade de São Paulo. Instituto de Física e Faculdade de Educação.

Disponível em: http://www.if.usp.br/cpgi/DissertacoesPDF/Wellington_Batista_de_Sousa. Acesso em: 8 maio 2010.

prótons seja compensada pela atração entre os núcleons através da interação nuclear (força forte). 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, atraem apenas os vizinhos mais próximos por meio da interação nuclear. Nessas condições, quando o número Z de prótons do núcleo aumenta, o número N de nêutrons tem de aumentar ainda mais para que a estabilidade seja mantida. Pode-se considerar que existam cerca de 260 núcleos estáveis e centenas de núcleos instáveis. Uma representação útil na Física é um gráfico que apresenta N em função de Z para os elementos estáveis encontrados na natureza. Nesse gráfico, a linha reta (em amarelo) representa a condição onde $N = Z$, indicando que esses elementos, por possuírem números 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.

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 do bismuto, $^{209}\text{Bi}_{83}$, que contém 126 nêutrons. Todos os núcleos com mais de 83 prótons, como o urânio ($Z = 92$), são instáveis e, com o tempo, se desintegram espontaneamente (veja a próxima atividade), até se tornarem estáveis. Essa desintegração espontânea foi denominada de **radioatividade** e será aprofundada nas próximas atividades.

Linha de estabilidade*



*Adaptado de: NASCIMENTO FILHO, Virgílio Franco do et al. *Física para ciências agrárias*. Disponível em: <<http://web.cena.usp.br/apostilas/Virgilio/graduação/CAP2.DOC>>. Acesso em: 8 mar. 2010.

Agora responda às questões propostas:

1. O que significa dizer que um átomo é estável? E que um átomo é instável?



2. Usando uma tabela periódica como referência e o gráfico apresentado na página anterior, faça uma lista com cinco átomos estáveis e cinco átomos instáveis com massa atômica maior do que 83.

3. A partir do que você leu até agora sobre as forças que agem no interior do átomo, é mais fácil remover dele um próton ou um elétron? Justifique.



VOCÊ APRENDEU?



1. Por que o núcleo, que é formado por partículas de mesmo sinal, mantém-se unido?

2. Qual é o papel do nêutron na constituição nuclear?



LIÇÃO DE CASA



Faça uma pesquisa na biblioteca de sua escola ou na internet e explique a origem do nome **radioatividade**. Quais cientistas contribuíram para a descoberta dessa propriedade presente em alguns elementos? Qual é sua relação com o elemento químico rádio?





SITUAÇÃO DE APRENDIZAGEM 9 DECAIMENTOS NUCLEARES: UMA FAMÍLIA MUITO ESTRANHA

Na Situação de Aprendizagem anterior, você estudou que átomos podem ser estáveis ou instáveis. Dependendo da composição entre prótons e nêutrons, um núcleo pode permanecer em equilíbrio por muito tempo. Mas o que acontece com os átomos que são instáveis? Nesse caso, dizemos que se trata de átomos radioativos, o que significa dizer que eles têm atividade radioativa. Nesta Situação de Aprendizagem, vamos estudar os tipos de atividade radioativa, ou melhor, os tipos de radiação que existem associados a átomos instáveis.



© Thomas Roespke/zeñal
Corbis—Lainstock

O roteiro a seguir propõe uma atividade divertida: monte o quebra-cabeça e conheça a família radioativa do urânio e do tório.



ROTEIRO DE EXPERIMENTAÇÃO

Um quebra-cabeça radioativo

Um átomo radioativo emite três tipos de radiação quando está instável: α (alfa), β (beta) e γ (gama). Como dificilmente o núcleo se estabiliza com apenas uma transformação, ocorre uma série de outras transformações que são chamadas de **famílias radioativas**. Nesta Situação de Aprendizagem, você vai analisar as três famílias radioativas naturais, conhecidas como série do urânio, série do actínio e série do tório. Nelas aparecem apenas dois tipos de decaimento, α e β^- .

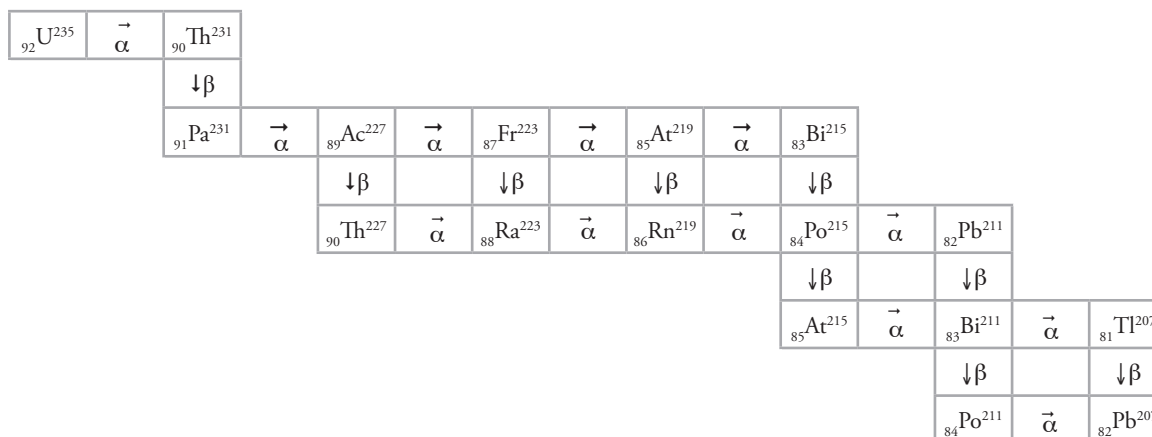
Materiais

- tabela com a série do actínio montada como exemplo;
- séries do urânio e do tório para serem organizadas.

Mãos à obra

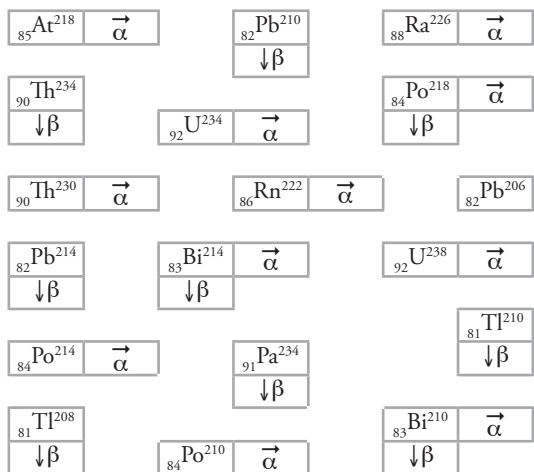
Uma família radioativa pode ser apresentada numa tabela que organiza os elementos químicos com uma série de decaimentos. A seguir apresentamos uma dessas tabelas:

Série do actínio

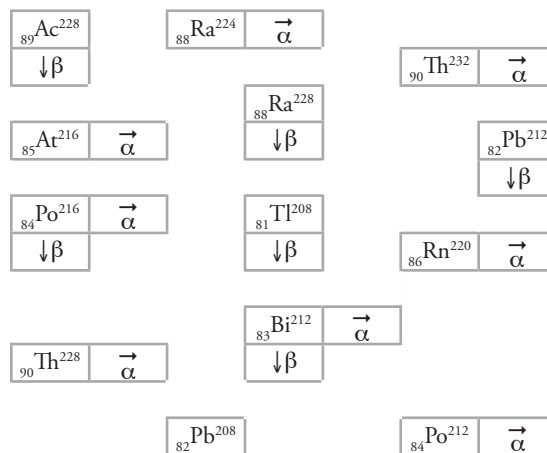


Conforme instruções de seu professor, organize os elementos das tabelas que se seguem como se estivesse montando um quebra-cabeça. Cada elemento químico só pode ser “encaixado” em outro se for o resultado do decaimento indicado. No fim, você deve ter uma série de decaimentos, como o que foi apresentado acima.

Série do urânio



Série do tório



Agora responda:

- Qual é o elemento resultante da emissão de uma partícula alfa por um núcleo de urânio 238?
 - ${}_{90}\text{Th}^{231}$
 - ${}_{91}\text{Pa}^{234}$
 - ${}_{90}\text{Th}^{234}$
 - ${}_{91}\text{Pa}^{238}$
 - ${}_{90}\text{Th}^{234}$
- Qual partícula deve ser emitida para que se mantenha o número de massa e diminua em uma unidade o número atômico?
 - α
 - β^+
 - β^-
 - δ
 - γ

3. O que é uma série radioativa?

**O misterioso neutrino**

Essa partícula teve uma existência inicial somente teórica. Para manter válido o “sagrado” princípio da conservação de energia, deveria aparecer uma partícula com energia suficiente para equilibrar as energias no decaimento beta. Como essa partícula não era detectada, acabou sendo encarada como uma solução desesperada para salvar as leis da conservação. Ela deveria ser neutra e ter um tamanho muito menor do que o do nêutron. Assim, na década de 1930, o físico italiano Enrico Fermi a chamou de **neutrino**, “neutronzinho” em seu idioma natal. A teoria de Fermi era tão bem formulada que, mesmo não sendo detectado, os físicos passaram a não duvidar mais da existência do neutrino. Como não tem carga, ele não deixa rastro. Para se chocar com outra partícula, o neutrino deve atravessar uma parede de chumbo com cerca de 50 anos-luz de espessura! Com toda essa dificuldade em se mostrar, ele só foi detectado, de maneira indireta, em 1956, comprovando, 23 anos depois, a teoria de Fermi.



SITUAÇÃO DE APRENDIZAGEM 10

DESVENDANDO O QUE HÁ POR DENTRO DA “CAIXA-PRETA”

Nesta Situação de Aprendizagem, discutiremos a aplicabilidade de substâncias com núcleos radioativos para diagnóstico na medicina.

O que há por dentro do corpo humano?

Você deve conhecer alguém que teve um problema de saúde e o médico precisou “ver” o que estava acontecendo dentro do corpo. Para isso, solicitou determinados exames para diagnosticar o problema. A atividade a seguir pretende mostrar como é possível “ver” o interior do corpo com o uso de radioisótopos.

Materiais

- pasta plástica fumê com 3 cm de espessura;
- imagens frontal e traseira de uma parte do corpo humano;
- 2 lanternas portáteis.



© Jairo Souza Design

Mãos à obra

Como fazer para enxergar a imagem que está dentro da pasta sem abri-la:

1. Coloque uma pequena lanterna dentro da pasta.
2. Agora você poderá descobrir qual é a imagem que está dentro.

**Leitura e Análise de Texto****Elementos radioativos e suas aplicações na medicina nuclear**

O uso de isótopos radioativos cria uma maneira de detectar e contar os átomos em amostras de materiais (orgânico, plástico etc.), o que seria muito difícil verificar com outros métodos. Quando os isótopos são utilizados dessa forma, eles são chamados de “traçadores”. Eles são amplamente utilizados na medicina para construir imagens do corpo e diagnosticar doenças. Porém a emissão radioativa é, em geral, perigosa para os seres vivos. Alfa, beta, gama etc. são as chamadas radiações ionizantes; quando esses raios interagem com a matéria, são capazes de retirar um elétron do átomo que a constitui, rompendo ligações químicas. A perda de um elétron pode causar sérios danos, desde a morte da célula até mutações genéticas, como o câncer.

A radioatividade é natural, e todos nós temos elementos radioativos, como o carbono-14. Em nosso ambiente há também um número grande de elementos radioativos feitos pelo homem. Materiais nucleares são usados para criar esses traçadores radioativos, que podem ser ingeridos ou injetados na corrente sanguínea. Eles fluem pelo sangue e se alojam nas estruturas que se deseja observar. Graças ao uso desses traçadores, diversas anormalidades podem ser detectadas.

Alguns órgãos do corpo têm capacidade de concentrar determinadas substâncias químicas. Por exemplo, a glândula tireoide concentra o iodo. Assim, com a ingestão de iodo radioativo, por meio de um líquido ou uma pílula, os principais tipos de tumor na tireoide podem ser identificados e tratados. Da mesma forma, alguns tumores cancerígenos concentram fosfato. Assim, com a injeção do isótopo radioativo fósforo-32 na corrente sanguínea, os tumores podem ser detectados devido ao aumento de sua atividade radioativa.

Na medicina nuclear, seja na produção de imagem, seja na fase de tratamento, a ingestão ou injeção de substâncias radioativas não causam dano ao corpo humano. Isso ocorre porque os radioisótopos utilizados decaem rapidamente, em minutos ou horas, tendo assim níveis de radiação toleráveis, e são eliminados pelo corpo em mais algum tempo.

Adaptado de: BROCKINGTON, Guilherme; SOUSA, Wellington Batista de; UETA, Nobuco. *Física: Física moderna e contemporânea*, módulo 6. Pró-Universitário, USP. Secretaria da Educação do Estado de São Paulo, 2005. Disponível em: <<http://naeg.prg.usp.br/puni/disciplinas/fisica/homedefisica/arquivos/modulo6/modulo6.pdf>>. Acesso em: 8 mar. 2010.

Agora responda:

1. Por que em medicina nuclear utilizamos átomos radioativos e não átomos estáveis?

2. Explique com suas palavras o que você entendeu por “traçadores” radioativos.

3. Releia o texto e destaque dois átomos e os órgãos que eles podem auxiliar em mapeamento para construir imagens do corpo. Registre abaixo.



Positron Emission Tomography (PET) – Tomografia por emissão de pósitron

A PET produz imagens do corpo detectando a imagem da radiação emitida por determinadas substâncias radioativas. Elas são “marcadas” com um isótopo radioativo (como o carbono-11, oxigênio-15 ou nitrogênio-13) e depois são injetadas no corpo do paciente a ser examinado. Esses isótopos têm um curtíssimo tempo de decaimento, e um aparelho detecta os raios gama liberados do local onde um pósitron emitido pela substância radioativa colide com um elétron do tecido do corpo do paciente. A PET fornece imagens do fluxo sanguíneo, bem como de funções bioquímicas, como o metabolismo da glicose no cérebro ou as rápidas mudanças nas atividades de várias partes do organismo humano. A desvantagem surge da necessidade de haver, nas proximidades do hospital, um acelerador de partículas, visto que os isótopos utilizados possuem uma meia-vida de minutos ou, no máximo, de poucas horas.

Single Photon Emission Computed Tomography (SPECT) – Tomografia por emissão de um fóton

A SPECT é uma técnica semelhante à PET. Mas as substâncias radioativas utilizadas na SPECT (xenônio-133 ou iodo-123) têm um tempo de decaimento maior do que as empregadas na PET e emitem raios gama. A SPECT produz imagens menos detalhadas que a PET, porém o custo é mais baixo. Os aparelhos para SPECT são bem mais acessíveis e não têm o problema de estar localizados próximos a aceleradores de partículas, devido ao maior tempo de meia-vida dos isótopos utilizados.



VOCÊ APRENDEU?



1. O decaimento de um átomo, de um nível de energia excitado para um nível de energia mais baixo, ocorre com a emissão simultânea de radiação eletromagnética.

A esse respeito, considere as seguintes afirmações:

- I) A intensidade da radiação emitida é diretamente proporcional à diferença de energia entre os níveis inicial e final envolvidos.
- II) A frequência da radiação emitida é diretamente proporcional à diferença de energia entre os níveis inicial e final envolvidos.
- III) O comprimento de onda da radiação emitida é inversamente proporcional à diferença de energia entre os níveis inicial e final envolvidos.

Quais estão corretas?

- a) Apenas I.
- b) Apenas II.
- c) Apenas I e III.
- d) Apenas II e III.
- e) I, II e III.
2. Certa fonte radioativa emite cem vezes mais que o tolerável para o ser humano, por isso a área onde está localizada foi isolada. Sabendo que a meia-vida do material radioativo é de seis meses, qual o tempo mínimo necessário para que a emissão fique na faixa tolerável? Dê a resposta em anos.



LIÇÃO DE CASA



1. Pesquise na biblioteca de sua escola ou na internet qual é o princípio básico da imagem obtida numa tomografia computadorizada (TC).
2. Para conhecer algumas aplicações do *laser* na medicina, acesse <http://www.ced.ufsc.br/men5185/trabalhos/A2005_outros/39_laserm/apli.htm>. Acesso em: 08 mar. 2010.