



caderno do  
**PROFESSOR**

# FÍSICA

ensino médio  
**3<sup>a</sup> SÉRIE**  
volume 3 - 2009



## GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO

Governador  
**José Serra**

Vice-governador  
**Alberto Goldman**

Secretário da Educação  
**Paulo Renato Souza**

Secretário-adjunto  
**Guilherme Bueno de Camargo**

Chefe de Gabinete  
**Fernando Padula**

Coordenadora de Estudos e Normas Pedagógicas  
**Valéria de Souza**

Coordenador de Ensino da Região Metropolitana da Grande São Paulo  
**José Benedito de Oliveira**

Coordenador de Ensino do Interior  
**Rubens Antonio Mandetta**

Presidente da Fundação para o Desenvolvimento da Educação – FDE  
**Fábio Bonini Simões de Lima**

### EXECUÇÃO

**Coordenação Geral**  
Maria Inês Fini

**Concepção**  
Guiomar Namó de Mello  
Lino de Macedo  
Luís Carlos de Menezes  
Maria Inês Fini  
Ruy Berger

### GESTÃO

Fundação Carlos Alberto Vanzolini

**Presidente do Conselho Curador:**  
Antonio Rafael Namur Muscat

**Presidente da Diretoria Executiva:**  
Mauro Zilbovicius

**Diretor de Gestão de Tecnologias aplicadas à Educação:**  
Guilherme Ary Plonski

**Coordenadoras Executivas de Projetos:**  
Beatriz Scavazza e Angela Sprenger

### COORDENAÇÃO TÉCNICA

CENP – Coordenadoria de Estudos e Normas Pedagógicas

### Coordenação do Desenvolvimento dos Conteúdos Programáticos e dos Cadernos dos Professores

Ghislaine Trigo Silveira

### AUTORES

#### Ciências Humanas e suas Tecnologias

**Filosofia:** Paulo Miceli, Luiza Christov, Adilton Luís Martins e Renê José Trentin Silveira

**Geografia:** Angela Corrêa da Silva, Jaime Tadeu Oliva, Raul Borges Guimarães, Regina Araujo, Regina Célia Bega dos Santos e Sérgio Adas

**História:** Paulo Miceli, Diego López Silva, Glaydson José da Silva, Mônica Lungov Bugelli e Raquel dos Santos Funari

**Sociologia:** Heloisa Helena Teixeira de Souza Martins, Marcelo Santos Masset Lacombe, Melissa de Mattos Pimenta e Stella Christina Schrijnemaekers

#### Ciências da Natureza e suas Tecnologias

**Biologia:** Ghislaine Trigo Silveira, Fabioli Bovo Mendonça, Felipe Bandoni de Oliveira, Lucilene Aparecida Esperante Limp, Maria Augusta Querubim Rodrigues Pereira, Olga Aguiar Santana, Paulo Roberto da Cunha, Rodrigo Venturoso Mendes da Silveira e Solange Soares de Camargo

**Ciências:** Ghislaine Trigo Silveira, Cristina Leite, João Carlos Miguel Tomaz Micheletti Neto, Julio César Foschini Lisboa, Lucilene Aparecida Esperante Limp, Máira Batistoni e Silva, Maria Augusta Querubim Rodrigues Pereira, Paulo Rogério Miranda Correia, Renata Alves Ribeiro, Ricardo Rechi Aguiar, Rosana dos Santos Jordão, Simone Jaconetti Ydi e Yassuko Hosoume

**Física:** Luis Carlos de Menezes, Estevam Rouxinol, Guilherme Brockington, Ivã Gurgel, Luís Paulo de Carvalho Piassi, Marcelo de Carvalho Bonetti, Maurício Pietrocola Pinto de Oliveira, Maxwell Roger da Purificação Siqueira, Sonia Salem e Yassuko Hosoume

**Química:** Maria Eunice Ribeiro Marcondes, Denilse Moraes Zambom, Fábio Luiz de Souza, Hebe Ribeiro da Cruz Peixoto, Isis Valença de Sousa Santos, Luciane Hiromi Akahoshi, Maria Fernanda Penteadó Lamas e Yvone Mussa Esperidião

### Linguagens, Códigos e suas Tecnologias

**Arte:** Gisa Picosque, Mirian Celeste Martins, Geraldo de Oliveira Suzigan, Jéssica Mami Makino e Sayonara Pereira

**Educação Física:** Adalberto dos Santos Souza, Jocimar Daolio, Luciana Venâncio, Luiz Sanches Neto, Mauro Betti e Sérgio Roberto Silveira

**LEM – Inglês:** Adriana Ranelli Weigel Borges, Alzira da Silva Shimoura, Lívia de Araújo Donnini Rodrigues, Priscila Mayumi Hayama e Sueli Salles Fidalgo

**Língua Portuguesa:** Alice Vieira, Débora Mallet Pezarim de Angelo, Eliane Aparecida de Aguiar, José Luís Marques López Landeira e João Henrique Nogueira Mateos

### Matemática

**Matemática:** Nilson José Machado, Carlos Eduardo de Souza Campos Granja, José Luiz Pastore Mello, Roberto Perides Moisés, Rogério Ferreira da Fonseca, Ruy César Pietropaolo e Walter Spinelli

### Caderno do Gestor

Lino de Macedo, Maria Eliza Fini e Zuleika de Felice Murríe

### Equipe de Produção

**Coordenação Executiva:** Beatriz Scavazza

**Assessores:** Alex Barros, Beatriz Blay, Carla de Meira Leite, Eliane Yambanis, Heloisa Amaral Dias de Oliveira, José Carlos Augusto, Luiza Christov, Maria Eloisa Pires Tavares, Paulo Eduardo Mendes, Paulo Roberto da Cunha, Pepita Prata, Renata Elsa Stark, Solange Wagner Locatelli e Vanessa Dias Moretti

### Equipe Editorial

**Coordenação Executiva:** Angela Sprenger

**Assessores:** Denise Blanes e Luis Márcio Barbosa

**Projeto Editorial:** Zuleika de Felice Murríe

**Edição e Produção Editorial:** Conexão Editorial, Aeroestúdio, Verba Editorial e Occy Design (projeto gráfico)

### APOIO

FDE – Fundação para o Desenvolvimento da Educação

### CTP, Impressão e Acabamento

Esdeva Indústria Gráfica

A Secretaria da Educação do Estado de São Paulo autoriza a reprodução do conteúdo do material de sua titularidade pelas demais secretarias de educação do país, desde que mantida a integridade da obra e dos créditos, ressaltando que direitos autorais protegidos\* deverão ser diretamente negociados com seus próprios titulares, sob pena de infração aos artigos da Lei nº 9.610/98.

\* Constituem "direitos autorais protegidos" todas e quaisquer obras de terceiros reproduzidas no material da SEE-SP que não estejam em domínio público nos termos do artigo 41 da Lei de Direitos Autorais.

Catálogo na Fonte: Centro de Referência em Educação Mario Covas

S239c São Paulo (Estado) Secretaria da Educação.

Caderno do professor: física, ensino médio - 3ª série, volume 3 / Secretaria da Educação; coordenação geral, Maria Inês Fini; equipe, Estevam Rouxinol, Guilherme Brockington, Ivã Gurgel, Luís Paulo de Carvalho Piassi, Marcelo de Carvalho Bonetti, Maurício Pietrocola Pinto de Oliveira, Maxwell Roger da Purificação Siqueira, Yassuko Hosoume. – São Paulo : SEE, 2009.

ISBN 978-85-7849-331-8

1. Física 2. Ensino Médio 3. Estudo e ensino I. Fini, Maria Inês. II. Rouxinol, Estevam. III. Brockington, Guilherme. IV. Gurgel, Ivã. V. Piassi, Luís Paulo de Carvalho. VI. Bonetti, Marcelo de Carvalho. VII. Oliveira, Maurício Pietrocola Pinto de. VIII. Siqueira, Maxwell Roger da Purificação. IX. Hosoume, Yassuko. X. Título.

CDU: 373.5:53



Caras professoras e caros professores,

Tenho a grata satisfação de entregar-lhes o volume 3 dos Cadernos do Professor.

Vocês constatarão que as excelentes críticas e sugestões recebidas dos profissionais da rede estão incorporadas ao novo texto do currículo. A partir dessas mesmas sugestões, também organizamos e produzimos os Cadernos do Aluno.

Recebemos informações constantes acerca do grande esforço que tem caracterizado as ações de professoras, professores e especialistas de nossa rede para promover mais aprendizagem aos alunos.

A equipe da Secretaria segue muito motivada para apoiá-los, mobilizando todos os recursos possíveis para garantir-lhes melhores condições de trabalho.

Contamos mais uma vez com a colaboração de vocês.

**Paulo Renato Souza**

Secretário da Educação do Estado de São Paulo





# SUMÁRIO

<b>São Paulo faz escola – Uma Proposta Curricular para o Estado</b>	<b>5</b>
<b>Ficha do Caderno</b>	<b>7</b>
<b>Orientação sobre os conteúdos do Caderno</b>	<b>8</b>
<b>Tema 1 – Matéria, suas propriedades e organização. Átomo: emissão e absorção da radiação</b>	<b>10</b>
Situação de Aprendizagem 1 – Objetos que compõem o nosso mundo: semelhanças e diferenças	10
Situação de Aprendizagem 2 – Como podemos “ver” um átomo?	14
Situação de Aprendizagem 3 – Dados quânticos	19
Situação de Aprendizagem 4 – Identificando os elementos químicos dos materiais	22
Situação de Aprendizagem 5 – Um equipamento astronômico	25
Situação de Aprendizagem 6 – Astrônomo amador	29
Situação de Aprendizagem 7 – O poderoso <i>laser</i>	32
Grade de Avaliação	39
Propostas de questões para aplicação em avaliação	40
<b>Tema 2 – Fenômenos nucleares</b>	<b>42</b>
Situação de Aprendizagem 8 – Formação nuclear	42
Situação de Aprendizagem 9 – Decaimentos nucleares: uma família muito estranha	47
Situação de Aprendizagem 10 – Desvendando o que há por dentro da “caixa-preta”	50
Grade de Avaliação	53
Propostas de questões para aplicação em avaliação	54
<b>Proposta de Situação de Recuperação</b>	<b>55</b>
<b>Recursos para ampliar a perspectiva do professor e do aluno para a compreensão do tema</b>	<b>56</b>





# SÃO PAULO FAZ ESCOLA – UMA PROPOSTA CURRICULAR PARA O ESTADO

Prezado(a) professor(a),

É com muita satisfação que lhe entregamos mais um volume dos Cadernos do Professor, parte integrante da Proposta Curricular de 5ª a 8ª séries do Ensino Fundamental – Ciclo II e do Ensino Médio do Estado de São Paulo. É sempre oportuno lembrar que esta é a nova versão, que traz também a sua autoria, uma vez que inclui as sugestões e críticas recebidas após a implantação da Proposta.

É também necessário lembrar que os Cadernos do Professor espelharam-se, de forma objetiva, na Base Curricular, referência comum a todas as escolas da rede estadual, e deram origem à produção dos Cadernos dos Alunos, justa reivindicação de professores, pais e famílias para que nossas crianças e jovens possuíssem registros acadêmicos pessoais mais organizados e para que o tempo de trabalho em sala de aula pudesse ser melhor aproveitado.

Já temos as primeiras notícias sobre o sucesso do uso dos dois Cadernos em sala de aula. Este mérito é, sem dúvida, de todos os profissionais da nossa rede, especialmente seu, professor!

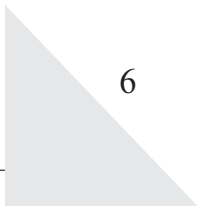
O objetivo dos Cadernos sempre será o de apoiar os professores em suas práticas de sala de aula. Podemos dizer que este objetivo está sendo alcançado, porque os professores da rede pública do Estado de São Paulo fizeram dos Cadernos um instrumento pedagógico com bons resultados.

Ao entregar a você estes novos volumes, reiteramos nossa confiança no seu trabalho e contamos mais uma vez com seu entusiasmo e dedicação para que todas as crianças e jovens da nossa rede possam ter acesso a uma educação básica de qualidade cada vez maior.

**Maria Inês Fini**

Coordenadora Geral  
Projeto São Paulo Faz Escola







# FICHA DO CADERNO

## Matéria e radiação

**Nome da disciplina:** Física

**Área:** Ciências da Natureza e suas Tecnologias

**Etapa da educação básica:** Ensino Médio

**Série:** 3<sup>a</sup>

**Volume:** 3

**Temas e conteúdos:** Matéria, suas propriedades e organização

Átomos: emissão e absorção da radiação

Núcleo atômico e radioatividade



## ORIENTAÇÃO SOBRE OS CONTEÚDOS DO CADERNO

Neste bimestre, nosso assunto é a constituição da matéria. Primeiramente, vamos desenvolver a compreensão do modelo atômico investigando propriedades macroscópicas da matéria, com o estudo de fenômenos cuja explicação só depende da eletrosfera. Em seguida, por meio de experimentos simples, estudaremos a evolução do modelo atômico. Posteriormente, ao discutir a emissão de radiação e suas aplicações na medicina, investigaremos o núcleo atômico.

Na primeira parte deste estudo são propostas sete Situações de Aprendizagem. Inicia-se com um levantamento de objetos presentes em nosso universo e a identificação de suas semelhanças e diferenças, desafiando os alunos a perceber e a querer compreender a diversidade da matéria presente em nosso mundo.

Em seguida, propõe-se uma atividade experimental sobre espalhamento de bolinhas, que, por meio de uma analogia, permite a compreensão de experimento histórico realizado por Rutherford em 1908. Além disso, a atividade constitui um exercício interessante para a discussão do que são modelos científicos elaborados para explicar uma realidade a que não temos acesso diretamente.

A quantização da energia de radiação pelo átomo será abordada por meio de uma atividade lúdica, um jogo que permite a compreensão de conceitos e a construção de novos modelos físicos.

Nas atividades seguintes, utilizando materiais simples, são propostos experimentos envolvendo a construção e o uso de espectroscópios para caracterizar substâncias por meio da análise de espectros de linha.

Estes experimentos propiciam ainda o contato dos alunos com uma atividade científica de larga importância nos dias atuais: a espectroscopia. Finalmente, por meio de experimentos feitos com uma caneta *laser*, propõe-se a investigação de suas características e aplicações, além da leitura e análise de um texto sobre o assunto.

Na segunda parte do Caderno serão propostas três Situações de Aprendizagem. Na primeira, a força nuclear é tratada de forma lúdica: os alunos “formam” núcleos com bolinhas de isopor para compreender a coexistência de forças de atração e repulsão.

Na Situação de Aprendizagem seguinte propõe-se a análise de uma série de decaimentos radioativos por meio de um jogo tipo quebra-cabeças. A última atividade mostra a aplicação destas radiações nucleares em diagnósticos médicos. Por meio de um aparato experimental simples, com a utilização de uma lanterna no interior de uma pasta, faz-se uma analogia com os exames de tomografia computadorizada, levando os alunos à compreensão da importância de aplicar a radiação nuclear em exames diagnósticos.

Ao final da realização destas atividades, espera-se que os alunos tenham compreendido primeiramente o modelo atual de átomo e sua importância na constituição dos corpos. Ao reconhecer com clareza os processos de emissão e absorção de energia pelos elétrons e as tecnologias a eles associadas, deverão formar uma imagem sobre a eletrosfera e as partes externas do átomo.

Em um segundo momento, os alunos deverão ter compreendido o modelo do núcleo, sua estabilidade, a fissão nuclear e as formas





de decaimento, complementando a percepção do modelo atômico.

O aprendizado deverá ser avaliado por meio do envolvimento dos alunos com as atividades desenvolvidas nas Situações de Aprendizagem. Avalie se eles realizam adequadamente a leitura dos roteiros, se conseguem sistematizar as discussões sobre os temas apresentados, se produzem textos e

se são capazes de resolver as questões analíticas com linguagem científica adequada. Entretanto, mais importante do que verificar se chegaram a conclusões e resultados “corretos” é valorizar a evolução do aprendizado dos alunos. É possível avaliá-los, individualmente ou em grupo, observando a apreensão de conceitos e o desenvolvimento das habilidades e das competências almejadas ao longo do processo de ensino.



## TEMA 1 – MATÉRIA, SUAS PROPRIEDADES E ORGANIZAÇÃO. ÁTOMO: EMISSÃO E ABSORÇÃO DA RADIAÇÃO

Até o presente momento, os alunos aprenderam principalmente fenômenos pertencentes à chamada Física Clássica. Estudaram conceitos relacionados a movimento, calor, luz, eletricidade etc., fenômenos presentes no cotidiano e, talvez, mais facilmente perceptíveis em nosso dia a dia. Agora iniciaremos uma nova etapa por meio do estudo que buscará, sobretudo, discutir a dimensão microscópica do nosso universo e apresentar alguns fenômenos que ocorrem neste mundo do “muito pequeno”. A estrutura do átomo, as formas de distribuição dos elétrons e os mecanismos de emissão e absorção de energia serão abordados nesta primeira parte do Caderno.

Os objetos que nos rodeiam são formados por uma diversidade muito grande de materiais, como o plástico, a madeira, o vidro e os metais, uma diversidade tão grande de materiais, originários de minerais e de seres vivos. Muitas das diferentes características físicas destes materiais estão associadas às formas de agrupamento, organização e estrutura dos átomos e das moléculas que os compõem. Nesta etapa do trabalho, daremos ênfase à compreensão de fenômenos e propriedades explicáveis por meio do estudo da eletrosfera. Para isto, partiremos de uma discussão sobre as transições dos elétrons, mostraremos suas

aplicações nos estudos de caracterização de materiais por meio de espectros e estudaremos o funcionamento dos raios *laser*.

No estudo agora desenvolvido serão promovidas as seguintes competências e habilidades:

1. Compreender a constituição e a organização da matéria, suas especificidades e seus modelos físicos.
2. Utilizar os modelos atômicos propostos para explicar características macroscópicas observáveis e propriedades dos materiais.
3. Compreender processos de construção de ideias na Ciência, por meio de leituras, interpretação e discussão de textos históricos.
4. Utilizar procedimentos e instrumentos de observação, representar resultados experimentais, elaborar hipóteses e interpretar resultados em situações que envolvem fenômenos de espalhamento de partículas.
5. Compreender as transições de elétrons no átomo de hidrogênio.
6. Compreender o uso de dispositivos a *laser* e outros aspectos da tecnologia atual.

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

O objetivo da atividade é fazer com que os alunos apresentem suas ideias e reflitam a respeito das características da matéria, bus-

cando identificar qual é o elemento básico de sua composição.



**Tempo previsto:** 2 aulas.

**Conteúdos e temas:** modelos atômicos e de organização de átomos e moléculas na constituição da matéria (para explicar as características macroscópicas observáveis).

**Competências e habilidades:** identificar diferentes tipos de materiais no cotidiano; classificar os componentes do universo físico a partir critérios especificados em discussões de grupo; compreender a constituição e a organização da matéria viva e não viva, suas especificidades e suas relações com a estrutura atômica.

**Estratégias:** organização de conhecimentos prévios, primeiramente com discussão em pequenos grupos, a partir de um roteiro, e sistematização em grande grupo.

**Recursos:** roteiro da Situação de Aprendizagem, visando identificar as características básicas da matéria.

**Avaliação:** verificar a variedade e a qualidade das manifestações dos alunos; a capacidade de organizar e estabelecer categorias em função de características inferidas; a qualidade do relatório que sintetiza a discussão em grupo.

## Desenvolvimento da Situação de Aprendizagem

A etapa inicial do trabalho objetiva a percepção da diversidade de materiais presentes nos objetos. Após a realização de um levantamento acerca desta diversidade, pode-se discutir, de forma geral, quais são as características específicas de cada corpo, como: se é vivo ou não; se é um material condutor de eletricidade

ou calor ou não; se é opaco ou transparente etc. No final, os alunos devem pensar sobre o que estes materiais têm em comum e, assim, reconhecer que a base comum de qualquer corpo é o átomo, estrutura que nos permite explicar muitas diferenças entre as características físicas dos materiais.

### Roteiro 1 – Corpos que compõem o universo ao nosso redor

Você já deve ter notado que o mundo é formado por uma quantidade muito grande de seres e objetos bastante diferentes entre si. Você já pensou o que faz certas coisas serem tão diferentes umas das outras? Então, é hora de tentar entender isto. Reúna-se em grupo com seus colegas e discuta as seguintes questões:

#### Mãos à obra

**Passo 1** – Faça uma lista de pelo menos vinte objetos diferentes em termos de seus materiais e propriedades.

**Passo 2** – Organize estes objetos segundo algumas de suas principais características, identificando semelhanças e diferenças.

**Passo 3** – Entre estas características, identifique os materiais de que estes objetos são feitos.

**Passo 4** – Agora, procure responder à questão: Estes objetos têm alguma coisa em comum? Se sim, o quê?

**Passo 5** – O que explicaria, então, a diversidade de suas características e propriedades físicas?



## Encaminhando a ação

Inicie a Situação de Aprendizagem apresentando o roteiro 1 e pondo em discussão a diversidade tão grande de objetos e de propriedades e características dos materiais. *Será ilimitada ou será que existe um limite físico para isto?* Após essa discussão inicial, os alunos podem começar a realizar a atividade. Inicialmente dê liberdade para que eles desenvolvam o roteiro. Se tiverem dificuldade, auxilie-os fornecendo sugestões.

Na etapa de levantamento sobre os corpos, oriente os alunos para que listem coisas comuns do cotidiano, presentes na sala de aula, em casa, na rua, nos jardins, no céu etc. e coisas de percepção menos imediata, presentes em nosso corpo, no interior de máquinas e equipamentos, no ar, na água etc. Desta forma, não será difícil para os alunos criarem uma lista enorme, na qual possivelmente surgirão nomes muito variados, como mesa, cadeira, computador, animais, plantas, roupas, lâmpadas, relógios, nuvem, estrela, água, célula, *chip*, circuito elétrico etc.

O atendimento à solicitação do 2º passo deve ser um pouco mais elaborado, pois os alunos deverão criar categorias para classificar os itens listados no passo anterior. Nesta etapa, é preciso deixar bem claro aos alunos que estas categorias devem, em alguma medida, se referir a qualidades observáveis dos materiais, mas que uma classificação, por exemplo, de feio e bonito não seria útil para uma discussão acerca das propriedades da matéria. Pode-se sugerir a organização de uma tabela: na primeira coluna serão registrados os objetos listados, e nas demais, algumas características selecionadas, como: estado físico, rigidez, transparência/opacidade, orgânico ou não orgânico, elasticidade, densidade, condutividade elétrica, condutividade térmica, vivo ou não vivo etc.

A análise destas categorias pode começar pela classificação de vivo e não vivo. Essa diferenciação é importante, pois os alunos devem perceber que a Física conceitua, modela, explica características da matéria, mas não tem como foco explicar a vida, que é o objeto de estudo da Biologia. Todavia, em nossos estudos de Física, é possível questionar de que maneira os “objetos físicos” podem afetar nossa vida, como no caso de uma interação da radiação com nosso corpo.

Desenvolva esta discussão e esclareça como as ciências se definem em relação ao seu objeto de estudo e debata questões relacionadas aos limites de atuação das várias áreas científicas.

Feita esta primeira classificação (vivo ou não vivo), passa-se a tratar das características físicas dos materiais. Aqui pode aparecer uma gama de classificações, por exemplo, em relação ao estado físico (sólido, líquido ou gasoso); em relação à condução de eletricidade e calor (condutor ou isolante); em relação à interação com a luz (opacos ou transparentes) ou se são produtores de luz, se refletem, absorvem ou refratam luz predominantemente etc.

Em seguida, os objetos devem ser classificados segundo os materiais de que são feitos: metal, plástico, papel, madeira, vidro, solução aquosa etc. Finalmente, quanto à última questão do roteiro, pergunte o que explicaria estas diferenças de características físicas dos materiais, direcionando o debate para a constituição da matéria.

Para isto, sugere-se trabalhar, com especial atenção, as questões do passo 4: *Estes objetos têm alguma coisa em comum? Explique.* Os alunos podem apresentar mais de uma resposta. Explore-as, procurando demonstrar a eles que o elemento básico de toda matéria são os átomos, ou seja, que todos estes objetos são constituídos por átomos.



Este momento seria uma oportunidade para discutir a questão do passo 5: *O que explicaria, então, a diversidade de suas características e propriedades físicas? Em outras palavras, não seriam estes átomos, ou sua organização, que diferenciariam, em última instância, uns materiais de outros?* Esta questão é fundamental, pois permite esclarecer que o estudo do “mundo atômico” possibilita explicar e entender as características e as diversidades da matéria do mundo ao nosso redor.

Para que toda esta discussão seja efetiva e a atividade não perca o foco, é recomendável dividi-la em dois momentos. O primeiro consiste na discussão das questões em grupo pelos alunos. Raramente eles chegam sozinhos às conclusões esperadas ou apenas com a ajuda parcial do professor, por isto, é fundamental que iniciem o debate e deem os primeiros passos por si próprios. No entanto, as conclusões principais precisam ser organizadas por você. No segundo momento, após a realização da atividade pelos alunos, discuta com todo o grupo, sistematizando e destacando quais são as principais características físicas da matéria. Dificilmente esta segunda fase de discussão em grupo é feita na mesma aula em que os alunos iniciam a atividade. Comece a aula seguinte retomando a discussão e fazendo uma apresentação sistemática dela.

Para complementar a discussão da atividade, apresente (ou retome) o modelo de átomo constituído de um núcleo, com partículas positivas e neutras, e elétrons, em órbitas, ao seu redor. Com o modelo atômico apresentado de forma qualitativa e sem muitos detalhes, já é possível discutir, ainda que de maneira pouco formal, a relação entre as características físicas da matéria e sua estrutura atômica.

A condução pode ser definida como o movimento de elétrons que estão mais fracamente ligados ao núcleo, localizados na chamada banda ou região de condução.

Os isolantes, ao contrário, são os materiais nos quais não há elétrons na banda de condução e, conseqüentemente, não há elétrons que possam transitar dentro da estrutura atômica do material.

A absorção/emissão de luz pode ser explicada como a interação desta com o elétron, no qual ele pode vibrar, ou não, na mesma frequência da luz incidente (neste momento não é preciso abordar os detalhes deste efeito, que será discutido especificamente nas Situações de Aprendizagem 3, 4 e 5, mas o aluno deve ser sensibilizado para este aspecto).

Esclareça que o estado físico depende do potencial de ligação entre as moléculas do material. Nos sólidos, o potencial de ligação é representado como se as moléculas fossem ligadas por uma mola: elas podem vibrar em conjunto, cada qual em uma posição de equilíbrio.

Nos líquidos, este potencial é mais fraco, mas ainda suficiente para manter as moléculas ligadas umas às outras, como na tensão superficial que forma uma gota, mas a maior liberdade de movimentação explica a fluidez dos líquidos.

Nos gases, o potencial de ligação entre as moléculas pode ser considerado nulo e por isto uma molécula pode se movimentar de forma independente da outra. Nas aulas seguintes serão discutidas, com mais detalhes, as características dos átomos e como isso nos permite explicar e responder com mais propriedade às questões propostas nesse primeiro roteiro, bem como compreender alguns fenômenos naturais e equipamentos presentes em nosso dia a dia. Como preparação para a Situação de Aprendizagem 2, o Caderno do Aluno propõe a leitura e a análise de texto para que os alunos tenham uma primeira compreensão das dimensões atômicas e subatômicas.



## SITUAÇÃO DE APRENDIZAGEM 2 COMO PODEMOS “VER” UM ÁTOMO?<sup>1</sup>

O principal objetivo desta Situação de Aprendizagem é mostrar aos alunos como foi possível a Rutherford e seus colaboradores reformular o modelo de átomo, propondo a existência de um pequeno núcleo no centro e elétrons espalhados fora do núcleo. Para isto, propomos uma atividade experimental, que é uma analogia ao

experimento realizado pelo cientista em 1908. Além disto, outro objetivo é mostrar a evolução posterior no modelo atômico com a contribuição de Bohr. A proposição de Bohr é capaz de ilustrar ainda que, para aceitá-la, os cientistas teriam de revisar uma teoria já consolidada: o eletromagnetismo.

**Tempo previsto:** 2 aulas.

**Conteúdos e temas:** estrutura atômica e espalhamento de partículas; modelo atômico de Rutherford; modelo atômico de Bohr.

**Competências e habilidades:** compreender processos de construção de ideias na ciência; explorar historicamente o processo de construção de modelos da estrutura atômica; utilizar procedimentos e instrumentos de observação, representar resultados experimentais, elaborar hipóteses e interpretar resultados em situações que envolvem fenômenos de espalhamento de partículas.

**Estratégias:** realização de atividades experimentais em grupo; leitura do guia de execução do experimento; elaboração de hipóteses de trabalho; análise dos resultados e discussão com a classe.

**Recursos:** roteiro da Situação de Aprendizagem; material para a experiência.

**Avaliação:** avaliar a capacidade dos alunos de levantar hipóteses e a qualidade da argumentação ao justificá-las em resposta às questões solicitadas no roteiro.

### Desenvolvimento da Situação de Aprendizagem

Na aula anterior, definiu-se átomo como sendo o constituinte básico da matéria. No entanto, devido à sua dimensão, da ordem de  $10^{-10}$  m, este constituinte não pode ser observado a olho nu e nem mesmo com a ajuda dos mais poderosos instrumentos ópticos. Com isto, uma pergunta fica em aberto: *Como podemos descobrir a estrutura de algo invisível?* O trabalho com o roteiro 2 permitirá a reali-

zação do experimento. Após esta realização, na aula seguinte faça uma apresentação sobre como foi feita a experiência de Rutherford e o modelo atômico de Bohr. Procure elaborar uma síntese da atividade mostrando o modelo de Rutherford-Bohr e ressaltando a ideia de transformação do modelo atômico e das teorias amplamente aceitas, como o eletromagnetismo.

<sup>1</sup> Adaptada de SIQUEIRA, Maxwell *et al.* *Física das partículas*. NuPic-FEUSP. Disponível em: <<http://nupic.incubadora.fapesp.br/portal/projetos/fisica-moderna/fisica-das-particulas-1>>. Acesso em: 20 jun 2009.



### Roteiro 2 – “Observando algo invisível!”

Você já deve ter participado de um jogo de sinuca ou brincado com bolinhas de gude. Se já fez isso, sabe que, quando atiramos uma bolinha com dada velocidade contra um objeto ou anteparo, dependendo do seu tamanho e formato, ela rebate de forma diferente. Utilizando essa “técnica” simples, a próxima atividade permite 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 estará escondido embaixo de uma placa de madeira.

#### Materiais

Placa de madeira com um corpo material plano fixado e escondido embaixo; bolinhas bem pequenas, de plástico, vidro ou metal, com no máximo 1 cm de diâmetro; folhas em branco, lápis e caneta; folha de isopor (de, no mínimo, 2 cm de espessura).

#### Mãos à obra

**Passo 1** – Atire as bolinhas embaixo da placa identificando sua trajetória.

**Passo 2** – Repare, com muito cuidado, qual o caminho que cada uma faz

quando está indo em direção ao material e por qual caminho ela volta após bater nele.

**Passo 3** – Para melhorar suas observações, utilize um papel em branco sobre a placa e uma caneta ou lápis para marcar com precisão as trajetórias das bolinhas.

**Passo 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 você chegou a esta conclusão? Você poderia 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.

**Lembre-se:** você terá de descobrir uma característica do objeto sem conseguir vê-lo diretamente. Por isto, não tente enxergá-lo. Se o fizer, a atividade perderá todo o seu sentido!

### Encaminhando a ação

Pode-se iniciar a aula com a questão: *É possível “enxergar” algo sem utilizar a visão? Ou seja, é possível inferirmos características de um objeto sem enxergá-lo diretamente por meio da visão?* Os alunos poderão responder que sim; se utilizarmos outros sentidos, como o tato. Em seguida pode-se questionar: *Se*

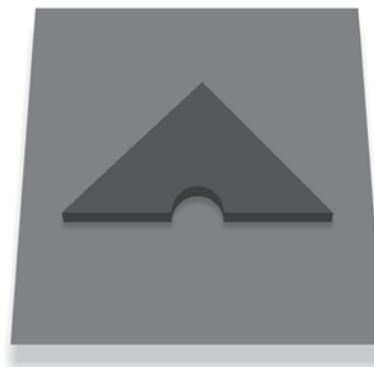
*nenhum dos nossos sentidos for capaz de nos dar informações diretas sobre determinado corpo, o que fazemos?* Pode-se, então, dar continuidade à atividade experimental. Primeiramente é conveniente ressaltar alguns cuidados quanto à realização da atividade pelos alunos. Devemos evitar, ao máximo, que eles vejam o formato da figura sob a placa, pois isso invalida completamente o sentido da atividade. Para





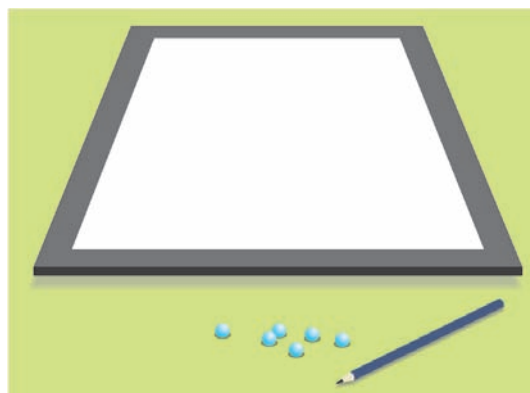
tanto, é interessante que as placas e os materiais estejam pintados de preto, o que dificulta a visualização. Além disso, as placas devem ter um tamanho que seja aproximadamente o dobro do tamanho do objeto embaixo dela, que deve ficar completamente coberto. É mais fácil construir os “objetos” com isopor. Pode-se cortar a folha de isopor (com espessura supe-

rior a 2 cm) em diferentes formatos geométricos, como triângulos, quadrados, círculos etc., com alguns detalhes para que o formato não seja muito trivial. Assim, cada grupo pode ter uma placa que esconde algo diferente dos outros grupos e cada um deverá descobrir o formato do objeto de seu arranjo particular.



Figuras 1 e 2 – Exemplos para a construção de placas.

Ilustrações: Jairo Souza Design Gráfico



Figuras 3 e 4 – Placas dispostas na posição para a realização da atividade.

Pode-se, eventualmente, pedir aos alunos que façam a atividade no chão, caso não haja uma mesa adequada para colocar as placas. As placas no chão dificultam ainda mais a visão da figura oculta. Mesmo depois da realização da atividade, é importante que os alunos não vejam o formato da figura. Isto é fundamental para o debate que ocorrerá em seguida. Inicialmente, os alunos podem se sentir incomo-

dados, mas, após a discussão, entenderão o sentido desta opção. Ao final da atividade, eles podem apresentar suas conclusões e discutir com a turma as respostas às questões propostas. Eventualmente é possível optar por utilizar uma aula a mais para o debate dos alunos, pois, em geral, é interessante refletir sobre o seu próprio processo de construção de ideias por meio de hipóteses e verificações.





Para encaminhar esta atividade, na própria aula da discussão e na seguinte, fique atento a algumas questões que ela permite suscitar. Inicialmente, é importante que fique claro para o aluno que as evidências que temos do mundo atômico são sempre indiretas.

É um procedimento semelhante ao que um detetive deve realizar. Ao buscar pistas, muitas vezes sutis e escassas, ele tenta compor uma explicação para algum acontecimento ou fenômeno. Os alunos percebem esta dinâmica de construção do conhecimento quando respondem à segunda pergunta proposta no roteiro. Ao refletirem sobre como procederam na realização da atividade, é comum que eles mesmos apontem que não há como ter certeza sobre o que está escondido sob a placa, mas que com a análise da trajetória das bolinhas é possível fazer suposições a respeito das características do objeto.

O segundo ponto a ser discutido, decorrência do primeiro, é a constatação de que há uma impossibilidade de “acesso direto” à realidade microscópica. No entanto, é possível sugerir modelos para representá-la a partir de diferentes procedimentos de investigação, ou seja, os cientistas formulam modelos que a representam. Este ponto também pode ser percebido pelos alunos, e é comum que eles apontem que, depois de criada a representação do objeto, é possível testá-la. Se houver alguma imperfeição ou uma parte vazada na figura ocultada pela placa, os alunos começam a atirar a bolinha o mais próximo possível daquele ponto para verificar se ela é rebatida (ou passa sem rebater no caso de uma parte vazada) da maneira que supunham. Em outras palavras, percebem que é possível fazer previsões com o modelo construído e utilizam esta constatação para validar o modelo de figura proposto por eles.

Neste contexto de discussão, é possível questionar a precisão de suas medidas e pen-

sar em como aperfeiçoá-las. Nesta atividade, o tamanho das bolinhas é o fator principal, pois quanto menor a bolinha, maior a chance de se perceber pequenos detalhes do objeto.

Após esta discussão geral sobre a natureza das experiências científicas, inicie a explicação do experimento realizado por Rutherford e seus colaboradores. Neste experimento, eles utilizaram uma fonte radioativa que emite partículas  $\alpha$  para formar um feixe (na atividade, as bolinhas representam este feixe). Estas partículas são formadas por dois prótons e dois nêutrons, tendo assim carga elétrica positiva, algo já conhecido na época.

Além disto, elas têm uma massa grande em relação à do elétron (cerca de oito mil vezes maior) e são emitidas com uma grande energia, fazendo que se possa desconsiderar seu choque com um elétron. Utilizando esta fonte de  $\alpha$  e uma placa de chumbo, os cientistas obtiveram um feixe colimado, no caso partículas emitidas com a mesma energia e trajetória.

Para estudar a estrutura atômica de um material, eles incidiram este feixe em um alvo, no caso uma folha muito fina de ouro, com cerca de  $10^{-6}$  m de espessura, e colocaram uma espécie de papel fotográfico, tratado com sulfeto de zinco (ZnS), em torno do mesmo. O papel, que tinha luminescência ao ser atingido pelas partículas  $\alpha$ , tinha a função de identificar a direção da trajetória das partículas após interagirem com os átomos de ouro do material. Como o modelo atômico vigente na época era o proposto por J.J. Thomson – no qual se imaginava o átomo como um corpo maciço contínuo de carga positiva, com dimensões da ordem de  $10^{-10}$  m –, neste corpo haveria pequenas regiões com carga negativa, que vibrariam em torno de posições de equilíbrio. Para tal modelo, o que se esperava como resultado do experimento era que as partículas atravessassem a folha de ouro sem desvio algum ou com no máximo  $1^\circ$  de desvio em relação à trajetória original.



No entanto, um número significativo de partículas foi desviado com um ângulo de mais de  $90^\circ$ , isto é, foi rebatido. Para explicar o fato, em 1911, três anos após a realização da experiência, Rutherford propôs o modelo atômico no qual o núcleo tem uma dimensão 10 mil vezes menor que o raio atômico típico, isto é, o núcleo teria uma ordem de grandeza de  $10^{-14}$  m, no qual apenas existiriam cargas positivas e neutras e, fora dele, na forma de órbitas planetárias, as cargas negativas estariam distribuídas aleatoriamente.

Após a apresentação do modelo atômico de Rutherford, pode-se encaminhar em uma aula expositiva os seus limites e desdobramentos e apresentar a proposição de Bohr, destacando os aspectos a seguir, que podem ser aprofundados por meio das leituras apresentadas nas referências.

O modelo de Rutherford, apesar de ter sucesso ao explicar a estrutura do átomo, deixou algumas questões em aberto. *Considerando que as cargas negativas, mais tarde chamadas de elétrons, sofrem uma atração em direção ao núcleo, devido à força descrita pela lei de Coulomb e que para o eletromagnetismo clássico esta ação centrípeta implica radiação contínua e, assim, perda da energia. Por que eles não caíam no núcleo em um movimento em espiral? Outra questão em aberto era: por que os átomos emitiam radiações eletromagnéticas com frequências específicas, e não com um valor qualquer, já que estes elétrons poderiam estar a qualquer distância (proporcional ao raio atômico) do núcleo e, conforme previsto pela teoria do eletromagnetismo, deveriam emitir ondas eletromagnéticas de todos os valores?* Para resolver estas questões, Niels Bohr pressupôs, em 1913, que os elétrons somente poderiam estar localizados em órbitas circulares com raios de tamanhos específicos, que foram determinados postulando-se que o momento angular referente ao giro do elétron em torno do núcleo fosse um múltiplo de de-

terminado número,  $h/2\pi$ , sendo  $h$  a constante de Planck, proposta 13 anos antes e que tem o valor de aproximadamente  $6,62 \cdot 10^{-34}$  J.s ou  $4,13 \cdot 10^{-15}$  eV.s.

Dessa forma, ele elaborou um modelo atômico que aperfeiçoou o modelo de Rutherford, no qual as órbitas são quantizadas e os elétrons têm valores característicos de energia, pois somente circulam em torno do núcleo em determinadas distâncias, o que também limita as possibilidades de sua velocidade de giro em torno do núcleo (isto é, tanto sua energia potencial elétrica quanto sua energia cinética são definidas de acordo com a órbita na qual ele está). Com estas hipóteses, Bohr elaborou uma expressão matemática para determinar estes possíveis valores de energia que o elétron pode ter.

Além de propor a existência de órbitas fixas, Bohr postulou que os elétrons não emitem radiação devido ao seu movimento circular em torno do núcleo, mas apenas a emitem quando ele passa de um nível de energia para outro, o valor da energia emitida é o valor da diferença de cada nível, contradizendo, portanto, o eletromagnetismo clássico.

Este modelo funciona, e muito bem, ainda que apenas para os cálculos referentes aos átomos que têm somente um elétron, como no caso do hidrogênio, ou outros átomos quando altamente ionizados. A expressão pode ser escrita de maneira simplificada como  $E = -13,60 \cdot Z^2/n^2$ , sendo  $Z$  o número atômico do átomo e  $n$  o número da órbita onde o elétron está.

Após a apresentação do experimento de Rutherford, pode-se discutir os aperfeiçoamentos trazidos pelo modelo de Bohr e apresentar a fórmula para a realização do cálculo dos níveis energéticos. Esta discussão é relevante, pois mostra a evolução da construção da percepção do modelo atômico que inclu-



sive questionava as já bem estabelecidas bases do conhecimento que se tinha até então. Aceitar o modelo de Rutherford-Bohr significava aceitar a ideia de que o eletromagnetismo não previa corretamente todos os fenômenos

elétricos. E, se o modelo de Bohr não se aplicava a átomos mais complexos, as afirmações gerais sobre a quantização de energia no átomo e sobre a transição entre os níveis se mostraram de validade universal.

### SITUAÇÃO DE APRENDIZAGEM 3 DADOS QUÂNTICOS

O objetivo da Situação de Aprendizagem é analisar as transições, entre níveis de energia, possíveis a um elétron no átomo de hidrogênio. Como este não é um conceito simples propõe-se uma atividade lúdica para ajudar os alunos a compreender as possibilidades de

transição de um nível de menor energia para um nível de maior energia.

Assim, eles poderão sistematizar as ideias do modelo de Bohr, do ponto de vista tanto conceitual quanto de sua relação matemática.

**Tempo previsto:** 2 aulas.

**Conteúdos e temas:** a quantização da energia para explicar a absorção e a emissão da radiação pela matéria; modelo atômico de Bohr.

**Competências e habilidades:** elaborar hipóteses sobre os processos e os componentes envolvidos nas trocas de energia no átomo; utilizar o modelo de quantização da energia para explicar a absorção e a emissão de radiação pela matéria; utilizar tratamento matemático para os níveis de energia do átomo de hidrogênio.

**Estratégias:** realização em grupo de atividade lúdica na forma de um jogo de dados; leitura do guia de execução da Situação de Aprendizagem; elaboração de hipóteses sobre os processos de emissão e absorção atômicos; análise dos resultados e discussão com a classe: jogo de dados e análise de questões.

**Recursos:** roteiro da Situação de Aprendizagem, cartolina, papel branco, tesoura e cola.

**Avaliação:** avaliar a compreensão dos alunos quanto ao conceito de quantização e a qualidade das respostas às questões propostas, do ponto de vista matemático e conceitual.

#### Desenvolvimento da Situação de Aprendizagem

Organize a turma em grupos e oriente o trabalho com o roteiro a seguir. Trata-se de um jogo que simula a transição eletrônica num átomo de hidrogênio. O trabalho com o roteiro e a compreensão da analogia feita no jogo permitem a compreensão das regras de transição eletrônica do modelo de Bohr e a compreensão das diferenças entre este modelo atômico e o de Rutherford.

Além do tratamento matemático, a atividade possibilita a compreensão da base conceitual do modelo de Bohr. Primeiramente, os alunos devem ter assimilado a noção de que as órbitas possíveis são fixas e que o elétron sempre deve estar em alguma delas. Com isso, deve ficar claro que, como cada nível tem um valor determinado de energia, para o elétron passar de um nível para outro ele precisa da



energia, que é o resultado da diferença entre os níveis. Por exemplo, para ele sair do nível 1, de  $-13,60$  eV, e ir para o nível 2, de  $-3,40$  eV, precisa receber  $10,20$  eV. Se o elétron receber menos que este valor, ele não sairá deste nível de energia, pois esta energia é insuficiente para o salto que ele precisa dar. Contudo, se receber mais energia que este valor, também não sairá deste nível, pois com a energia recebida passaria da órbita que deveria ocupar.

Os alunos poderão notar ao longo da atividade que, apesar de o salto do elétron ser sempre muito preciso, não se limita aos níveis vizinhos de energia. O elétron pode passar, por exemplo, do nível 2 para diretamente para o 4, ou mesmo do nível 1 para o 5. Caso a energia tenha o valor correspondente à diferença de

quaisquer dois níveis, o elétron poderá mudar de orbital. Com isto, os alunos perceberão que é possível ganhar o jogo em uma só jogada.

Para tornar o assunto mais claro, solicite aos alunos a última questão da atividade, que pede exemplos de coisas quantizadas do nosso cotidiano. Pode-se dar o exemplo de uma escada, pois, quando subimos os degraus, a cada passo mudamos nossa altura em relação ao chão em uma quantidade determinada. Outro exemplo pode ser nosso dinheiro, pois o preço de algo é sempre um múltiplo de uma quantidade mínima, o centavo. Com uma série de exemplos simples como estes, ainda que simples metáforas o conceito de quantização pode ser incorporado pelos alunos mais facilmente.

### Roteiro 3 – Dados quânticos

Você já deve ter jogado 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 pular de casa se tirar um número inteiro, como 1, 2, 3 etc.

Vamos, então, supor que exista um jogo no qual, para avançar as 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 iremos levar de uma casa a outra representa um elétron.

### Mãos à obra

**Passo 1** – Recorte uma cartolina de forma que você consiga fazer dois cubos com ela. Eles serão os seus dados.

**Passo 2** – Nas faces de um dos cubos 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.

**Passo 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 saber estes 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 5. Para isso, o valor tirado no dado



deve ser a exata diferença dos valores de dois níveis. 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 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.

### Encaminhando a ação

Esta atividade permite um tratamento matemático do modelo de Bohr, ou seja, utilizar a relação que determina a energia para cada nível atômico, já proposta na aula anterior. Os alunos devem, primeiramente, calcular as energias dos níveis de 1 a 5. Eles obterão os seguintes resultados:

Primeiro nível ( $n=1$ ),  $E = -13,60 \text{ eV}$

Segundo nível ( $n=2$ ),  $E = -3,40 \text{ eV}$

Terceiro nível ( $n=3$ ),  $E = -1,51 \text{ eV}$

Quarto nível ( $n=4$ ),  $E = -0,85 \text{ eV}$

Quinto nível ( $n=5$ ),  $E = -0,54 \text{ eV}$

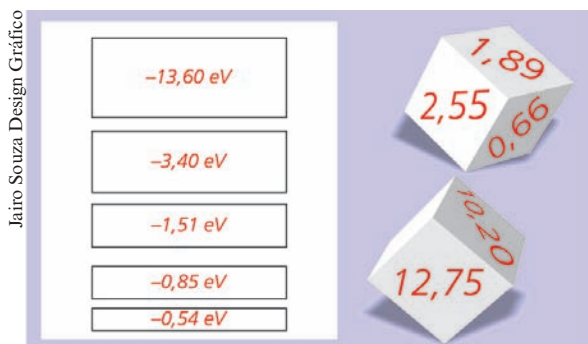


Figura 5 – Materiais para a Situação de Aprendizagem.

Deve-se tomar o cuidado de arredondar os cálculos para duas casas decimais, a fim de que todos os cálculos fiquem com o erro (algarismo duvidoso) na mesma casa decimal. Isto será particularmente importante para os cálculos dos níveis 3 e 5. Além disto, deve-se chamar a atenção para a unidade de energia, elétron-volt, que não é muito convencional e pode não ser conhecida pelos alunos. Os valores negativos destas energias podem suscitar dúvidas.

É preciso lembrar que esta energia representa a ligação do elétron ao núcleo. As energias entre dois corpos que se mantêm ligados, isto é, juntos um do outro, sempre têm valores negativos. Por isto, os números presentes nas faces dos dados são todos positivos, pois eles estão “fornecendo” a energia para o elétron sair do nível 1, mais próximo do núcleo, para os outros níveis.

Nesta atividade é possível, ainda, evidenciar a diferença entre os modelos atômicos de Rutherford e Bohr. Como para Rutherford as órbitas dos elétrons eram contínuas, em princípio, qualquer transição seria possível e, neste caso, qualquer valor tirado nos dados poderia ser aceito, e não precisaríamos de tantas regras. Um último ponto que você não precisa explorar, mas deve ter claro em sua mente, relaciona-se com a afirmação de



que os valores de energia de transição devem ser exatos<sup>2</sup>.

De acordo com este princípio, as posições de uma partícula não são tão bem definidas e, por isso, nas transições, os valores de energia podem variar levemente.

Nesta Situação de Aprendizagem, foram discutidas mudanças dos orbitais do elétron sem especificar as suas causas. Na sequência da atividade é possível concluir que a luz fornece energia ao elétron e que, quando um elétron perde energia – indo de um nível de mais energia para um menos energético –, ele faz isto emitindo luz.

Pode-se revisar o conteúdo da série anterior, quando se apresentou a luz como onda eletromagnética, e definir, sem muitos detalhes, fóton como pacote de onda. Os principais conceitos que devem ser retomados são os que caracterizam a onda: frequência e comprimento de onda. Esta revisão pode ser feita relacionando estas grandezas e as cores do espectro eletromagnético, como foi feito na série anterior. Com isto, pode-se apresentar a equação que relaciona a energia da luz incidente ou emitida com a sua frequência  $f$ :  $E = h \cdot f$ , sendo  $h$  a constante de Planck, já apresentada. Também pode-se introduzir a relação entre a velocidade da luz  $c$ , a frequência  $f$  e o comprimento de onda  $\lambda$  por meio da expressão  $c = \lambda \cdot f$ .

## SITUAÇÃO DE APRENDIZAGEM 4 IDENTIFICANDO OS ELEMENTOS QUÍMICOS DOS MATERIAIS

O objetivo desta Situação de Aprendizagem é discutir a emissão de luz por diferentes materiais e relacioná-la às propriedades atômicas estudadas. Após o estudo do átomo de hidrogênio, os alunos devem ter percebido que este átomo tem níveis de energia bem estabe-

lecidos e que, quando um elétron muda de um nível mais energético para um menos energético, este átomo emite luz de uma frequência bem determinada. Discutiremos, agora, algumas implicações deste fenômeno na análise química de sais.

**Tempo previsto:** 1 aula.

**Conteúdos e temas:** produção do espectro de emissão de radiações; relação das linhas espectrais com as substâncias.

**Competências e habilidades:** utilizar linguagem escrita para relatar experimentos e questões relativos à produção de espectros; ler e interpretar texto científico; analisar e interpretar resultados de atividade experimental demonstrativa; utilizar modelos quânticos para interpretação dos espectros de emissão de substâncias.

**Estratégias:** realização de atividades experimentais ou demonstrativas em grupo; elaboração de hipóteses de trabalho; análise dos resultados e discussão com a classe.

**Recursos:** roteiro da Situação de Aprendizagem para a atividade demonstrativa; materiais diversos para a produção de espectros de emissão de substâncias.

**Avaliação:** avaliar a compreensão do aluno sobre os processos de emissão de luz em termos do modelo quântico e sua capacidade de interpretação, por meio de leitura e respostas às questões, do relato científico proposto.

<sup>2</sup> Isso não é completamente verdade, pois outro cientista, chamado Wener Heisenberg, estabeleceu o princípio de incerteza, de acordo com o qual, por exemplo, o intervalo de tempo  $\Delta t$ , em que o elétron permanece numa órbita excitada multiplicado pela incerteza no valor da energia, é proporcional à constante de Planck. E, sendo  $\Delta t$  finito, a energia é sempre não nula ( $\Delta t \cdot \Delta E \geq \frac{h}{2\pi} \Rightarrow \Delta E \geq \frac{h}{2\pi \cdot \Delta t}$ ).





## Desenvolvimento da Situação de Aprendizagem

Determinar quais são os elementos básicos da constituição da matéria sempre foi um desafio para filósofos e cientistas. Antes mesmo de termos um modelo quântico para a estrutura atômica, foi percebido, já no século XIX, que materiais aquecidos emitiam luz característica, sendo possível estudar a constituição da matéria a partir da análise do espectro da

luz emitida por ele, o que se chama espectroscopia. Assim, vários elementos químicos ainda desconhecidos foram descobertos. Entre os trabalhos científicos neste campo, destaca-se o de Bunsen e Kirchoff, em meados do século XIX. Contudo, a explicação deste fenômeno somente foi possível com o modelo atômico de Bohr.

### Roteiro 4 – O que está escondido neste material?

É difícil imaginar que um fenômeno corriqueiro, que acontece quando alguém está cozinhando, possa ter relação com a Física Quântica, mas tem. Uma chama de fogão normalmente é azulada pois é a cor da luz emitida pelos gases de combustão a alta temperatura.

Mas talvez você já tenha reparado que, quando alguém derruba parte de um alimento que está cozinhando em panela sobre o fogão, atingindo a chama, o fogo torna-se mais amarelado durante algum tempo.

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, nesse caso pelo fogo, o elétron do átomo de sódio vai para um nível mais energético e emite uma luz amarelada ao voltar 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 (-13,6 eV, -10,20 eV etc.), mas, de um elemento químico para outro, estes valores podem mudar e, por isto, a luz emitida nas transições de elétrons pode ter diferentes cores. É como dizer que cada elemento químico tem uma assinatura e esta pode ser desvendada pela luz emitida pelo elemento.

### Mãos à obra

A descoberta de que a luz emitida por um corpo revela seus elementos químicos é mais antiga que o modelo atômico de Bohr. Ela foi desenvolvida por muitos cientistas, entre eles Robert W. Bunsen e Gustav R. Kirchhoff. Leia a carta que Bunsen escreveu a um amigo em 1859 e discuta as questões apresentadas em seguida:

“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 apareci-



mento 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, este método deve ser preferido a qualquer um dos até agora conhecidos. Assim, se tivermos uma mistura de lítio, potássio, sódio, bário, estrôncio, 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 5 milésimos de miligrama de lítio com a maior facilidade e precisão. Descobri a presença deste metal em quase todas as amostras de potassa”.

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

1. Qual a importância da descoberta apresentada pelo cientista em sua carta?
2. Por que ele está entusiasmado com ela?

## Encaminhando a ação

Esta atividade pode ser conduzida de muitas formas. Os alunos podem somente ler o texto e depois discuti-lo com você, professor. Contudo, uma estratégia que torna a aula mais interessante é começar a discussão referente à parte inicial do texto com uma demonstração.

Leve uma pequena vasilha de alumínio com álcool em gel para fazer uma chama de cor azul, semelhante à do fogão. Para isso, basta colocar o álcool na vasilha e acendê-lo com um fósforo. Com a chama acesa, você pode, utilizando uma pequena espátula, colocar um pouco de sal de cozinha no fogo e mostrar aos alunos que a chama se torna amarelada.

Esta demonstração deve ser precedida de uma problematização, semelhante à do texto, sobre o que ocorre quando algo cai na chama do fogão em nossas casas. Para tornar a demonstração mais interessante, é possível utilizar outros sais, como cloreto de potássio,

cloreto de níquel, cloreto de estrôncio e cloreto de cobre (que podem ser conseguidos em laboratórios de química), e mostrar a cor que resulta de cada um deles (rosa, verde, alaranjada etc., dependendo do tipo de sal). Esse é o princípio de produção dos fogos de artifício, por exemplo. Caso não seja possível fazer a demonstração, pode-se obter fotos dessas chamas em livros e sites.

Ao fim desta dinâmica, deve-se enfatizar para os alunos que estas diferenças só acontecem porque os átomos têm níveis de energia característicos e, conseqüentemente, transições muito bem definidas. Cada elemento químico possui valores de energia específicos, o que torna sua análise possível por meio da luz que é emitida, pois ela demonstra qual é a diferença de energia entre dois níveis. A quantização do átomo faz com que ele tenha transições limitadas, mas devemos lembrar que a luz emitida – que será característica do material – não é uma luz monocromática (de uma única cor), e sim policromática, pois cada





transição emite uma onda diferente. Com isso, o átomo emite luz com mais de um valor de comprimento de onda (ou frequência), tendo um espectro característico. Esta questão será mais bem discutida na atividade seguinte.

É importante conhecer a existência de subníveis de energia, embora esta noção não seja explorada com os alunos. Com a evolução da Física Quântica, percebe-se que os elétrons seguem muitas outras “regras”, além da imposição de estar em determinadas camadas eletrônicas. Por exemplo, dois elétrons não podem estar no mesmo “estado quântico” no mesmo sistema. Assim, em cada nível energético, eles não podem ter os mesmos valores de momento angular ou *spin*. Para poder ter um número de elétrons maior, cada nível energético foi dividido em subcamadas, como numa estrada que, para organizar os carros que vão para uma mesma região, subdivide-se em faixas.

Assim, é possível haver transições eletrônicas com emissão de luz dentro destes subníveis. No caso do sódio, elemento químico presente no sal, que sugerimos na demonstração, é devido a duas transições nestes subníveis em que há emissão da luz amarela, de comprimento de onda 589 nm.

A carta de Bunsen deve ser lida e analisada pelos alunos. Eles devem perceber a importância da descoberta das linhas espectrais no estudo dos materiais. Na carta, Bunsen afirma em vários momentos que, por meio da análise da luz emitida por um corpo, procedimento denominado espectroscopia, é possível identificar com precisão os elementos químicos presentes em um material. Bunsen mostra seu entusiasmo com esta descoberta, que possibilita o estudo e a compreensão da composição atômica de diferentes corpos, mesmo do Sol ou de estrelas distantes.

Os alunos devem identificar estas possibilidades que este tipo de análise permite, como a de estudar a constituição química do Sol e outras estrelas sem a necessidade de uma amostra do material, algo impossível de se obter. Isto é interessante por mostrar como é possível que os cientistas estudem uma estrela extremamente distante com base na análise da luz que ela emite.

O Caderno do Aluno inclui ainda textos sobre as séries de Balmer, a primeira das séries espectrais que foram observadas experimentalmente e, ainda, sobre as “leis” empíricas de Kirchhoff.

## SITUAÇÃO DE APRENDIZAGEM 5 UM EQUIPAMENTO ASTRONÔMICO<sup>3</sup>

Nesta Situação de Aprendizagem, inicialmente iremos mostrar aos alunos como construir um espectroscópio simples que nos permita analisar a luz e, em seguida, mostraremos dados de espectroscopia de algumas estrelas para os alunos analisarem.

Pretende-se, desta forma, que eles verifiquem uma interessante relação entre o mundo quântico, a espectroscopia e a astrofísica.

<sup>3</sup> Adaptado de BROCKINGTON *et al.* *Curso de dualidade onda-partícula*. NuPic-FEUSP. Disponível em: <<http://nupic.incubadora.fapesp.br/portal/projetos/fisica-moderna/dualidade-onda-particula-1>>.



**Tempo previsto:** 1 aula.

**Conteúdos e temas:** espectroscópio e espectros de fontes luminosas; linhas espectrais; difração da luz.

**Competências e habilidades:** utilizar linguagem escrita para relatar experimentos e questões relativos à identificação das características dos espectros; identificar fenômenos naturais, estabelecer relações e identificar regularidades em fenômenos que envolvem espectros luminosos; utilizar procedimentos e instrumentos de observação, representar resultados experimentais, elaborar hipóteses e interpretar resultados em experimentos que envolvem espectros eletromagnéticos.

**Estratégias:** realização de atividades experimentais em grupo; discussão de resultados experimentais; verificação de hipóteses; aplicação dos resultados em outras situações.

**Recursos:** roteiro; discussão em grupo; material experimental.

**Avaliação:** avaliar o envolvimento dos alunos na realização e na análise do experimento e de sua compreensão do procedimento envolvido na atividade; avaliar a capacidade do aluno de compreender a produção de espectros por difração e de identificar as linhas das substâncias no espectro com sua devida representação.

## Desenvolvimento da Situação de Aprendizagem

Frequentemente ouvimos notícias relatando alguma descoberta astronômica. Isto não é apenas noticiado 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.

### Roteiro 5 – Montando um espectroscópio

Talvez você já tenha ouvido falar de alguma grande descoberta astronômica. Uma nova galáxia que até então era desconhecida, a explosão de uma estrela etc. Mas você já parou para pensar como é possível ao homem estudar um objeto celeste que está a uma distância tão enorme de nós? Essencialmente, os astrônomos estudam o céu por meio da luz e

demais radiações que os corpos emitem, que é a informação que nos chega à Terra. Analisando-se cuidadosamente as características da luz emitida, é possível descobrir muitas coisas que ocorrem em todo o Universo. Construiremos um aparelho que nos 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



Figura 6 – Materiais para a realização da atividade.

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

## Mãos à obra

### Montagem do espectroscópio

**Passo 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 (Figura 7).



Figura 7 – Tubo de papelão.

**Passo 2** – Faça duas tampas com abas para o cilindro utilizando o papel preto (Figura 8). Em uma delas, use um estilete

para recortar uma fenda fina (mais ou menos 2 cm x 1 mm). Na outra tampa, faça uma abertura no centro (mais ou menos 1 cm x 1 cm).

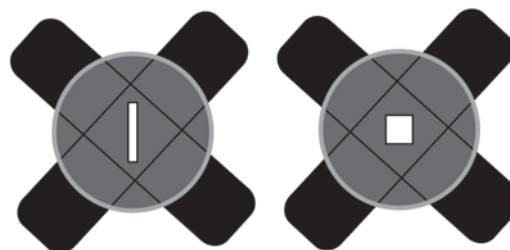


Figura 8 – Tampas

**Passo 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 (Figura 9).



Figura 9 – CD com a película retirada.

**Passo 4** – Depois de retirar a película, recorte um pedaço do CD (mais ou menos 2 cm x 2 cm). Utilize preferencialmente as bordas, pois as linhas de gravação (que não enxergamos) são mais paralelas; conseqüentemente, a imagem será melhor. É importante fazer uma marcação no pedaço recortado do CD para não esquecer qual a orientação das linhas (em qual posição elas são paralelas).

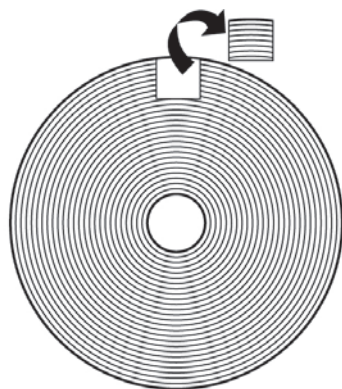


Figura 10 – Recorte do pedaço do CD.

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

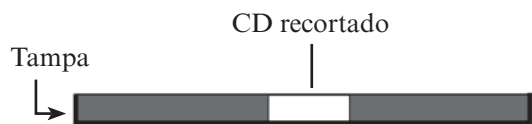


Figura 11 – Fixação do pedaço recortado do CD na tampa.

O ideal é alinhar 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.

**Passo 6** – 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 (Figura 12).

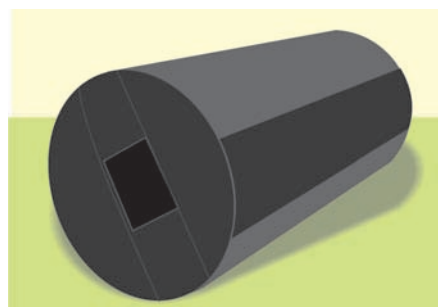


Figura 12 – Espectroscópio.

### Observações com o Espectroscópio

**Passo 1** – Com 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 que tem 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”.

**Passo 2** – 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, isto é, 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.

Ilustrações: Jairo Souza Design Gráfico



## Encaminhando a ação

Esta é uma atividade descontraída, que em geral os alunos gostam de fazer e que pode ser realizada em grupo (atividade semelhante é proposta na 8ª série, mas com menos profundidade e formalização). Os alunos devem ser bem orientados para que a observação seja cuidadosa. É melhor escolher lugares escuros para que eles vejam realmente o espectro da lâmpada ou objeto observado, e não da luz ambiente. Também é conveniente apresentá-lhes detalhadamente as noções de espectro contínuo e discreto, pois estes conceitos não são triviais para os alunos. Uma representação simples, com giz e lousa, em geral é suficiente para esclarecer estas noções. Recomende que os alunos façam um grande número de observações, pois assim terão mais elementos para generalizar o aprendizado. Eles podem, por exemplo, sair da sala de aula (caso não haja algum impedimento normativo da escola) para procurar outros tipos de lâmpada. É interessante comparar a lâmpada incandescente (de filamento) com a fluorescente: a primeira emite um espectro contínuo, porque sua radiação

é emitida pela vibração interna de seu corpo, que está em alta temperatura (radiação de corpo negro), enquanto a segunda emite linhas discretas, do espectro luminoso dos cristais de fósforo na superfície interna da lâmpada.

Use uma lâmpada de vapor de sódio (amarelada) ou mercúrio (branca levemente azulada), que apresentam linhas espectrais mais marcantes. Estas lâmpadas podem ser compradas em lojas especializadas ou vistas em postes de iluminação urbana e são interessantes por emitirem um espectro discreto, bem característico destes elementos químicos.

Uma boa sugestão para complementar esta atividade é incentivar os alunos a fazer outras observações em casa e na cidade. Oriente-os para que façam observações semelhantes às feitas em sala de aula, mas utilizando outras fontes de luz, como telas de televisores e monitores (nos quais vemos somente as cores primárias: azul, verde e vermelho), lâmpadas de iluminação pública (que normalmente são de mercúrio ou sódio), iluminação de lanternas de carros etc.

## SITUAÇÃO DE APRENDIZAGEM 6 ASTRÔNOMO AMADOR<sup>4</sup>

Na Situação de Aprendizagem anterior foi montado um espectroscópio que nos permite analisar a luz. Agora os alunos aprenderão como efetivamente obter informações da luz observada. O objetivo é relacionar as linhas espectrais emitidas por uma estrela à sua com-

posição. A análise destas linhas permite identificar os elementos químicos de uma estrela. Essa Situação de Aprendizagem finaliza uma sequência de três atividades que relacionam os átomos às suas luzes características de emissão e absorção.

<sup>4</sup> Adaptado de BROCKINGTON *et al.* *Curso de dualidade onda-partícula*. NuPic-FEUSP. Disponível em: <<http://nupic.incubadora.fapesp.br/portal/projetos/fisica-moderna/dualidade-onda-particula-1>>.



**Tempo previsto:** 1 aula.

**Conteúdos e temas:** espectros de radiação e sua utilização pelas tecnologias na caracterização de substâncias; fundamentos de Astrofísica; espectros de emissão e de absorção.

**Competências e habilidades:** reconhecer e utilizar adequadamente símbolos, códigos e diagramas da linguagem científica em situações que envolvem espectros luminosos; utilizar linguagem escrita para relatar observações e questões que evidenciam a relação entre substância e linhas espectrais; identificar, estabelecer relações e regularidades em espectros luminosos; elaborar hipóteses e interpretar resultados em situações que envolvam espectros luminosos de fontes distantes.

**Estratégias:** realização de atividades experimentais simuladas em grupo; leitura do roteiro dos experimentos; elaboração de hipóteses de trabalho; análise dos resultados e discussão com a classe.

**Recursos:** roteiro da Situação de Aprendizagem para trabalho em grupo; ilustrações de espectros de estrelas e de elementos químicos.

**Avaliação:** avaliar a capacidade do aluno de análise por meio de imagens; avaliar a compreensão do aluno quanto à função da análise espectral.

## Desenvolvimento da Situação de Aprendizagem

Uma prática comum na astronomia consiste na análise de espectros de emissão de estrelas para saber de que se constituem. Nesta Situação de Aprendizagem, simularemos este fazer científico por meio da comparação de possíveis espectros de emissão de estrelas com os espectros dos elementos químicos. A análise dos alunos deverá re-

sultar na determinação de quais elementos químicos existem na estrela. Vale ressaltar que o espectro utilizado não é real, tendo sido construído artificialmente. No entanto, consegue simular eficientemente a técnica da espectroscopia e traz resultados adequados para os nossos propósitos nesta Situação de Aprendizagem.

### Roteiro 6 – Viajando até as estrelas

Por um breve momento de sua vida, você irá trabalhar como um astrônomo, estudando estrelas. Nesta atividade iremos descobrir os elementos químicos que formam uma estrela. Como já estudamos, sabemos que os átomos emitem e absorvem luz de cores e comprimentos de onda bem determinados. Assim, por meio dos espectros de emissão

dos elementos químicos, que nos indicam os comprimentos de onda emitidos por ele, buscaremos descobrir os átomos que estão presentes em uma estrela.

### Materiais

Espectros dos elementos químicos impressos em papel sulfite; espectros das estrelas impressos em papel transparente.



**Mãos à obra**

Cada grupo receberá folhas de sulfite com os espectros de diferentes elementos químicos. Receberá também o espectro de uma estrela, impresso em uma transparência. Eles deverão comparar o espectro

da estrela com os espectros dos elementos químicos. Se o espectro apresentar todas as linhas correspondentes ao elemento, isto significa que ele é um dos constituintes da estrela. Compare com cuidado, pois a estrela é composta de, pelo menos, três elementos.

**Encaminhando a ação**

A dinâmica desta atividade é relativamente simples. Os alunos podem se reunir em pequenos grupos e analisar a imagem da estrela sobrepondo seu espectro sobre o dos elementos. Para iniciar o trabalho, você pode retomar as atividades anteriores e os conceitos principais, relacionados à emissão

de luz com comprimentos de onda característicos (devido à existência de órbitas específicas em cada átomo e à possibilidade da análise da luz por espectroscopia). A seguir, apresentamos espectros de cinco elementos químicos que os alunos utilizarão para analisar a estrela.

**Espectros de elementos químicos****Espectro alumínio (Al)****Espectro cálcio (Ca)****Espectro carbono (C)****Espectro hélio (He)****Espectro hidrogênio (H)****Espectro de estrela**

Jairo Souza Design Gráfico





Comparando estes espectros com o de uma estrela, é possível verificar quais linhas coincidem e determinar que elementos estão presentes na estrela.

Quando comparamos este espectro com os dos elementos, verificamos que na estrela há hidrogênio, carbono e alumínio. Os alunos devem ter cuidado ao comparar os espectros, pois somente se pode concluir que há a presença de determinado elemento químico quando todas as linhas coincidem. É importante ressaltar que cada linha colorida que aparece no espectro dos elementos refere-se a uma transição eletrônica (assunto que eles estudaram pouco antes).

Para finalizar a atividade, é interessante retomar as últimas aulas, quando foi visto que os átomos têm níveis de energia característicos (quantizados) e que, por isso, emitem e absor-

vem luz com frequências determinadas, possibilitando o estudo dos materiais por meio da análise da luz emitida ou absorvida por eles (chamadas respectivamente de espectro de emissão e de absorção). Deve-se destacar que o mesmo procedimento pode ser utilizado tanto para os sais, presentes em nosso cotidiano, quanto para as estrelas e outros objetos celestes que estão a milhares, milhões ou bilhões de anos-luz de nós.

Utilizando-se folhas de acetato (transparência para retroprojeter), pode-se providenciar cópias do espectro que pode ser sobreposto. Esta técnica facilita a visualização e a análise dos espectros.

O caderno do aluno inclui ainda um texto sobre os espectros de emissão e absorção e os níveis de energia.

## SITUAÇÃO DE APRENDIZAGEM 7 O PODEROSO *LASER*

Entre as inovações tecnológicas mais importantes da segunda metade do século XX estão os dispositivos de emissão de luz *laser*. 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 se tem clareza sobre como é produzido ou por que sua luz é diferente da emitida por uma lâmpada comum. Para isto, nesta Situação de Aprendizagem iremos explorá-lo a fim de descobrir o que há de especial neste poderoso dispositivo.



**Tempo previsto:** 1 aula.

**Conteúdos e temas:** uso de luz *laser* em diversificadas situações; processos de emissão estimulada de radiação (*laser*).

**Competências e habilidades:** reconhecer e utilizar adequadamente termos da linguagem científica em situações que envolvem *laser*; relatar, por meio de linguagem escrita, experimentos e questões relativos à identificação da relação entre emissão estimulada e emissão espontânea; identificar fenômenos de emissão estimulada, estabelecer relações e identificar regularidades.

**Estratégias:** realização de atividades experimentais em grupo; leitura do guia de execução dos experimentos; leitura de texto; análise dos resultados e discussão com a classe.

**Recursos:** roteiro de atividade para discussão em grupo; trecho de texto para leitura; ponteira *laser* e lanterna.

**Avaliação:** avaliar a compreensão do aluno sobre os processos de emissão estimulada; avaliar a compreensão do aluno em relação às aplicações do *laser* por meio da leitura do artigo proposto e respostas às questões solicitadas.

## Desenvolvimento da Situação de Aprendizagem

Oriente o trabalho com o roteiro 7. Inicialmente o roteiro encaminha um experimento comparativo entre uma fonte de luz incandescente e uma fonte de *laser* (ponteira *laser*). A sistematização é obtida por meio das questões presentes no roteiro. Após esta primeira parte,

sugerimos que os grupos pesquisem uma, entre as várias aplicações do *laser* nos diversos ramos da atividade humana. O resultado dessa pesquisa pode ser apresentado para a turma pelos grupos e, compor uma tabela como a apresentada no Caderno do Aluno.

### Roteiro 7 – 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 a sigla em inglês dos seguintes termos: 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.

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

### Materiais

Ponteira *laser* e lanterna.



### Mãos à obra

Vamos iniciar o trabalho em grupos e observar o comportamento da luz emitida por um *laser* e da luz emitida por uma lanterna. Para tanto, siga o procedimento a seguir:

- a) Incida os raios da lanterna e da ponta *laser* sobre uma folha de papel branco situada a 5 cm de distância. Estime o tamanho da mancha luminosa formada sobre a folha. Repita o procedimento, mas agora coloque a folha a 10 cm de distância. Estime novamente o tamanho da mancha luminosa.
- b) Pegue uma caneta esferográfica tipo “cristal”, retire a carga do interior e projete a luz da ponta *laser* e da lanterna comum de modo a atravessá-la.

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, procure responder às seguintes questões:

1. Qual destes 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)?
2. Qual deles tem uma luz colimada, isto é, que se propaga em apenas uma direção, e qual não tem?
3. Qual feixe você considera que é, ou pode ser, mais intenso ou potente? Explique.

### O magnífico *laser*

#### Aplicações modernas de uma solução em busca de problemas

É bem provável que, nos meses que separam a finalização deste artigo pelo autor até este exato momento – em que ele é lido por você, leitor –, dezenas ou mesmo centenas de novas aplicações para o *laser* já tenham sido idealizadas e desenvolvidas.

Daí se dizer que esse magnífico instrumento é “uma solução em busca de problemas”.

Da própria física à medicina, da indústria ao comércio, da computação ao entretenimento, não há hoje atividade humana em que essa invenção não tenha uma apli-

cação. Currículo invejável para algo com pouco menos de meio século de vida.

Embora suas aplicações sejam importantes, o estudo do *laser* em si está longe de ser concluído.

Entender esse fenômeno é papel de uma das mais ativas áreas da investigação científica deste início de século.

[...]

#### Aplicações científicas

Hoje, é praticamente impossível um campo das ciências experimentais que não tenha algum uso para o *laser*. Na física, a pesquisa sobre o *laser* é uma área por si só. Normalmente denominada óptica quântica,



ela se dedica exclusivamente ao estudo do desenvolvimento de teorias e modelos que expliquem as inúmeras propriedades dessa radiação e de sua interação com a matéria.

Na espectroscopia (estudo da matéria através de sua interação com a luz), o *laser* tornou possível entender detalhes delicados da natureza atômica e molecular. Métodos analíticos de precisão sem precedentes são, atualmente, rotina nos laboratórios de química e física no mundo.

O *laser* nos permite ainda controlar o movimento de átomos, produzindo a chamada física dos átomos frios, na qual tem sido possível realizar experimentos inéditos que revelam a natureza quântica da matéria. As técnicas de manipulação de átomos com luz fizeram surgir a chamada computação quântica. (ver “A RMN e suas aplicações atuais”, em CH no 221).

Na biologia, o *laser* ganhou terreno com as chamadas pinças ópticas (feixes de luz que agem como pinças mecânicas e que possibilitam movimentar ou segurar organelas celulares, por exemplo) e com técnicas modernas de microscopia.

Um exemplo de avanço recente é o chamado relógio atômico, um padrão de tempo e frequência usado em todo o mundo, definido a partir da determinação precisa de certas frequências da luz emitida quando um átomo de césio excitado volta ao seu estado “natural”.

A técnica de resfriar átomos a baixíssimas temperaturas com a ajuda da luz permitiu a realização experimental de uma das mais importantes previsões físicas do século passado: o condensado de Bose-Einstein, “estado” da matéria em que um conjunto de átomos se comporta coletivamente, como se fosse um “átomo gigante”.

Na fronteira entre física e arte, o *laser* permitiu o surgimento dos hologramas (fotografias em três dimensões), de enorme beleza e aplicabilidade técnica – nesse último caso, por exemplo, na forma de selos que comprovam a autenticidade do produto.

### O surgimento da fotônica

Uma das grandes aplicações atuais do *laser* está em seu uso nas telecomunicações. Que a luz é capaz de transmitir muito mais informações que a corrente elétrica, isto já se sabia havia muito. O principal problema era que a tecnologia não estava avançada o suficiente para permitir a implementação dessa ideia.

Com o advento do *laser*, esse problema foi resolvido em parte, e a transferência de informação via luz começou a despertar interesse, embora de forma bem modesta. Com as fibras ópticas, a comunicação óptica explodiu e conquistou a sociedade. A capacidade de transmitir informação via luz acoplada a uma fibra óptica é tremenda. Por exemplo, toda a cidade de São Paulo poderia falar com a do Rio de Janeiro, por telefone, através de meia dúzia de fibras ópticas. A constante demanda por mais informação – e em uma velocidade cada vez maior – transformou a comunicação óptica em um dos campos mais prósperos da tecnologia atual.

O princípio da comunicação óptica é simples: a luz, em vez da corrente elétrica, carrega a informação. A propagação da luz através de uma fibra óptica é baseada na chamada reflexão interna total da luz. Dentro de uma fibra óptica, a luz reflete na superfície interna quando sua incidência supera um certo ângulo de incidência em relação a ela. Assim, uma vez introduzida na fibra, a luz realiza um zigue-zague fantástico, causado pelas reflexões internas,



até emergir do outro lado, praticamente sem perder energia.

[...]

### Corte, marcação e solda

Atualmente, as aplicações industriais do *laser* são enormemente diversificadas, mas certamente suas utilizações como instrumento de corte, marcação e solda são as mais amplamente difundidas. Como instrumento de furo e corte, a vantagem do *laser* reside no fato de ele evaporar o material no local do furo ou da linha de corte, removendo automaticamente o subproduto, sem deixar vestígios. Isso o torna mais preciso que outros meios mecânicos.

Se quisermos realizar um furo em uma placa, o *laser* escolhido deve ser altamente absorvido pelo material dela – caso contrário, não haverá uma transferência eficiente de energia do *laser* para ela. Um furo feito a *laser* normalmente apresenta uma borda muito mais precisa e limpa que o realizado por brocas convencionais. Nessas aplicações de corte e furo, em que ocorre a evaporação do material, o melhor regime de operação é atingido ao se utilizar um regime pulsado. Nesse regime, entre pulsos, o material evaporado tem tempo de escapar, não criando obstáculo para o próprio feixe. Também, no regime pulsado, mais energia pode ser depositada no ponto de trabalho.

A operação de corte com *laser* pode ser feita ou movimentando-se o feixe *laser* com um braço articulado, ou movendo-se a peça a ser cortada. O movimento normalmente determina o formato do corte. Ao trabalharmos com pulsos curtos de *laser*, o calor normalmente não tem tempo de se difundir pelas laterais, concentrando-se na evaporação. Nesse caso, a precisão do corte é maior, e a região termicamente afetada menor.

Como elemento de marcação e soldagem, o princípio é basicamente o mesmo, com a diferença de que agora o *laser* deve depositar no material energia que seja apenas suficiente para remover uma pequena porção deste, deixando uma marca permanente ou, no caso de soldagem, promovendo a fusão das áreas adjacentes sem sua intensa vaporização. São exemplos de marcação a *laser* as usadas nos tubos de PVC, amplamente empregados nas residências, e aquelas sobre componentes eletrônicos.

### No comércio

Atualmente, em muitos estabelecimentos comerciais, é comum a leitura de código de barras utilizando sistemas ópticos que empregam um feixe de *laser* varrendo os produtos.

O leitor de código de barras emprega uma sucessão de reflexões que têm duração diferente, em função da variação de espessura das barras do código estampado no produto. Isso permite associar, com essa sequência, um código numérico para o produto.

Ao ler o código, o computador automaticamente associa o produto ao preço. E faz imediatamente a correlação da saída do produto com a variação do estoque e, possivelmente, o pedido de nova quantidade da mercadoria.

O leitor de código de barras por vias ópticas é um dos maiores avanços para a automação do comércio.

### Cirurgia e terapia com luz

O *laser* é um excelente instrumento de corte e desbaste e, por isso, já se tornou um dos instrumentos cirúrgicos mais importantes. As famosas cirurgias oftalmológicas só conseguiram alcançar o atual grau de sucesso graças ao *laser*.



Na oncologia (área médica que lida com o câncer), o *laser* tem sido rotineiramente usado como instrumento de tratamento e diagnóstico para os vários tipos dessa doença. A eliminação de cálculos renais através de ondas de choque causadas por pulsos intensos de luz ou a desobstrução de artérias são procedimentos a *laser* empregados em muitos hospitais. Além disso, a precisão do *laser* tem permitido invadir o interior da célula e realizar microalterações que a fazem tomar um novo curso em seu ciclo vital.

Nesta última década, pesquisadores norte-americanos e europeus começaram a investigar a possibilidade de usar a seletividade da luz *laser* – ou seja, a interação dessa luz com uma determinada molécula em um universo de várias delas – para a terapia de células cancerosas. Dessas pesquisas, nasceu a terapia fotodinâmica, técnica que usa a propriedade de seletividade da luz de *laser* para o combate ao câncer e emprega uma substância fotossensível (aquela que é alterada quando iluminada) administrada de forma endovenosa no paciente.

A droga percorre todo o corpo, sendo absorvida por todas as células. As células sadias eliminam essa droga em um período de tempo que varia entre 24 a 36 horas, enquanto as células tumorais, por apresentarem um metabolismo diferenciado, retêm a droga por mais tempo.

Assim, esperando mais de 24 horas após a administração da droga, a substância fotossensível estará mais concentrada nas células cancerosas.

Essa substância fotossensível, quando iluminada, por uma luz *laser* de cor específica, é excitada e, uma vez nesse estado energético, provoca uma reação química com o oxigênio molecular, produzindo uma espécie eletrônica do oxigênio (o es-

tado singleto) altamente reativa para os constituintes celulares e, portanto, bastante tóxica para a célula. Como consequência, o tecido tumoral é levado à morte, eliminando a lesão.

Essa técnica, que pode ser realizada ambulatorialmente, foi aprovada pela rigorosa FDA (agência norte-americana de controle de alimentos e medicamentos). Seu grande limitante está mais relacionado com as dificuldades de se levar a luz *laser* até o local do que com o tipo de lesão. No Brasil, ela passou a ser usada a partir de 1998.

### Biópsia óptica

Quando um tecido é iluminado com um determinado comprimento de onda (cor), parte da energia luminosa é absorvida, excitando biomoléculas.

Esse excesso de energia pode ser perdido na forma de luz, sendo um desses processos a chamada fluorescência.

A fluorescência pode ser usada para a diferenciação de tecidos biológicos, pois, dependendo da composição e forma do tecido, a interação luz/tecido será distinta, o que propiciará a reemissão da luz proveniente do tecido-alvo. Dessa forma, haverá padrões de fluorescência para diferentes tipos de lesões.

Tendo como base o fenômeno da fluorescência, a biópsia óptica, um procedimento não invasivo, pode se tornar um importante método auxiliar no diagnóstico de lesões extensas e múltiplas. Uma das principais indicações é a avaliação de pacientes com alto risco de incidência de carcinoma oral, bem como o acompanhamento de possível reincidência da doença.



Outra aplicação é o auxílio na determinação do melhor sítio de remoção de material para ser submetido à biópsia convencional, pois a região que apresenta uma maior variação espectral em comparação com o tecido normal pode ser a escolhida.

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

## Encaminhando a ação

A parte inicial desta atividade é bastante simples e busca apenas discutir o funcionamento de um *laser*. Embora uma ponteira *laser* seja um objeto presente no cotidiano, muitos alunos podem nunca ter tido contato com ela. Assim, é importante que observem atentamente a luz emitida por um dispositivo *laser* antes de discutir. Caso a quantidade de ponteiras *laser* e lanternas não seja suficiente para que todos os grupos de alunos investiguem o comportamento da luz em cada caso, pode-se fazer a atividade em conjunto com a classe, utilizando apenas uma ponteira e uma lanterna, que circularão entre os diferentes grupos de alunos.

Na comparação das duas fontes, deve ficar claro que o *laser* sempre é uma luz monocromática, enquanto a lâmpada de luz branca é formada de várias cores, como pôde ser visto na atividade em que se montou o espectroscópio; pode ter potências altíssimas, de trilhões de watts; é colimado e coerente. Estes dois últimos conceitos são complexos, mas com uma representação simples de um conjunto de ondas, todas em fase, com o mesmo comprimento de onda e se propagando na mesma direção, os alunos podem entendê-los, pois, se a luz de uma lâmpada se propaga em várias direções e é policromática, este conjunto de ondas não pode ter o mesmo comprimento de onda e estar em fase.

Na sequência da atividade, explore o funcionamento de um *laser*, que permite a produção da luz com as características mencionadas. Isto pode ser feito por meio do

questionamento da relação entre a emissão de luz por um *laser* e a emissão de luz pelos átomos, estudada nas Situações de Aprendizagem anteriores. Retome a noção de que um átomo emite luz quando o elétron passa de um nível mais energético para um nível menos energético.

Em seguida, os alunos devem realizar uma pesquisa, que pode ser feita na escola utilizando-se a biblioteca ou a sala de computadores por meio da internet, ou pode ser encomendada para que eles a realizem em casa. É possível escolher temas com as diferentes aplicações do *laser* e compartilhar as informações com a turma. Como muitas vezes é difícil organizar a discussão dos alunos, pode-se utilizar mais de uma aula para a exposição. Tenha cuidado ao dividir os temas, para que todos sejam contemplados. Você pode tomar como referência para apoiar os alunos na discussão desse tema o texto *O magnífico laser*, que não consta do Caderno do Aluno.

Nos exemplos estudados, o elétron decaía para um nível menos energético espontaneamente, isto é, sem nenhuma causa externa. No caso da luz *laser*, há uma “emissão estimulada”, ou seja, um fóton de luz preexistente estimula o decaimento do elétron e a consequente emissão de outro fóton. Este é um processo “forçado”. No *laser* ocorre um conjunto de emissões estimuladas em que o fóton que estimula e o fóton que é emitido pelo átomo estimulado são idênticos, ou seja, é como se nesse processo o resultado fosse a geração de “fótons gêmeos”.





A base do funcionamento de todo *laser* é um material denominado meio ativo. Para iniciar o processo de emissão de luz, este material terá seus elétrons excitados para níveis mais energéticos por uma fonte de energia. Nestes materiais, que formam bons meios ativos, existe uma camada mais energética na qual os elétrons permanecem durante um tempo relativamente grande, da ordem de  $10^{-4}$  s, que é um tempo alto quando falamos de transições atômicas. Com isso, os elétrons são excitados para este nível, no qual podem ficar por um tempo, antes de voltar para o estado fundamental. Mesmo os elétrons que ganharem muita energia e forem para um nível maior do que o relativamente estável decairão rapidamente e se unirão aos elétrons que estão neste nível excitado, que lhes permite ali permanecer por certo período. É como se este nível fosse uma espécie de pedágio durante o decaimento para o nível fundamental, no qual os elétrons têm de parar por um tempo, antes de chegar ao “destino”.

Os materiais que têm a característica de servir de meio ativo são, entre outros, os gases hélio-neônio, carbônico e nitrogênio e os sólidos rubi e neodímio. Quando os átomos do meio ativo estão todos excitados, dizemos que houve uma inversão de população. O passo seguinte ocorre quando um primeiro átomo decai para o estado fundamental. O fóton

emitido por ele irá fazer uma espécie de efeito avalanche: estimula a emissão de outros fótons dos átomos excitados, que irão estimular a emissão de mais fótons, que estimulam outros e assim por diante.

Este processo ocorre dentro de uma cavidade óptica, uma espécie de tubo espelhado no qual os fótons ficam presos e apenas alguns conseguem “fugir”. Os fótons que ficam presos entre pares de espelhos paralelos dentro do tubo são importantes, pois eles ajudarão a estimular e criar outros fótons. Aos poucos, parte da luz sai da cavidade e forma o raio *laser* que vemos ser emitido.

É importante lembrar que, no processo de emissões estimuladas, sempre há a produção de fótons idênticos, justificando a coerência e a monocromaticidade da luz emitida. Como isso é feito dentro de uma cavidade óptica, os fótons saem todos na mesma direção, pois aqueles que eventualmente forem emitidos com direções aleatórias não ficam “presos” dentro do tubo. Explore estas ideias de maneira expositiva. Caso seja viável, é possível utilizar uma animação interessante que demonstra o funcionamento interno do *laser*, disponível no site: <[http://www.pet.dfi.uem.br/anim\\_show.php?id=77](http://www.pet.dfi.uem.br/anim_show.php?id=77)>. O Caderno do Aluno propõe uma atividade de leitura e análise do texto *O funcionamento do laser*.

## GRADE DE AVALIAÇÃO

Situação de Aprendizagem	Expectativas ou Indicadores de Aprendizagem
1	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Identificar, comparar e classificar, segundo características e propriedades físicas, diferentes tipos de material presentes no cotidiano.</li> <li>– Reconhecer o átomo como elemento básico constituinte de toda matéria.</li> <li>– Relacionar características e propriedades físicas da matéria (como condutividade elétrica, estado físico, absorção e emissão de luz) à sua estrutura atômica.</li> </ul>



Situação de Aprendizagem	Expectativas ou Indicadores de Aprendizagem
2	<ul style="list-style-type: none"><li>– Compreender a ideia de modelo, na Ciência, para representar e explicar fenômenos e a realidade não observável diretamente.</li><li>– Descrever e interpretar o experimento de Rutherford que deu origem à sua proposta de modelo atômico.</li></ul>
3	<ul style="list-style-type: none"><li>– Analisar e calcular as transições entre níveis de energia possíveis a um elétron no átomo de hidrogênio.</li><li>– Explicar a absorção e a emissão de radiação pela matéria, utilizando o modelo de quantização da energia e relacionando energia da luz emitida ou absorvida à sua frequência.</li><li>– Sistematizar e confrontar os modelos atômicos de Rutherford e de Bohr, analisando seus limites e desdobramentos.</li></ul>
4	<ul style="list-style-type: none"><li>– Analisar a emissão de luz por diferentes materiais, relacionando-a com suas propriedades atômicas.</li><li>– Reconhecer a importância da espectroscopia no estudo e na composição dos materiais.</li></ul>
5	<ul style="list-style-type: none"><li>– Descrever o funcionamento de um espectroscópio simples e interpretar observações de linhas espectrais oriundas de diferentes fontes de luz.</li><li>– Representar e comparar espectros de luz, diferenciando os discretos dos contínuos.</li></ul>
6	<ul style="list-style-type: none"><li>– Analisar e relacionar a constituição química de uma estrela, a partir da comparação de imagens de suas linhas espectrais com as de elementos químicos.</li></ul>
7	<ul style="list-style-type: none"><li>– Compreender e comparar feixe de luz monocromática e policromática.</li><li>– Compreender e comparar emissão de luz espontânea e estimulada.</li><li>– Reconhecer e avaliar o uso da luz <i>laser</i> em tecnologias contemporâneas.</li></ul>

## PROPOSTAS DE QUESTÕES PARA APLICAÇÃO EM AVALIAÇÃO

1. Qual estrutura constitui a matéria e nos permite explicar muitos fenômenos como a condução elétrica, a transparência, o estado físico e outros?

*A matéria é composta de átomos. Estes fenômenos podem ser explicados por meio da dinâmica eletrônica que ocorre quando, por exemplo, um material é submetido a um*

*campo elétrico externo, à incidência da luz ou à mudança de temperatura.*

2. Discuta o que significa “ver” quando falamos do mundo subatômico.

*Como as dimensões do mundo subatômico são muito pequenas e invisíveis ao olho humano, mesmo com a ajuda dos mais poderosos*





*equipamentos, somente temos evidência da sua constituição e estrutura quando obtemos informações sobre as mudanças ocorridas quando uma entidade conhecida interage com esta estrutura invisível. Esta entidade conhecida pode ser a luz, outra radiação eletromagnética ou um feixe de partículas, como no experimento de Rutherford usando partículas alfa.*

3. Explique o que ocorre quando fótons incidem sobre um átomo.

*Se a energia da radiação tiver um valor equivalente à diferença entre dois níveis do átomo, ela é absorvida e o elétron deste átomo ganha energia. Caso o valor não corresponda a nenhuma transição do elétron, não irá ocorrer nada e a radiação passará pelo átomo sem ser absorvida.*

4. Qual é o valor da energia emitida por um átomo de hélio ionizado quando seu elétron decai da terceira para a segunda camada?

- a) 13,60 eV.  
 b) 10,20 eV.  
 c) 8,53 eV.  
 (d) 7,56 eV.  
 e) 1,89 eV.

*Quando utilizamos a relação  $E = -13,6 \cdot Z^2/n^2$  para o valor de  $Z=2$ , referente ao hélio, e  $n$  inicial e final igual a 3 e 2, respectivamente, obtemos o valor aproximado de 7,56 eV; portanto, resposta d.*

5. O comprimento de onda do azul está na faixa dos valores entre 450 e 500 nm. Sabe-se que um átomo de hidrogênio emite uma onda azul quando decai para o segundo nível atômico. A partir de qual nível o elétron decai?

- a) Sexto.  
 b) Quinto.  
 (c) Quarto.  
 d) Terceiro.  
 e) Primeiro.

*A transição de um elétron do quarto nível de energia para o segundo resulta na emissão de um fóton de 2,55 eV. O comprimento de onda deste fóton, calculado com a relação  $E = \frac{h \cdot c}{\lambda}$ , dá aproximadamente 487 nm, que está dentro da faixa do azul.*

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

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

$$E = h \cdot f \Rightarrow E = h \cdot \frac{c}{\lambda}$$

6. O que significa o decaimento de um elétron ser estimulado?

*Significa que um elétron não decai espontaneamente, mas devido à presença de um fóton que causa seu decaimento.*



## TEMA 2 – FENÔMENOS NUCLEARES

É comum, em nossos dias, ouvirmos falar de energia nuclear, frequentemente em associação com os efeitos das radiações, das usinas e das bombas nucleares. Nosso objetivo agora será entender como ocorrem alguns destes fenômenos e discutir como se vinculam efetivamente ao nosso mundo. Buscaremos mostrar que muitos são fundamentais para nossa sobrevivência e como podem ser empregados para promover nosso bem-estar por meio de sua utilização na medicina.

As atividades anteriores abordavam fenômenos atômicos sem discutir especificamente a constituição do núcleo. Daqui em diante, ele passará de ator coadjuvante para ator principal em nossas discussões. A primeira atividade apresentará o modelo de núcleo, formado por prótons e nêutrons, e discutirá o problema de sua estabilidade. Em seguida, exploraremos os tipos de radiação nuclear emitidos, as chamadas radiações  $\alpha$  (alfa),  $\beta$  (beta) e  $\gamma$  (gama), e analisaremos

a família de decaimento de um núcleo radioativo. Por fim, discutiremos a utilização destas radiações em exames de diagnósticos médicos.

No estudo destes temas, será privilegiado o desenvolvimento das seguintes competências e habilidades:

1. Reconhecer e utilizar adequadamente símbolos, códigos e diagramas da linguagem científica em situações que envolvem núcleos atômicos.
2. Compreender as transformações nucleares que dão origem à radioatividade para reconhecer sua presença na natureza e em sistemas tecnológicos.
3. Conhecer a natureza das interações e a dimensão da energia envolvida nas transformações nucleares a fim de explicar seu uso na medicina.

### SITUAÇÃO DE APRENDIZAGEM 8 FORMAÇÃO NUCLEAR

O objetivo desta Situação de Aprendizagem será discutir a formação do núcleo e a existência da força forte que mantém os núcleons (este é o nome dado para o conjunto

de prótons e nêutrons) ligados. Por meio de uma atividade prática, pretende-se problematizar a possibilidade de estabilidade dos núcleos atômicos.



**Tempo previsto:** 2 aulas.

**Conteúdos e temas:** modelo de núcleo atômico; radioatividade, forças nucleares; interação forte.

**Competências e habilidades:** reconhecer e utilizar adequadamente símbolos, códigos e diagramas da linguagem científica em situações que envolvem núcleos atômicos; utilizar linguagem escrita para relatar observações e questões que evidenciam a relação de prótons e nêutrons no interior dos núcleos; identificar, estabelecer relações e regularidades em fenômenos nucleares; elaborar hipóteses e interpretar resultados em situações que envolvam a estabilidade dos núcleos, as forças nucleares e as emissões de radiação ionizantes.

**Estratégias:** realização de atividades em grupo; leitura do guia de execução da atividade; elaboração de hipóteses de trabalho; análise dos resultados e discussão com a classe.

**Recursos:** roteiro de atividade para trabalho em grupo; bolinhas de isopor para representar prótons e nêutrons e espirais para encadernação.

**Avaliação:** avaliar a compreensão do aluno sobre a estrutura dos núcleos atômicos, verificando se ele foi capaz de responder às questões com esta atividade.

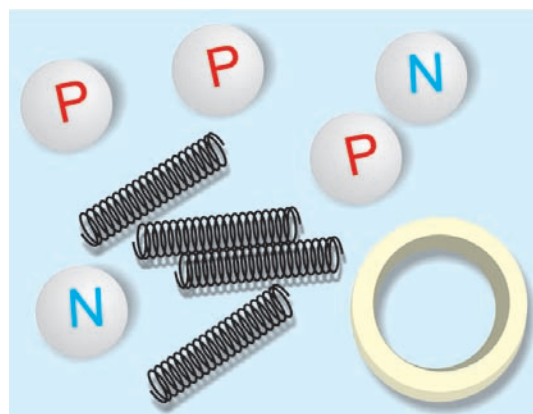
## Desenvolvimento da Situação de Aprendizagem

Até este momento pouco se discutiu sobre a constituição do núcleo atômico. Os alunos já sabem que ele é constituído de prótons e nêutrons. No entanto, há uma questão

importante a ser explorada. *Se um núcleo é formado de vários prótons que se repelem devido às forças elétricas, por que ele permanece coeso?*

### Roteiro 8 – Construindo um núcleo

Você já deve ter lido ou ouvido a palavra “nuclear” designando ou associando expressões como energia, usina, bomba e radiação, entre outras. Não é incomum associarmos este termo a coisas “ruins” ou nocivas. Para ir um pouco além e compreender o que são fenômenos nucleares, vamos estudar como um núcleo atômico é constituído e como ele se comporta em diferentes condições. Para isto, começaremos com um experimento simples.



Jairo Souza Design Gráfico

Figura 13 – Materiais.

**Materiais :** 15 bolinhas de isopor com diâmetro de aproximadamente 5 cm; molas espirais utilizadas para encadernação, com 6 cm de comprimento; fita adesiva.



### Mãos à obra

Você já deve saber que o núcleo é formado por prótons (cargas positivas) e nêutrons (sem carga elétrica). O desafio que propomos é explicar como ele se mantém “ligado”, visto que cargas de mesmo sinal se repelem. Para esclarecer esta questão, vamos realizar uma atividade na qual você vai construir um núcleo atômico. Para isto, divida o conjunto de bolinhas que você recebeu em dois grupos. Marque um deles indicando que são prótons e faça uma marca diferente no outro grupo, para identificar os nêutrons. Seu objetivo é manter seu núcleo estável e coeso, fazendo que todas as bolinhas fiquem grudadas umas às outras. Você deverá seguir algumas regras:

**Passo 1** – Você deve colar as bolinhas com uma fita adesiva, utilizando apenas um pequeno pedaço enrolado em cada bolinha, suficiente para grudar a face de uma à outra.

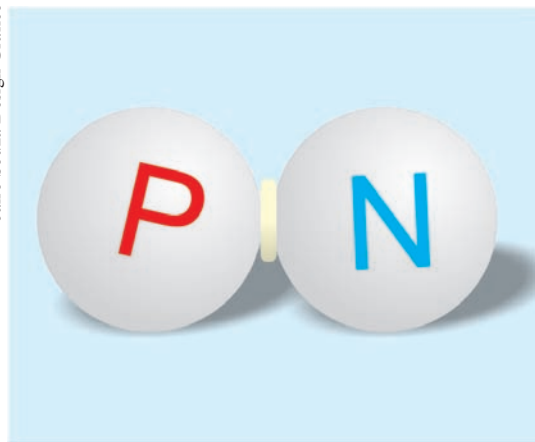


Figura 14 – Ligação entre nêutron e prótons.

**Passo 2** – Sempre que for ligar dois prótons, terá uma mola entre eles, que deverá ser deformada para você poder grudá-los.

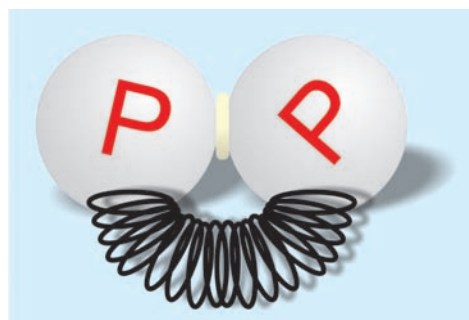


Figura 15 – Ligação entre dois prótons.

**Passo 3** – Para ligar dois nêutrons ou ligar um nêutron a um próton não é necessário colocar a mola entre eles.

Agora você deverá montar seu núcleo. Faça isso de três maneiras:

**Passo 1** – Primeiramente, tente montar um núcleo apenas com prótons.

**Passo 2** – Em seguida, utilize a mesma quantidade de prótons e nêutrons.

**Passo 3** – Agora, utilize mais nêutrons que prótons.

Em cada caso, conte quantas bolinhas você consegue manter grudadas. Após realizar a atividade, responda às seguintes questões:

1. Por que colocamos uma mola apenas entre dois prótons e não entre um próton e um nêutron? O que esta mola estaria representando 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?

## Encaminhando a ação

A dinâmica da atividade é razoavelmente simples. No entanto, devemos tomar cuidado para que os alunos a realizem adequadamente e percebam com clareza o que este modelo representa. É comum que os alunos encham as bolinhas de fita adesiva para conseguir grudar tudo. Isso não deve ocorrer, pois impede que o objetivo da atividade, que é tratar da estabilidade do núcleo, possa ser alcançado.

Os alunos devem, primeiramente, compreender a situação problematizada, ou seja, devem ter claro que, uma vez que o átomo é formado por cargas positivas que se repelem, é preciso existir algo para compensar isto e permitir que o núcleo permaneça unido.

Ao fim do experimento, alguns pontos devem ser ressaltados por você para que os alunos entendam o significado da analogia entre as bolinhas de isopor e os prótons e nêutrons do núcleo. O que explica a existência do núcleo é uma força de atração chamada de força nuclear forte<sup>5</sup>, que une as partículas, agindo tanto entre prótons quanto entre nêutrons, ou entre prótons e nêutrons. Esta força é representada no experimento pelas fitas adesivas enroladas. É um tipo de força diferente em relação às que estamos acostumados. Ela é muito intensa, como seu próprio nome diz, mas tem curto alcance, agindo somente entre partículas constituintes do núcleo. Quando o átomo é formado por poucos núcleons, a força forte vence com relativa facilidade a força elétrica repulsiva.

No entanto, em núcleos pesados o fenômeno é diferente. Imagine, por exemplo, um núcleo de urânio, que é formado por 92 prótons. Cada próton é atraído pela força forte de pró-

tons e nêutrons que estão bem próximos. No entanto, quando “olhamos” para um próton, em relação ao núcleo todo, verificamos que a maioria dos 92 prótons está a uma distância na qual a força forte não atua, mas a força elétrica sim. Por isto, é difícil manter o núcleo estável, pois o número de partículas que se repelem é muito grande em relação ao de partículas que se atraem. Quando entendemos este problema, percebemos a importância do nêutron no núcleo. Ele não repele o próton, pois não tem carga elétrica, mas contribui para a atração entre os núcleons, uma vez que interage por meio da força forte. Assim como no experimento, os nêutrons podem ser ligados sem uma mola repulsiva entre eles, e os alunos podem perceber a importância deles para a estabilidade do núcleo.

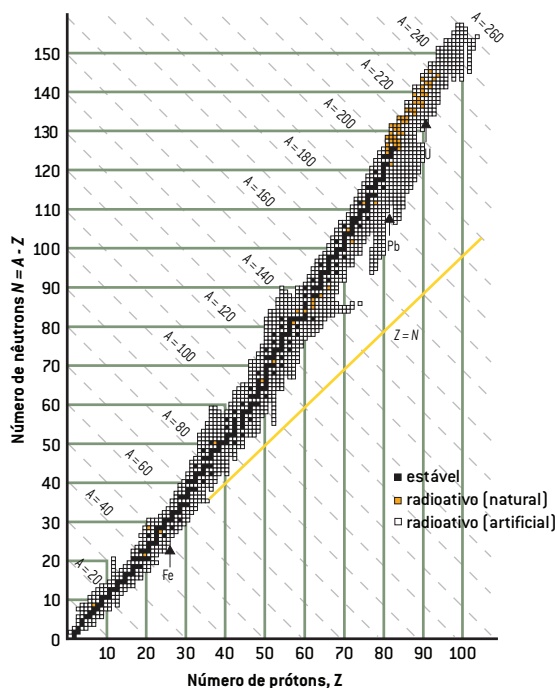
É fundamental que esta discussão seja encaminhada por você após a realização da atividade e a apresentação do modelo de força forte, esclarecendo como acontece a estabilidade do núcleo.

A discussão pode ser aprofundada com a construção de um gráfico do número de nêutrons em função do número atômico, dados que podem ser obtidos em uma tabela periódica. Nos núcleos mais leves, o número de nêutrons é igual ou próximo ao de prótons; conforme os átomos vão ficando mais pesados, o número de nêutrons em relação ao número de prótons é muito maior.

O gráfico forma uma curva, chamada de curva de estabilidade. Este gráfico é interessante, pois deixa claro o problema levantado na atividade anterior. Quanto maior a quantidade de prótons, mais difícil é deixar o núcleo estável e, conseqüentemente, mais nêutrons são necessários para equilibrar o sistema.

<sup>5</sup> O nome força nuclear forte, ou simplesmente força forte, é para distinguir da força nuclear fraca, responsável pela emissão  $\beta$ , em que um nêutron, “se transforma” em um próton emitindo um elétron ( $e^- \equiv \beta$ )

## Curva de estabilidade dos núcleos atômicos



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>>.

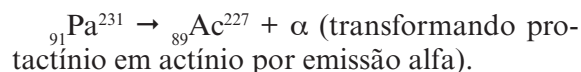
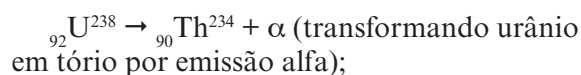
Em seguida, na mesma aula ou na seguinte, você pode questionar: *O que ocorre com um núcleo quando ele é instável? Será que continua existindo ou desaparece?* Com este questionamento é possível trazer a noção de radioatividade, que é a emissão de radiação por núcleos instáveis.

Como um núcleo tem um desequilíbrio em relação à quantidade relativa de prótons e nêutrons, para se tornar estável ele precisa modificar esta relação e, para tanto, emitir radiação, ou seja, ele irá “jogar para fora” algumas partículas. A radiação emitida pode ser de três tipos:

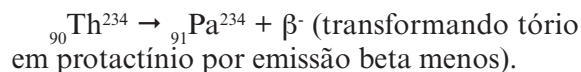
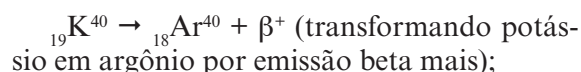
1. Radiação  $\alpha$  (alfa): esta é a radiação formada por partículas constituídas de dois prótons e dois nêutrons, o que equivale a um núcleo de hélio.

2. Radiação  $\beta$  (beta): esta radiação pode ser de dois tipos:  $\beta^+$  ou  $\beta^-$ . No caso de ser negativa, ela é formada de elétrons. Se o feixe for positivo, é formado por pósitrons (partículas semelhantes aos elétrons, mas com carga positiva).
3. Radiação  $\gamma$  (gama): neste caso há a emissão de energia por meio da emissão de fótons, semelhantes aos de luz, mas de alta frequência e energia.

Quando ocorre o primeiro tipo de emissão, há uma diminuição nos números de prótons e nêutrons. O núcleo se transmuta, ficando com um número atômico (que caracteriza o elemento) menor em duas unidades e o número de massa menor em quatro unidades. Podemos escrever isso como uma reação, da seguinte maneira:



Quando ocorre o segundo tipo de emissão, há uma transformação de próton em nêutron, com a emissão de  $\beta^+$ , ou uma transformação de nêutron em próton, com a emissão de  $\beta^-$ . Neste caso, não há a modificação do número de massa, mas há a modificação do número atômico, que perde uma unidade no primeiro caso ou ganha uma unidade no segundo. Escrevemos estas reações da seguinte maneira:



Quando há a emissão  $\gamma$  não há transmutação, havendo liberação de energia. Por exemplo:



${}_{53}^{131}\text{I} \rightarrow {}_{53}^{131}\text{I} + \gamma$  (emissão de energia pelo iodo na forma de radiação gama).

que consistirá na análise das famílias de elementos radioativos.

Esses tipos de decaimento são importantes para a próxima Situação de Aprendizagem,

## SITUAÇÃO DE APRENDIZAGEM 9 DECAIMENTOS NUCLEARES: UMA FAMÍLIA MUITO ESTRANHA

Esta Situação de Aprendizagem tem como objetivo dar continuidade à discussão acerca da radioatividade, fazendo com que os alunos analisem as três famílias naturais de decaimento.

Para isto, elaboramos um jogo do tipo quebra-cabeças, no qual as peças devem se encaixar. Os alunos deverão organizar os elementos químicos como uma série de decaimentos radioativos.

**Tempo previsto:** 2 aulas.

**Conteúdos e temas:** decaimentos nucleares, estabilidade nuclear; famílias de decaimento nuclear.

**Competências e habilidades:** reconhecer e utilizar adequadamente símbolos, códigos e diagramas da linguagem científica em situações que envolvem decaimento nuclear; identificar diferentes radiações presentes no cotidiano, reconhecendo sua sistematização no espectro eletromagnético; compreender as transformações nucleares que dão origem à radioatividade para reconhecer sua presença na natureza e em sistemas tecnológicos; reconhecer a presença da radioatividade no mundo natural e em sistemas tecnológicos, discriminando características e efeitos.

**Estratégias:** realização de atividades em grupo; leitura do roteiro da atividade; elaboração de hipóteses de trabalho; análise dos resultados e discussão com a classe.

**Recursos:** roteiro de atividade para trabalho em grupo.

**Avaliação:** avaliar a compreensão do aluno sobre as famílias de decaimento nuclear, por meio da habilidade de análise e reconhecimento da linguagem científica e da montagem correta do quebra-cabeças.

### Desenvolvimento da Situação de Aprendizagem

Na Situação de Aprendizagem anterior, foi estudado o problema da estabilidade nuclear, continuando a discussão sobre radioatividade – processo pelo qual um átomo instável emite radiações até se tornar um

átomo estável. Oriente o trabalho dos alunos com o roteiro 9, que propõe um jogo do tipo quebra-cabeças que simula a série de decaimentos radioativos de alguns elementos químicos.





### Roteiro 9 – Um quebra-cabeças radioativo

Vimos que um átomo radioativo emite três tipos de radiação quando está instável:  $\alpha$  (alfa),  $\beta$  (beta) e  $\gamma$  (gama). Como dificilmente em apenas uma transformação o núcleo se estabiliza, ocorre uma série de transformações, que resultam em sequências de elementos químicos, que são chamadas de famílias radioativas. Nesta Situação de Aprendizagem você irá 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,  $\alpha$  e  $\beta$ .

**Materiais:** tabela com a série do actínio montada como exemplo; séries do urânio e do tório para ser organizadas.

### Mãos à obra

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

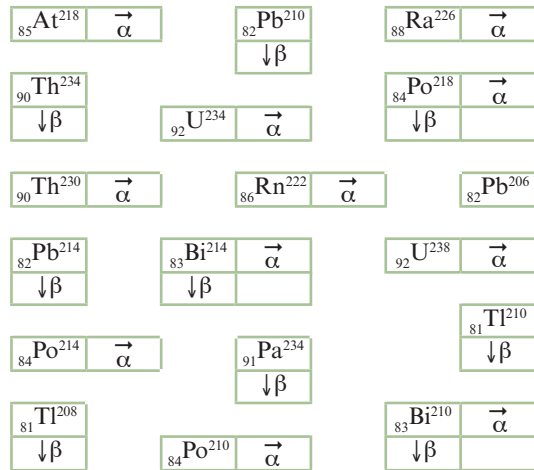
#### Série do actínio

${}_{92}\text{U}^{235}$	$\vec{\alpha}$	${}_{90}\text{Th}^{231}$										
		$\downarrow\beta$										
${}_{91}\text{Pa}^{231}$	$\vec{\alpha}$	${}_{89}\text{Ac}^{227}$	$\vec{\alpha}$	${}_{87}\text{Fr}^{223}$	$\vec{\alpha}$	${}_{85}\text{At}^{219}$	$\vec{\alpha}$	${}_{83}\text{Bi}^{215}$				
		$\downarrow\beta$		$\downarrow\beta$		$\downarrow\beta$		$\downarrow\beta$				
		${}_{90}\text{Th}^{227}$	$\vec{\alpha}$	${}_{88}\text{Ra}^{223}$	$\vec{\alpha}$	${}_{86}\text{Rn}^{219}$	$\vec{\alpha}$	${}_{84}\text{Po}^{215}$	$\vec{\alpha}$	${}_{82}\text{Pb}^{211}$		
				$\downarrow\beta$		$\downarrow\beta$						
				${}_{85}\text{At}^{215}$	$\vec{\alpha}$	${}_{83}\text{Bi}^{211}$	$\vec{\alpha}$	${}_{81}\text{Tl}^{207}$				
						$\downarrow\beta$		$\downarrow\beta$				
						${}_{84}\text{Po}^{211}$	$\vec{\alpha}$	${}_{82}\text{Pb}^{207}$				

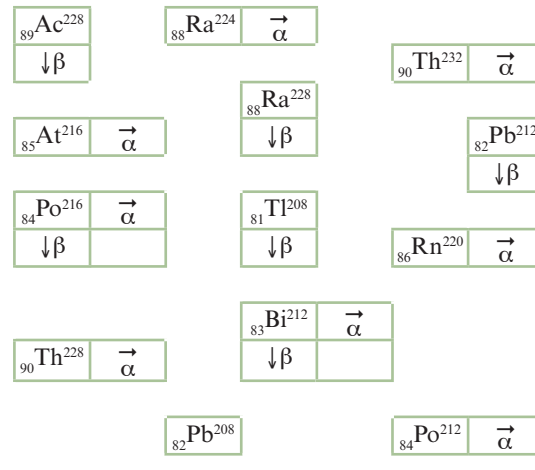
Agora você deve organizar os elementos das tabelas a seguir como se estivesse montando um quebra-cabeça. Cada elemento químico somente pode ser “encaixado”

em outro se for o resultado do decaimento indicado. No fim, você deve ter uma série de decaimentos, como o que foi apresentado.

### Série do urânio



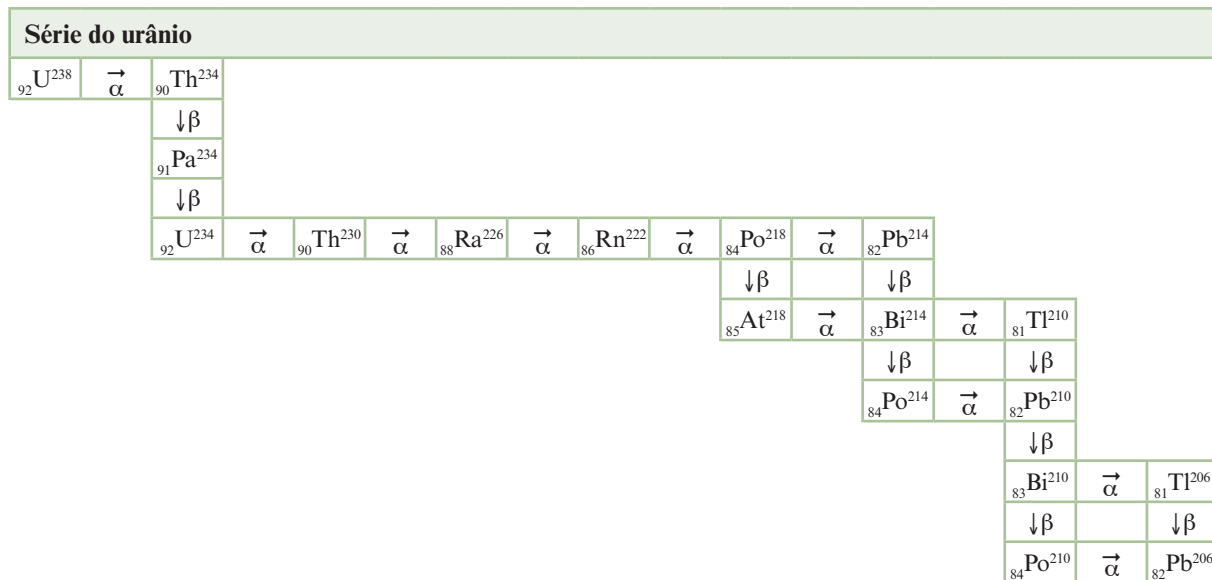
### Série do tório



### Encaminhando a ação

A atividade serve como sistematização dos assuntos discutidos nas últimas aulas. Inicialmente, retome o debate sobre a emissão de radiação pelos núcleos e revise os tipos de radiação emitidos. Pode-se questionar quantas emissões um núcleo deve ter para se tornar estável e, assim, apresentar o conceito de família radioativa.

Deve-se dar especial atenção aos casos em que os decaimentos se dividem em dois tipos, pois isto pode confundir os alunos. Eles devem observar que, mesmo quando um caminho se divide, ambos levam ao mesmo elemento químico no final do processo. A seguir, é apresentada a solução da atividade, o resultado que os alunos devem obter ao organizar os elementos.





Série do tório												
${}_{90}\text{Th}^{232}$	$\vec{\alpha}$	${}_{88}\text{Ra}^{228}$										
		$\downarrow\beta$										
		${}_{89}\text{Ac}^{228}$										
		$\downarrow\beta$										
		${}_{90}\text{Th}^{228}$	$\vec{\alpha}$	${}_{88}\text{Ra}^{224}$	$\vec{\alpha}$	${}_{86}\text{Rn}^{220}$	$\vec{\alpha}$	${}_{84}\text{Po}^{216}$	$\vec{\alpha}$	${}_{82}\text{Pb}^{212}$		
								$\downarrow\beta$		$\downarrow\beta$		
								${}_{85}\text{At}^{216}$	$\vec{\alpha}$	${}_{83}\text{Bi}^{212}$	$\vec{\alpha}$	${}_{81}\text{Tl}^{208}$
										$\downarrow\beta$		$\downarrow\beta$
										${}_{84}\text{Po}^{212}$	$\vec{\alpha}$	${}_{82}\text{Pb}^{208}$

## SITUAÇÃO DE APRENDIZAGEM 10 DESVENDANDO O QUE HÁ POR DENTRO DA “CAIXA-PRETA”

Nesta Situação de Aprendizagem, discutiremos como substâncias com núcleos radioativos podem ser utilizadas para um exame de diagnóstico na medicina. Iniciaremos com uma atividade que faz analogia com o processo re-

alizado em um exame médico e, em seguida, será feita uma apresentação breve dos exames de tomografia: do inglês *Positron Emission Tomography* (PET) e do inglês *Single Photon Emission Computed Tomography* (SPECT).

**Tempo previsto:** 2 aulas.

**Conteúdos e temas:** natureza das interações e a dimensão da energia envolvida nas transformações nucleares para explicar seu uso na medicina.

**Competências e habilidades:** utilizar linguagem escrita para relatar observações e questões que evidenciam o uso de radioatividade na medicina; conhecer a natureza das interações e a dimensão da energia envolvida nas transformações nucleares para explicar seu uso na medicina.

**Estratégias:** realização de atividades em grupo; leitura do guia de execução da atividade; elaboração de hipóteses de trabalho; análise dos resultados e discussão com a classe.

**Recursos:** roteiro de atividade para trabalho em grupo; materiais do dia a dia para a realização de atividade metafórica.

**Avaliação:** avaliar a compreensão do aluno sobre o uso de isótopos radioativos na medicina nuclear, por meio da qualidade de suas manifestações em relação ao procedimento adotado e identificação correta da imagem.



## Desenvolvimento da Situação de Aprendizagem

Nesta Situação de Aprendizagem, os alunos irão realizar um procedimento que consiste em uma analogia com alguns exames de diagnóstico, realizados para visualizar partes internas do corpo humano. Os alunos deverão receber uma pasta fumê, na qual será coloca-

da uma imagem do corpo humano. Ao movimentarem uma pequena lanterna que estará dentro da pasta, a luz desta permitirá que eles vejam os detalhes da representação do corpo humano colocada dentro da pasta.

### Roteiro 10 – O que há por dentro do corpo humano?

Você deve conhecer alguém que teve um problema de saúde em que o médico precisou “ver” o que estava acontecendo dentro do corpo por meio de exames para diagnosticar o problema. Agora vamos estudar como isso é possível.

#### Materiais

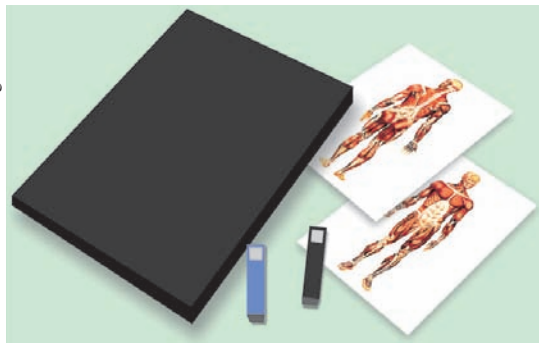


Figura 16 – Materiais dispostos para montagem da Situação de Aprendizagem.

Pasta plástica fumê com 3 cm de largura lateral; imagens frontal e traseira de uma parte do corpo humano; 2 lanternas portáteis.

#### Mãos à obra

Você não consegue ver a imagem que está dentro da pasta que recebeu?

Como a luz que está fora não ajuda você a enxergá-la, resolvemos ajudar de outra maneira.

**Passo 1** – Coloque uma pequena lanterna dentro da pasta.

**Passo 2** – Agora você poderá descobrir qual é a imagem que está dentro.

## Encaminhando a ação

Antes de iniciar a Situação de Aprendizagem, pergunte como se pode ver as partes internas do corpo humano e quais exames os alunos eventualmente já fizeram para obter este tipo de imagem. Para a realização da atividade, primeiramente será preciso tomar cuidado para que os alunos não abram a pasta

nem a deformem tentando ver seu conteúdo. A maneira mais simples de fazer isso é pedir que mantenham a pasta sobre a mesa. As imagens do corpo humano, que deverão ser colocadas dentro da pasta, podem ser obtidas em atlas ou mesmo na internet. A vantagem do atlas é que geralmente ele apresenta a imagem do corpo humano com vista frontal e posterior. A parte impressa deve ficar virada para dentro



da pasta, para que fique invisível somente com a luz ambiente. A lanterna que será colocada dentro deve ter um foco de emissão pequeno. O modelo mais adequado são as lanternas tipo *baby light*, mostradas anteriormente, pois elas têm estas características e um tamanho ade-

quado para a pasta, além de ser de custo acessível. Esta atividade pode ser realizada com os materiais necessários para cada grupo ou, ainda, caso não seja possível obter estes materiais para cada grupo, você pode realizar a demonstração da experiência para toda a classe.

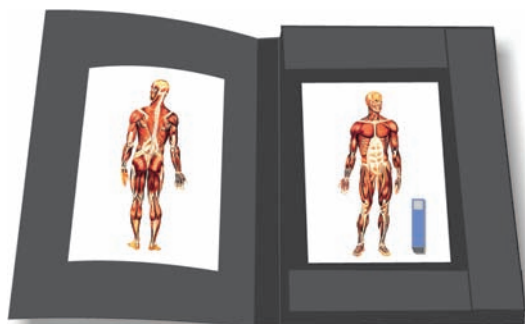


Figura 17 – Pasta montada para a realização da atividade

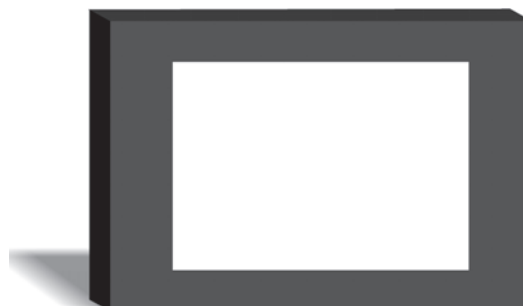


Figura 18 – Pasta fechada para a realização da atividade.

Ilustrações: Jairo Souza Design Gráfico

Com a montagem feita, os alunos devem descobrir qual figura está dentro da pasta. Para tornar a atividade mais desafiadora, você pode desenhar alguns detalhes na figura que está dentro, como pequenas indicações de imperfeições no corpo, que os alunos deverão descobrir ao longo da realização da atividade. Para a visualização da figura interna à pasta, os alunos devem “chacoalhar” a pasta levemente. Conforme a lanterna for se movendo dentro da pasta, diferentes partes da figura serão reveladas e os alunos irão visualizar, aos poucos, cada detalhe do desenho e poderão compor a representação do corpo todo.

A atividade é uma analogia em relação a dois exames utilizados para diagnóstico na medicina. Nos anos 1940, começou-se a utilizar isótopos radioativos dos elementos químicos em exames que buscavam mapear e identificar entidades presentes no corpo humano em regiões específicas, dando início ao que

ficou conhecido como medicina nuclear. Um dos primeiros elementos utilizados foi o iodo 131, que se acumula na tireoide e emite raios gama. Estes raios vêm de dentro do corpo e trazem informações que permitem identificar problemas nesta glândula. Nestes tipos de exames são medidas, essencialmente, as concentrações dos radioisótopos em cada ponto do corpo e, por meio delas, verifica-se a existência de anomalias. Na atividade, a luz da lanterna representa a radiação vinda de dentro do corpo que nos permite obter informações sobre ele. Atualmente, o elemento mais utilizado é o tecnécio, que é aprisionado por certas células cancerosas.

A imagem obtida por este procedimento é uma imagem bidimensional, como a de um raio X<sup>6</sup>. Para resolver este problema e conseguir imagens tridimensionais mais detalhadas do corpo, em 1972 G. Hounsfield criou a tomografia computadorizada, um sistema no

<sup>6</sup> É importante notar que o raio X é uma radiação eletromagnética de alta frequência, como a radiação gama ( $\gamma$ ). No entanto, ele não é resultado de um processo nuclear, porque é obtido por meio da desaceleração de um elétron em um processo de colisão com um alvo.



qual há um mapeamento completo do corpo por meio da análise da radiação emitida por todos os lados. Com isso foi criada a tomografia computada por emissão de fóton único (SPECT), baseada na emissão de radiação gama por elementos radioativos.

Um exame semelhante ao SPECT é a tomografia por emissão de pósitron (PET). A diferença entre eles é que no PET o elemento radioativo não emite um raio gama, mas um pósitron. O pósitron é uma partícula que, ao encontrar um elétron, aniquila ambos, emitindo raios gama, que, como no caso anterior, serão detectados para obtermos informações sobre o corpo.

Para finalizar o estudo dos fenômenos nucleares, discuta outras relações destes fenômenos com questões relacionadas às nossas vidas, como:

1. Energia nuclear: um dos maiores problemas mundiais é o abastecimento de energia para toda a população. Uma das soluções é a construção de usinas nucleares. No entanto, há problemas em relação ao que fazer com os rejeitos e o perigo de acidentes, como o que ocorreu em Chernobyl.
2. Irradiação de alimentos: embora pouco discutida na mídia aberta, atualmente uma das formas de tratar alimentos é submetê-los às radiações, de forma controlada. Os objetivos deste processo são: eliminar micro-organismos, parasitas e pragas que podem prejudicar o alimento; eliminar bactérias e fungos que causam a deterioração dos alimentos; inibir a maturação de alguns micro-organismos.
3. Tratamentos médicos e exames diagnósticos: além dos exames, como foi explicado na atividade, a radiação pode ser útil em tratamentos médicos, como do câncer, por meio da incidência da radiação em tumores com o objetivo de eliminá-los.
4. Efeitos biológicos: apesar dos usos biológicos benéficos, a radiação pode trazer perigos à saúde. A absorção de uma dose muito grande de radiação pode provocar queimaduras intensas, que chegam a levar à morte. Além disso, pode haver efeitos tardios, como se danificarmos uma célula e ela passar a se reproduzir, gerando novas células imperfeitas, que, caso não sejam eliminadas pelo corpo, podem se tornar um câncer.

Ao apresentar este panorama aos alunos, é possível debater as vantagens e as desvantagens, os riscos e os benefícios da utilização de elementos nucleares em nossas vidas.

## GRADE DE AVALIAÇÃO

Situação de Aprendizagem	Expectativas ou Indicadores de Aprendizagem
8	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Reconhecer a importância do núcleo para a explicação de fenômenos que não se resumem às propriedades eletrônicas do átomo.</li> <li>– Identificar as partículas que compõem o núcleo atômico.</li> <li>– Explicar a importância do nêutron para a estabilidade nuclear.</li> <li>– Compreender o problema da instabilidade do núcleo.</li> </ul>



Situação de Aprendizagem	Expectativas ou Indicadores de Aprendizagem
9	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Compreender o processo de emissão de radiações pelo núcleo.</li> <li>– Identificar os tipos de radiação emitidos pelo núcleo.</li> <li>– Explicar processos de emissão de radiação em linguagem científica adequada.</li> </ul>
10	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Reconhecer o papel dos fenômenos nucleares na sociedade contemporânea.</li> <li>– Compreender as tecnologias de diagnóstico médico baseadas em processos atômicos.</li> <li>– Explicar a possibilidade de obter dados e informações sobre partes internas de um corpo por meio da radiação.</li> </ul>

## PROPOSTAS DE QUESTÕES PARA APLICAÇÃO EM AVALIAÇÃO

1. Por que o núcleo, que contém partículas de mesmo sinal, se mantém unido?

*Porque existe uma força de atração entre os núcleons que mantém essas partículas unidas. Essa força de atração chama-se força forte, que acaba superando a força de repulsão eletrostática. Essa interação só ocorre em distâncias muito pequenas como no caso dos núcleos atômicos.*

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

*O nêutron ajuda a equilibrar o balanço entre a força forte, que é atrativa, e a força elétrica, repulsiva, pois ele é sensível somente à força forte.*

3. Qual é o elemento resultante da emissão de uma partícula alfa por um núcleo de urânio 238?

- a)  ${}_{90}\text{Th}^{231}$                       d)  ${}_{91}\text{Pa}^{238}$   
 b)  ${}_{91}\text{Pa}^{234}$                       e)  ${}_{90}\text{Th}^{234}$   
 c)  ${}_{90}\text{Th}^{234}$

*Como no decaimento alfa o elemento perde duas unidades no número atômico, que define o elemento, e quatro unidades no número de massa, o núcleo resultante é o tório 234.*

4. Qual partícula deve ser emitida para que se mantenha o número de massa e diminua em uma unidade o número atômico?

- a)  $\alpha$ .                                      d)  $\delta$ .  
 b)  $\beta^+$ .                                      e)  $\gamma$ .  
 c)  $\beta^-$ .

*A diminuição do número atômico ocorre quando um próton se transforma em nêutron e emite um pósitron  $\beta^+$ .*

5. O que é uma série radioativa?

*Em muitos casos é necessária determinada quantidade de emissões para que o núcleo se estabilize. As séries de substâncias formadas e em seguida transformadas por novas emissões são chamadas de famílias radioativas, ou série de decaimentos. Existem na natureza três séries naturais, nas quais os elementos radioativos urânio ou tório se estabilizam em algum isótopo de chumbo.*



## PROPOSTA DE SITUAÇÃO DE RECUPERAÇÃO

Este bimestre foi dividido em dois grandes temas e focalizou a constituição da matéria, do ponto de vista atômico e nuclear, desenvolvendo principalmente as habilidades de compreensão dos processos científicos para o entendimento do mundo atômico e a capacidade de análise das tecnologias envolvidas. Alguns livros didáticos já trazem a discussão de temas de Física Moderna e neles é possível achar questões complementares e textos de apoio para as Situações de Recuperação.

Para retomar a discussão sobre os processos de construção do conhecimento, você pode realizar uma atividade que tem como objetivo desvendar o que há por dentro de uma “caixa-preta”. A montagem mais simples consiste em colocar pequenos objetos que façam diferentes barulhos e tenham pesos variados (por exemplo, pedaços de giz ou pequenos objetos de madeira ou metal) dentro de uma caixa de papelão que tenha, no máximo, as dimensões de uma caixa de sapato.

A caixa deve ser completamente vedada, de forma que não se possa abri-la nem olhar dentro dela. Os alunos deverão descobrir o que há dentro da “caixa-preta”, fazendo hipóteses sobre o que está escondido dentro dela. Depois que eles manipularem a caixa e fizerem suas hipóteses, você pode questionar se é possível “ver” dentro da caixa e como se pode saber o que tem dentro dela. Com esta atividade, pode-se rediscutir as formas pelas quais o cientista estuda o mundo atômico, por meio da construção de modelos que buscam representar uma realidade que nos é inacessível por métodos diretos de observação. Uma atividade semelhante, com um roteiro

completo para sua realização, encontra-se no *site* <<http://nupic.incubadora.fapesp.br/portal/pcsp-1/3b0-ano/>>.

Para retomar a discussão sobre o modelo atômico quantizado, pode-se sugerir que os alunos façam uma pesquisa sobre os primeiros modelos atômicos, propostos por Joseph John Thomson, Ernest Rutherford e Niels Bohr, no final do século XIX e início do XX.

Os alunos deverão compará-los, evidenciando as suas diferenças e semelhanças em relação à existência de cargas elétricas e em relação a como estas cargas eram distribuídas ou organizadas dentro do átomo. Para a pesquisa, eles devem consultar textos de Física e Química. Complementando a pesquisa, os alunos devem ser separados em grupos para realizar um debate, no qual cada equipe deverá apresentar e defender as ideias referentes a um modelo atômico específico.

Além dos materiais didáticos, é possível retomar os temas tratados por meio da leitura e da discussão de artigos e livros de divulgação científica, como *Alice no país do quantum*, de Robert Gilmore; *O incrível mundo da Física Moderna*, de George Gamov; *As aventuras científicas de Sherlock Homes*, de Colin Bruce, entre outros que podem ser selecionados por você, de acordo com o tema da recuperação. Os textos aqui sugeridos permitem resgatar e rediscutir muitas das questões propostas nas Situações de Aprendizagem. Selecione capítulos ou trechos em que o autor trata o tema de interesse e solicite ao aluno que o leia. Faça uma síntese ou um pequeno resumo e responda às questões que você julgar relevante.



## RECURSOS PARA AMPLIAR A PERSPECTIVA DO PROFESSOR E DO ALUNO PARA A COMPREENSÃO DO TEMA

### Livros e artigos

BAGNATO, V. S. O magnífico *laser*. *Ciência Hoje*, Rio de Janeiro, v.37, n. 222, p.30-37, dez. 2005.

\_\_\_\_\_. Os fundamentos da luz *laser*. *Física na Escola*, v.2, n. 2, 2001.

Artigos interessantes para compreensão do fenômeno da produção da luz *laser*.

BROCKINGTON, G; SOUSA, W. B; UETA, N. *Física*: módulo 6. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2003.

Apostila para estudantes do Ensino Médio, com atividades e exercícios.

FIGUEIRAS, C.A.L. A espectroscopia e a química. *Química Nova na Escola*, n. 3, maio 1996.

Artigo interessante que aprofunda as questões históricas relacionadas à análise espectroscópica.

TIPLER, P.; LLEWELLYN, C. *Física moderna*. São Paulo: Editora LTC, 2001.

Livro técnico, destinado a estudantes de graduação, que contém uma discussão aprofundada, mas acessível, sobre tópicos de Física moderna.

### Sites

Laboratório de Espectroscopia Atômica da Universidade Federal Fluminense. Disponível em: <[www.if.uff.br/plasma/espectroscopia.htm](http://www.if.uff.br/plasma/espectroscopia.htm)>. Acesso em: 27 abr. 2009.

Há uma introdução interessante sobre a análise dos elementos no *site* do Laboratório de Espectroscopia Atômica da Universidade Federal Fluminense.

O uso do *laser* na medicina moderna. Disponível em: <[www.ced.ufsc.br/men5185/trabalhos/A2005\\_outros/39\\_laserm/apli.htm](http://www.ced.ufsc.br/men5185/trabalhos/A2005_outros/39_laserm/apli.htm)>. Acesso em: 27 abr. 2009.

Sobre as aplicações do *laser* na medicina há informações no *site* da Universidade Federal de Santa Catarina.

Centro de Energia Nuclear na Agricultura (Cena-USP). Disponível em: <<http://www.cena.usp.br>>. Acesso em: 27 abr. 2009.

Informações sobre o papel das radiações na agricultura podem ser obtidas nesse *site* do Centro de Energia Nuclear na Agricultura.

Centro Nacional de Energia Nuclear – CNEN. Disponível em: <<http://www.cnen.gov.br/ensino/apostilas.asp>>. Acesso em: 27 abr. 2009.

O Centro Nacional de Energia Nuclear disponibiliza em seu *site* algumas apostilas educativas que podem servir de apoio ao seu trabalho com seus alunos.

