

PRODUTO EDUCACIONAL

INVESTIGANDO

A

ESTRUTURA DA MATÉRIA



MANUELI APARECIDA AGAPITO MOTHÉ FÁRIA

PIERRE SCHWARTZ AUGÉ



PRODUTO EDUCACIONAL

Caro professor,

Você está de posse de um **produto educacional** criado com o intuito de facilitar a aprendizagem de conceitos inerentes à estrutura da matéria, em específico, de assuntos como modelos atômicos e partículas subatômicas. Os campos conceituais abordados servem de auxílio para aulas de Física e Química para turmas do 1º ano do Ensino Médio. Foi utilizado o método de ensino conhecido como Ensino Investigativo abordado de forma interdisciplinar, aliado à História da Ciência. Deseja-se que os alunos se tornem protagonistas e construam seu próprio conhecimento com criticidade à medida em que participem das 12 etapas investigativas propostas. Utilizamos a Teoria de Aprendizagem Significativa de Ausubel e a Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud. Não se preocupe, elas serão devidamente esclarecidas em seguida.

O produto educacional pode ser entregue diretamente ao aluno, o que facilita a sua aplicação e é de suma importância que o professor se coloque como mediador do conhecimento para que, assim, o aluno consiga romper com a passividade. Para isso, foram utilizadas várias ferramentas pedagógicas como forma de facilitar e promover uma motivação para a geração de significados, tais como: tirinhas científicas, leituras de textos científicos sobre temas do cotidiano, plataforma virtual com simulador *Phet*, experimento prático, paródia, *fanzine* e mapa conceitual. Os questionamentos também estão presentes ao final de cada etapa investigativa, podendo ser utilizadas como forma de avaliação gradativa, além de debates guiados por aulas expositivas dialogadas.

Por fim, espera-se que esse material pedagógico seja um facilitador da inserção de conceitos oriundos da Física e da Química e que possa promover momentos nos quais as relações entre concepções prévias e novas permitam que todos os envolvidos vivenciem momentos que gerem significados para a vida acadêmica e até mesmo pessoal. Deseja-se que os envolvidos possam desbravar o mundo invisível que nos governa e que muitos paradigmas sejam rompidos, internos ou externos.

Vamos nessa!

Manueli Aparecida Agapito Mothé Faria

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL	165
TEORIA DA APRENDIZAGEM INVESTIGATIVA (TAS)	168
TEORIA DOS CAMPOS CONCEITUAIS (TCC)	169
ENSINO INVESTIGATIVO (EI).....	170
MAPA CONCEITUAL (MC)	171
PRIMEIRA ETAPA INVESTIGATIVA	172
Questionário introdutório	172
SEGUNDA ETAPA INVESTIGATIVA	175
Natureza da Ciência.....	175
Observação e levantamento de hipóteses.....	176
A relação entre a Ciência e a Religião.....	177
Texto de divulgação científica sobre a pipoca.....	178
Método e Conhecimento Científico.....	179
TERCEIRA ETAPA INVESTIGATIVA	181
Problematização inicial.....	181
O experimento de J. J. Thomson.....	182
QUARTA ETAPA INVESTIGATIVA.....	184
Os estudos de J. J. Thomson.....	185
QUINTA ETAPA INVESTIGATIVA	187
Atividade Atomística.....	187
Slides da aula expositiva e dialogada.....	188
Atividade Modelos atômicos.....	191
SEXTA ETAPA INVESTIGATIVA.....	193
Experimento de Rutherford com uma folha de ouro.....	194
Recorte de folder do CBPF sobre os 100 anos da descoberta do núcleo atômico.....	196
Recorte de folder sobre radioatividade e radiação.....	196
Recorte de folder do CBPF sobre o Experimento de Rutherford.....	197
SÉTIMA ETAPA INVESTIGATIVA.....	198
Experimento virtual: Simulador <i>Phet</i>	198
Questionário experimento virtual.....	201
Experimento prático: teste da chama.....	202
Atividade após experimentação.....	204

OITAVA ETAPA INVESTIGATIVA	205
Paródia: história dos átomos.....	205
Atividade paródia.....	206
Modelo Quântico.....	207
NONA ETAPA INVESTIGATIVA	209
Retomando o significado de átomo.....	209
DÉCIMA ETAPA INVESTIGATIVA.....	211
Qrcode de vídeo sobre Partículas fundamentais.....	211
Material complementar para o aluno.....	213
Texto científico: raios X.....	224
DÉCIMA PRIMEIRA ETAPA INVESTIGATIVA.....	228
Mapa Conceitual para atividade	229
DÉCIMA SEGUNDA ETAPA INVESTIGATIVA.....	230
Orientações para a atividade final	230
REFERÊNCIAS DO PRODUTO.....	231

TEORIA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA (TAS) – DAVID AUSUBEL

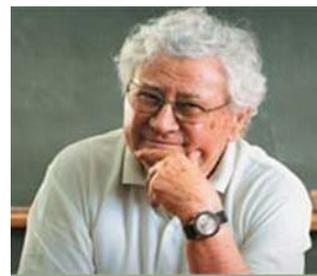


A TAS apresenta, inicialmente, a diferenciação entre a aprendizagem e o ensino. Ausubel afirma que os conceitos construídos a partir de conhecimentos prévios já adquiridos ou “descobertos” pelo sujeito, em seu meio, são a base para a elaboração da sua teoria de interiorização ou assimilação do conhecimento, que ocorre através da instrução estabelecida e organizada, capaz de causar um desequilíbrio nas estruturas existentes (Pozo, 1998, p. 209).

Diante desse desafio, tem-se um entrave a ser superado no Ensino de Física, pois muitos alunos dizem não gostar desta Ciência e isso se deve ao fato de não conhecerem essa Ciência de forma conceitual e, até mesmo por terem sido apresentados a ela apenas por fórmulas matemáticas e de forma mecanizada, sem significado. Ausubel afirma que uma aprendizagem é considerada significativa quando o sujeito incorpora novos conhecimentos formando para ele um significado a partir das relações com conhecimentos anteriores, sendo necessários requisitos cognitivos e um envolvimento afetivo com a matéria a ser estudada (Pozo, 1998, p. 211).

Em síntese, para Ausubel, os pressupostos necessários para que ocorra a aprendizagem significativa são: o aluno estar disposto a relacionar sua estrutura cognitiva ao material a ser aprendido de forma substantiva e não arbitrária; a existência de ideias complacentes (inclusivas) na estrutura cognitiva do aluno; e material potencialmente significativo no qual estão presentes a diferenciação progressiva e a reconciliação integradora (Pontes Neto, 2006, p. 118). A diferenciação progressiva se dá quando, a partir de conceitos gerais, há exemplos e aplicações específicas em que o conhecimento geral vai ganhando significado. A reconciliação integradora ocorre quando novas especificações vão sendo apresentadas e os sujeitos integram os novos conhecimentos ao corpo geral aprendido anteriormente. Essas atividades cognitivas são dinâmicas e podem ocorrer simultaneamente.

TEORIA DOS CAMPOS CONCEITUAIS (TCC) – GÉRARD VERGNAUD



Vergnaud foi discípulo de Piaget e apresenta também uma teoria cognitivista, na qual afirma que as competências e habilidades observadas nos alunos, quando colocados diante de situações, permitem analisar a sua aprendizagem, pois entende que o conhecimento está presente no “saber fazer como nos saberes expressos” (Santana *et al.*, 2015, p. 1164).

Vergnaud reconhece que para se ter um progressivo domínio de “campos conceituais” deve-se dar a devida importância à interação social, à linguagem e à simbolização pelos alunos, seguindo também o legado deixado por Vygotsky. Em sua teoria, destaca algumas ideias importantes oriundas da teoria de Piaget tais como: a adaptação, desequilíbrio e reequilíbrio e as identifica como pedras angulares para uma proposta investigativa para o ensino de ciências que devem ser oportunizadas pelo professor e que o desenvolvimento cognitivo depende da forma com que os aprendizes lidam com situações nas quais são expostos, além das conceitualizações específicas necessárias que surgem quando os mesmos buscam as soluções (Moreira, 2002, p. 8).

Sendo assim, a Teoria dos Campos Conceituais (TCC) de Vergnaud toma como premissa que o domínio progressivo do conhecimento, por parte do sujeito, se fundamenta por meio de experiências, maturidade e aprendizagem observadas em longo prazo. As dificuldades conceituais são superadas na medida com que são enfrentadas, sendo apresentadas ao longo de vários anos. Apresenta a conceitualização como o cerne do desenvolvimento cognitivo, como a “pedra angular” (*ibid.*).

Neste trabalho você encontrará uma gama de situações proporcionadas, mediante ao enfrentamento de problemas, que foram sendo apresentados de maneira a proporcionar uma estruturação ordenada e gradativa dos campos conceituais abordados e, assim, foram tendo sentido para os alunos.

ENSINO POR INVESTIGAÇÃO

Nos últimos anos a Didática em Ciências têm buscado práticas que aproximem o conhecimento científico à realidade de vida dos estudantes, favorecendo uma relação entre o aluno e os conceitos trabalhados, voltados à Alfabetização Científica (AC) (Nascimento, 2016).

Entretanto, para que isso aconteça de forma efetiva, os professores precisam estar em constante reflexão, rompendo paradigmas que gerem desafios a serem enfrentados de forma a tornar o processo de ensino e aprendizagem contextualizados e com viés investigativo, sem se basear apenas em conceitos científicos, nomes e atividades do livro didático, pois os mesmos não possibilitam ao aluno o desenvolvimento pleno de habilidades e competências para a promoção da AC (Lorenzetti; Delizoicov, 2001; Krasilchik, 1984).

Um enfoque de ensino que foi categorizado, segundo Pozo e Gómez Crespo (2001, p. 293), é denominado “ensino por investigação dirigida”, cujo objetivo principal seria uma aprendizagem consistente do ponto de vista científico, no que tange ao aspecto conceitual, procedimental e atitudinal. Coloca em evidência a construção dos modelos científicos, considerados construções sociais, através de resolução de problemas com viés investigativo. Considera as estruturas conceituais (e os campos conceituais) e não apenas os conceitos isolados, indo ao encontro das propostas de Ausubel e Vergnaud.

Nesta perspectiva, Almeida e Sasseron (2013, p. 1188) afirmam que o Ensino por Investigação (EI) se apresenta como ferramenta de ensino promissora quando se pretende gerar uma AC, pois busca colocar o aluno numa posição de protagonismo frente a problemas que precisam ser solucionados, similar à construção do conhecimento científico, potencializando o caráter investigativo.

MAPA CONCEITUAL (MC)

A aprendizagem significativa é progressiva, como também o domínio de um campo conceitual, de situações, com rupturas e continuidades (Moreira, 2010). De acordo com o princípio da consolidação, antes da introdução de novos conhecimentos, a aprendizagem significativa não se apresenta de forma imediata e vale ressaltar que o uso de exercícios, resoluções de situações-problema, clarificações, discriminações, diferenciações, integrações são importantes (Moreira, 2010).

Com isso, o uso de mapas conceituais se apresenta como uma ferramenta didática utilizada como forma de identificar indícios de uma aprendizagem significativa. Por meio deste instrumento didático, que pode ser apresentado em uma aula, como também durante um curso inteiro, permite demonstrar relações entre os conceitos transmitidos. A teoria cognitivista de David Paul Ausubel, criada em 1963, foi a inspiração necessária para que Joseph Novak e seus colaboradores na Universidade de Cornell, nos Estados Unidos desenvolvessem esse instrumento (Moreira; Buchweitz, 1993).

Para Novak e Gowin (1996 *apud* Brum; Schuhmacher, 2015), o mapa conceitual representa, dentro de uma estrutura de proposições, um conjunto de significados conceituais. De acordo com estes autores, uma proposição consiste na formação de uma unidade semântica formada por dois ou mais termos conceituais unidos por meio de palavras.

Na estrutura dos mapas conceituais é possível perceber que os conceitos mais gerais são inseridos até os menos inclusivos, de forma ordenada e hierarquizada dos conteúdos, de modo que permita gerar estímulos adequados ao aprendiz (Novak; Cañas, 2012 *apud* Brum; Schuhmacher, 2015).

Diante desse contexto, foi verificada a importância do uso de mapas conceituais e como essa ferramenta de ensino e aprendizagem pode contribuir de forma completa para uma estruturação do conhecimento no cognitivo dos alunos.

PRIMEIRA ETAPA INVESTIGATIVA

Questionário Introdutório/Concepções Alternativas

Olá pessoal! Nesta etapa introdutória vamos responder um questionário sobre algumas questões importantes para nosso estudo. Não se preocupe em responder 'certo'. O importante é que você se coloque e expresse sua concepção sobre os temas abordados. Algumas dessas concepções de vocês são chamadas de 'alternativas'. Vamos nessa?!

Questões

1. Para você, o que é Ciência?

2. Como seria o trabalho de um Cientista?

Observe a tirinha e responda:

Figura 1. Questionamento científico.



Fonte: <https://www.umsabadoqualquer.com/941-einstein-8/>

a) Qual é o nome desse cientista? _____

b) O que ele quis expressar nessa tirinha?

3. Astrologia é Ciência? E Astronomia?

4. A Ciência é construída apenas por gênios e cientistas isolados?

5. Você acha que a Ciência está relacionada com interesses pessoais, religiosos, econômicos e até mesmo governamentais?

6. Observe a tirinha abaixo e responda:

Figura 2. Mundo invisível.



Fonte: <<https://www.cbpf.br/~caruso/tirinhas/index.htm>>.

Existe um mundo invisível que nos rodeia. Como você explicaria essa afirmação?

7. O que é matéria?

8. Qual é a menor partícula existente?

9. Somos formados pelo mesmo material que as estrelas?

Segunda Etapa Investigativa

Leitura de Texto/Debate/Questões

O que é Ciência, afinal?

O objetivo desta segunda etapa é promover um breve debate, com levantamento de hipóteses sobre a Natureza da Ciência e a sua metodologia. Durante a observação das figuras/tirinhas relacionadas com o questionamento inicial, vocês serão questionados pelo professor. Assim, serão orientados pelo professor para que haja um debate na busca de um melhor entendimento de como a Ciência funciona. Posteriormente, irão ler um texto de divulgação científica no qual serão levados a terem um breve entendimento, por meio de uma discussão, sobre o ‘método científico’¹ de forma contextualizada. Por fim, responderão a uma ficha de avaliação como forma de coletar dados.

Figura 3. A natureza da Ciência.



¹ Pessoal, não há um Método Científico. Vamos considerar aqui como possibilidade o método inaugurado no século XVII d.C. por Galileu. Os filósofos da ciência do século XX d.C. consideram esta uma possibilidade aceitável. Mas isso não é uma unanimidade.

Fonte: <<https://artedafisicapid.blogspot.com/2019/12/tirinhas-para-ensino-de-fisica.html>>.

Questões

1. Você poderia fazer um comentário sobre a figura anterior?

2. Fale um pouco sobre a natureza da ciência e suas características.

Figura 4. Observação e levantamento de hipóteses.



Fonte: <<https://dragoesdegaragem.com/cientirinhas/cientirinhas-75/>>.

Questões

1. Comente a primeira 'tirinha'.

Figura 5. A relação entre a Ciência e a Religião.



Fonte: <<https://cursoenemgratuito.com.br/filosofia-da-ciencia/>>.

2. Comente a segunda 'tirinha'.

Dando continuidade a nossa investigação, um texto de divulgação científica será repassado de forma a contextualizar a Ciência e o uso do 'método científico'. O texto terá o seguinte título: "Por que a pipoca 'poca'?"

É importante ressaltar que esse texto foi escolhido com o intuito de fazer com que vocês vejam como a investigação científica está muito próxima do nosso cotidiano. Ao lerem o texto poderão perceber que uma simples pipoca está totalmente envolvida com uma construção científica e que, neste caso, especificamente, a pesquisa foi feita por professores/cientistas que trabalharam em nossa cidade, na UENF (Universidade Estadual do Norte Fluminense) e coube premiação aos cientistas envolvidos, publicado numa revista mundialmente conhecida, a *Nature*. Repare como é importante a comunicação veiculada entre os cientistas, o artigo científico, no qual eles descrevem suas pesquisas e as tornam acessíveis.

Figura 6. Texto de divulgação científica sobre a pipoca.

Ciência para todos

Agradecemos sua ajuda para conservar este texto que também está disponível em www.ufmg.br/cienciaparatodos

POR QUE A PIPOCA POCA?

Na hora de se ver um filme, seja no cinema, seja na TV, uma coisa é indispensável: a pipoca! Basta pegar grãos de milho, aquecer um pouquinho, ouvir muitos estouros e, num passe de mágica, temos uma panela transbordando de pipoca!

O nome pipoca vem do Tupi e quer dizer "pele estourada". Mas por que a pipoca "estoura"? Isso acontece porque o calor do fogo ou do micro-ondas faz com que a água – que está acumulada no interior do grão de milho – seja transformada em vapor. Isso aumenta a pressão interna do grão e ele acaba estourando e liberando seu próprio conteúdo interno, que é feito em grande parte de amido e fibras.

Você pode achar estranho, mas cientistas do mundo todo pesquisam os vários aspectos da pipoca, desde o melhoramento da qualidade do milho até a forma ideal de torná-la maior e mais branquinha.

Mas saiba que foram cientistas brasileiros que descobriram – na década de 90, usando complicadas fórmulas e experimentos de física – que o milho de pipoca poca porque sua casca é quatro vezes mais dura que a de outros tipos de milho.

Agora você já sabe que o "truque" mágico da pipoca é pura ciência!

Texto originalmente escrito por **Diego Dias** para o programa **Na Onda da Vida**, da **Rádio UFMG Educativa FM 104,5** e adaptado por **Adlane Vilas-Boas**.

    **UFMG**

31 | 5409 8447
www.ufmg.br/cienciaparatodos
www.belo Horizonte.com.br
taufetxboas@gmail.com

10 | 9ª etapa
Ilustração por Lucas Martins Fernandes

Fonte: <www.ufmg.br/cienciaparatodos>.

Agora vamos pensar um pouco mais...

Podem sentar-se em grupos de três alunos.

Para você, o que motivou esse questionamento?

O conhecimento desejado foi descoberto ou construído?

Depende apenas do experimento ou necessitou de um embasamento teórico?

O escritor já tinha um conhecimento sobre o assunto ou simplesmente ‘descobriu’ a resposta?

Questão

Escreva o que você debateu com os colegas.

Após conseguir a resposta desejada, você acredita que o conhecimento deve ser cessado ou outros questionamentos podem surgir? Podem surgir novas explicações sobre o assunto?

Após essa reflexão e debate sobre o texto, podemos perceber que a Ciência está presente em nosso cotidiano, em cada detalhe. Sendo assim, cabe a nós buscar entender como ela funciona e como os cientistas pensam durante o processo de construção do conhecimento científico.

Figura 7. Método e Conhecimento Científico.



Fonte: <<https://sinodalciencias.wordpress.com/2019/02/27/60-anos-metodo-cientifico/>>.

Terceira Etapa Investigativa
Vídeo/Slides/Debate/Questões
Problematização: Estrutura da Matéria

Problematização: Quais são os “tijolos” fundamentais da matéria? Ou De que são feitas as coisas?

Esta terceira etapa investigativa terá o objetivo de aproximar um pouco vocês do mundo invisível que nos cerca, o mundo das partículas atômicas. Será lançada inicialmente a problematização acerca da estrutura da matéria. Antes de tentar responder esse questionamento, iremos assistir a um vídeo, no qual poderão observar um fenômeno muito conhecido: os fogos de artifício.

Figura 8. A queima de fogos mais bonita do mundo.



Fonte: <https://youtu.be/71dE7KQcbyI> .

O que vem à sua mente ao ver o vídeo? Mais uma vez podemos perceber a importância da Ciência para as nossas vidas e para toda a sociedade. Responda, em grupos de três, as seguintes questões:

Questões

1. Do que são feitos os fogos de artifício?

2. O que permite o surgimento das diversas cores?

3. Que ideia científica está relacionada ao vídeo assistido?

4. Essa ideia surgiu com o intuito de contribuir para a sociedade de que forma?

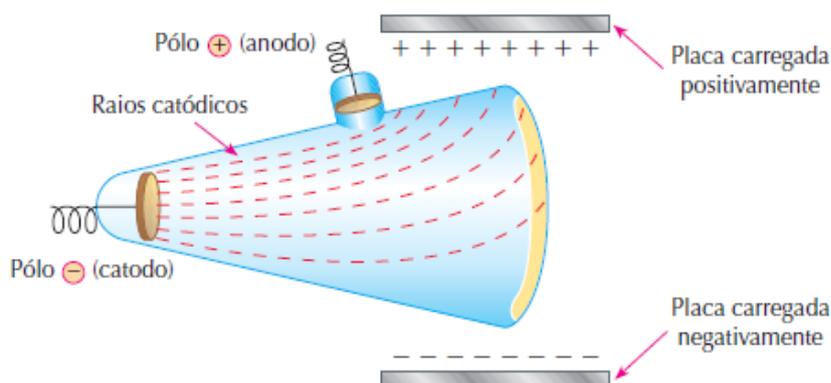
Neste momento vocês podem ficar em grupos de 3 para discutirem e exporem suas respostas e hipóteses sobre o tema apresentado, registrando também de forma escrita. Não se preocupem com as questões 3 e 4! Não é simples imaginar do que estão falando.

Após a resolução das questões e indicação dos pontos mais relevantes, é reservado um momento de discussão, um debate guiado pelo professor, no qual vocês poderão ter suas concepções confrontadas, com o intuito de checar e ‘corrigir’ as mesmas, caso seja necessário. O professor ajudará vocês a avançar um pouco, mas ele está proibido de dar respostas. Não se preocupem, mais adiante tudo será solucionado.

Episódio histórico I: o experimento de J. J. Thomson

Vamos agora adentrar um pouco mais no conhecimento do mundo invisível, entender sobre a constituição de tudo que existe. Vamos abordar o início da construção dos primeiros modelos atômicos, por meio de um episódio histórico acerca do ‘descobrimento’ de ‘coisas’ muito importantes.

Figura 9. Experimento de Thomson.



Fonte: Feltre (2005, p. 76).

Especificamente, relata-se que dentro da ampola de vidro com pressão reduzida, continha um gás rarefeito que apresentava um padrão de fluorescência na presença de uma diferença de potencial ('voltagem'). Deduziu-se que esse brilho era oriundo de um tipo de raio emitido pelo catodo e, por isso, são denominados de raios catódicos. Percebemos algo importante sobre esses raios: repare que eles estão se dirigindo para um lugar específico no experimento... essa movimentação poderá ser também visualizada num GIF que será exposto pela professora. Enfim, não posso falar muito, pois vou dizer 'coisas' que vocês devem deduzir, primeiramente, sozinhos. Não se preocupem, tudo será esclarecido depois.

Questão

5. Diante do experimento exposto e dos breves comentários do professor, tente explicar o que você está entendendo sobre ele. Pode incluir nos seus comentários assuntos debatidos anteriormente.

No próximo encontro teremos mais informações sobre tudo que estamos vendo. Não percam a próxima aula!

Quarta etapa investigativa

Leitura de um episódio histórico/Pesquisa *on-line*/Atividade

Nesta etapa nós adentraremos um pouco na história acerca da estrutura da matéria. Faremos uma leitura do recorte de artigo a seguir que nos levará a uma consolidação da construção dos dois primeiros modelos atômicos.

Episódio histórico I: J. J. Thomson

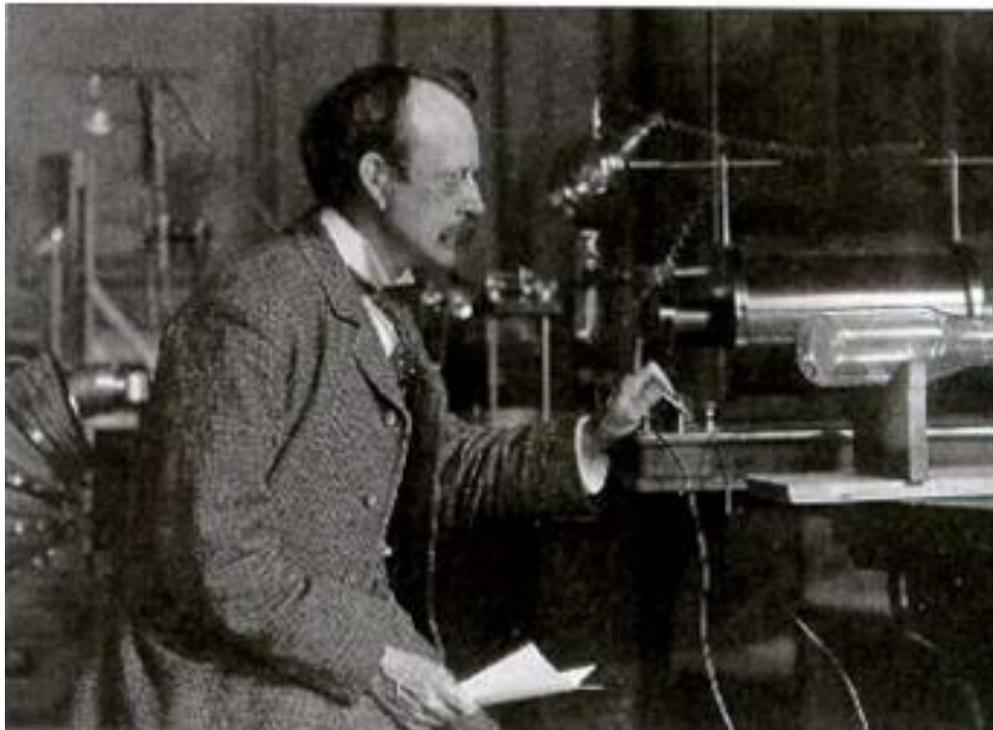
Em 1940, Thomson [cf. J. J. Thomson, “Recolections and Reflections”, N.Y. The Macmillan Company (1937) p. 338] escrevia em sua autobiografia: “Após demorada consideração sobre os experimentos, pareceu-me que não havia como escapar das seguintes conclusões: 1) Que os átomos não são indivisíveis, pois partículas negativamente eletrizadas podem ser arrancadas deles pela ação das forças elétricas [...]; 2) Que essas partículas são todas de mesma massa e carregam a mesma carga de eletricidade negativa, qualquer que seja a espécie de átomo de que derivem, e são constituintes de todos os átomos; 3) Que a massa dessas partículas “é menor que a milionésima parte da massa do átomo de hidrogênio [...]. No início, denominei essas partículas de corpúsculos, mas agora são chamadas mais apropriadamente de elétrons.” (SILVA; SILVA, 2021, p. 5)².

Cabe ressaltar que no século VI (a.C.) o filósofo grego Tales de Mileto (625-546 a.C.), ao atritar um bastão de âmbar (uma resina) com um tecido ou pele de animal, percebeu que o âmbar passava a atrair objetos leves, como folhas secas, fragmentos de palha, etc. Daí surgiu o termo eletricidade, derivado de *elektron*, palavra grega que significa âmbar (FELTRE, 2005, p. 75).

Thomson fez a primeira comunicação oficial da existência deste corpúsculo em 27 de abril de 1897, cujo resumo foi publicado no *Electrician*, May 21, 1897. O texto completo foi publicado no *Philosophical Magazine*, outubro, 1897. Com este “corpúsculo”, diz-se que J.J. Thomson abriu a porta para a Física do século XX (Ibid.).

² SILVA, K. M. O.; SILVA, O. *Dos atomistas ao átomo moderno: Um resgate histórico da evolução dos modelos atômicos*. Instituto Federal de Pernambuco *campus* Pesqueira. Curso de Licenciatura em Física. 2021. Disponível em: <<https://repositorio.ifpe.edu.br/xmlui/bitstream/handle/>>.

Figura 10. J.J.Thomson em seu laboratório em Cavendish.



Fonte: Atkins, Jones e Laverman (2018, p. 2)³.

Questões

1. Escreva um pouco sobre o experimento de Thomson.

2. Antes de Thomson havia algum modelo atômico já proposto por algum pensador (pode consultar seu *smartphone*)? Só para isso! (rsrsrsrs)

³ ATKINS, P.; JONES, L.; LAVERMAN, L. Princípios de química: questionando a vida moderna e o meio ambiente. Oficina temática: uma proposta metodológica para o ensino do modelo atômico de Bohr. *Ciência & Educação*, 20 (02), 481-495, 2018.

3. De que forma o uso de experimentação é um fator importante na construção do Conhecimento Científico?

4. Que momento histórico estava ligado a essa descoberta? Qual era a necessidade social ou política daquele momento que influenciou essa descoberta?

Quinta Etapa Investigativa

Aula expositiva dialogada/Debate

Então pessoal, nesse momento nós iremos adentrar com mais profundidade no mundo invisível dos átomos que nos cercam. Para isso vamos fazer um breve resumo do surgimento da teoria atomística e sua evolução ao longo da história, bem como a sua influência na sociedade da época.

Agora responda:

1. O que é um átomo?

2. Qual seria o tamanho de um átomo?

3. O significado da palavra átomo é “indivisível”. Você concorda com essa afirmação após analisar os estudos de Thomson?

Agora, saibam que o objetivo é atentar vocês para o mundo micro, das coisas ‘infinitamente’ pequenas, invisíveis a olho nu.

Partiremos para a nossa aula expositiva utilizando *slides* e durante a apresentação será valorizada a participação de vocês, caso tenham algum questionamento ou dúvidas que possivelmente irão surgir, podemos falar sobre o assunto.

A seguir serão fornecidos os *prints* dos *slides* da aula expositiva dialogada como forma de facilitar o estudo e acesso dos alunos. Caso haja a possibilidade de utilização de um sala multimídia, o professor e os alunos podem utilizar o *link*: https://www.canva.com/design/DAFaw30Fyz8/6YGI7Y62RHmmkCfVHBlgoQ/edit?utm_content=DAFaw30Fyz8&utm_campaign=designshare&utm_medium=link2&utm_source=sharebutton, para terem acesso à aula.

Figura 11. Slide 1 – Apresentação



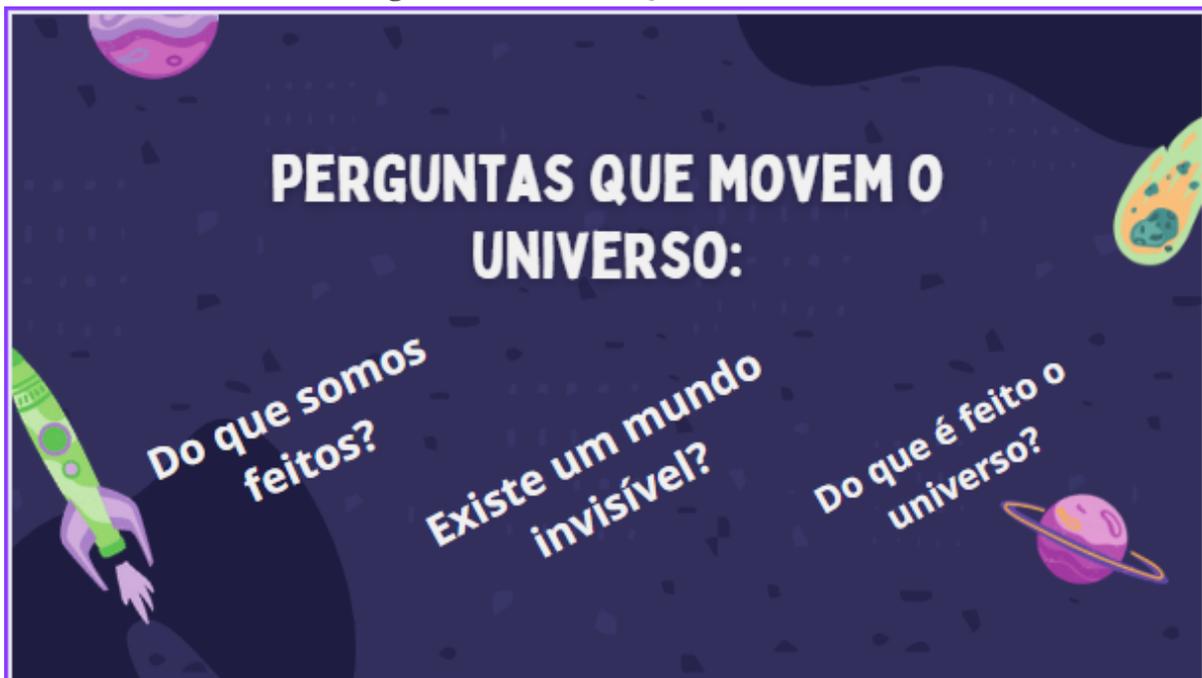
Fonte: elaboração própria.

Figura 12. Slide 2 – Título



Fonte: elaboração própria.

Figura 13. Slide 3 – Questionamentos.



Fonte: elaboração própria.

Figura 14. Slide 4 – Átomos do cotidiano.



Fonte: elaboração própria.

Figura 15. Slide 5 – Os atomistas gregos.

O QUE EXISTIA ...

Filósofos gregos (Leucipo e Demócrito- 400a.C.): surge o conceito (sem experimentação) de átomo como a menor partícula indivisível;

Aristóteles fez este conceito sumir por cerca de 1500 anos ao defender que tudo era formado por quatro elementos (Terra, Fogo, Água e Ar);

LEUCIPO: O QUE ACONTECERÁ SE DIVIDIRMOS CONTINUAMENTE A MATÉRIA?

ORA DEMÓCRITO, NA MINHA OPINIÃO, CHEGAREMOS A UMA PARTÍCULA INDIVISÍVEL, OU SEJA, O ÁTOMO.

Fonte: elaboração própria.

Figura 16. Slide 6 – O primeiro modelo atômico.

DALTON (1800) FEZ RESSURGIR A TEORIA ATOMÍSTICA QUE HAVIA FICADO ADORMECIDA POR MUITOS SÉCULOS, ASSIM DESCREVEU O ÁTOMO COMO UMA "PARTÍCULA MÓVEL SÓLIDA, MACIÇA, DURA E IMPENETRÁVEL".

Curiosidade: Dalton descreveu o fenômeno da cegueira congênita para as cores, que se verifica em alguns indivíduos, o daltonismo.

Elemento	Símbolo alquímico	Dalton	
		Nome em inglês	Símbolo em inglês
Ouro	☉	Gold	(G)
Prata	☾	Silver	(S)
Ferro	♂	Iron	(I)
Cobre	♀	Copper	(C)

FALHA: Não previu a existência de partículas subatômicas.

Fonte: elaboração própria.

Figura 17. Slide 7 – A descoberta de Thomson.

O QUE SABEMOS ATÉ AQUI?

J. J. THONSON FEZ EXPERIMENTOS E CONSTATOU QUE NUMA PASSAGEM DE CORRENTE ELÉTRICA NUM GÁS RAREFEITO SAI ALGUM TIPO DE RADIAÇÃO DO ELETRODO NEGATIVO (CÁTODO) PARA O ELETRODO POSITIVO (ÂNODO). ISTO INDICA QUE SE TRATA DE PARTÍCULAS NEGATIVAS OPRESENTES NO GÁS, QUE SE AFASTAM DE UM BASTÃO ATRITADO E POR ISSO CARREGADO NEGATIVAMENTE. FÓI ELE QUEM INVENTOU O NOME DE RAIOS CATÓDICOS.

A partir desse experimento Thomson consegue estimar a relação carga/massa dessa partícula de carga negativa e propôs em 1897 o modelo atômico que ficou conhecido como PUDIM DE AMEIXAS.

Fonte: elaboração própria.

Para finalizarmos nossa aula de hoje, respondam as questões a seguir:

Questões

1. Quais modelos atômicos você conheceu? Poderia enumerar e explicar cada um?

2. Você acredita que esses modelos representam a ciência hoje? Comente.

3. Sabendo que Dalton propôs o modelo de esfera maciça para o átomo, enquanto Thomson relatou uma esfera com carga positiva uniforme e carga elétrica negativa encrustados nela, faça um desenho que demonstre esses dois modelos.



Sexta Etapa Investigativa

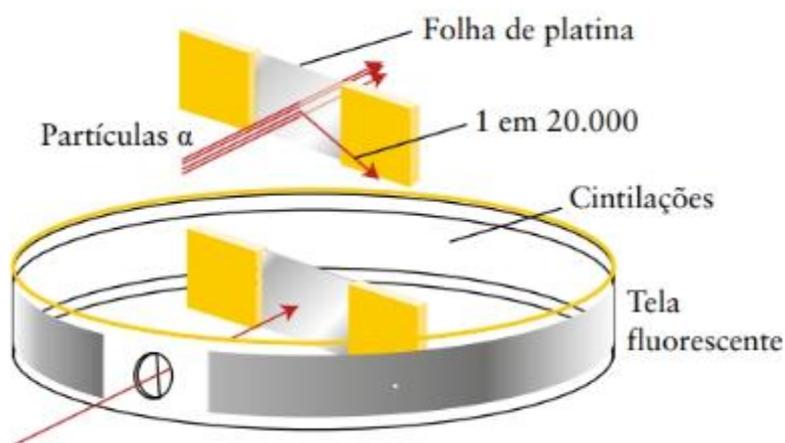
Leitura/Debate/Confecção de cartaz

Episódio histórico II: Rutherford e a busca pelo centro de tudo

Neste momento, buscando entender a evolução científica que girava em torno da estrutura da matéria, como forma de solucionar a milenar discussão em torno da constituição de todas as coisas, iremos adentrar na história de Rutherford.

Num experimento marcante para a época e que seria considerado de suma importância no estudo acerca da estrutura da matéria, ele orientou dois de seus estudantes, Hans Geiger (1882-1945) e Ernest Marsden (1889-1970), que fizessem passar um feixe de partículas através de uma folha de platina muito fina, cuja espessura era de apenas uns poucos átomos, como demonstrado na figura a seguir.

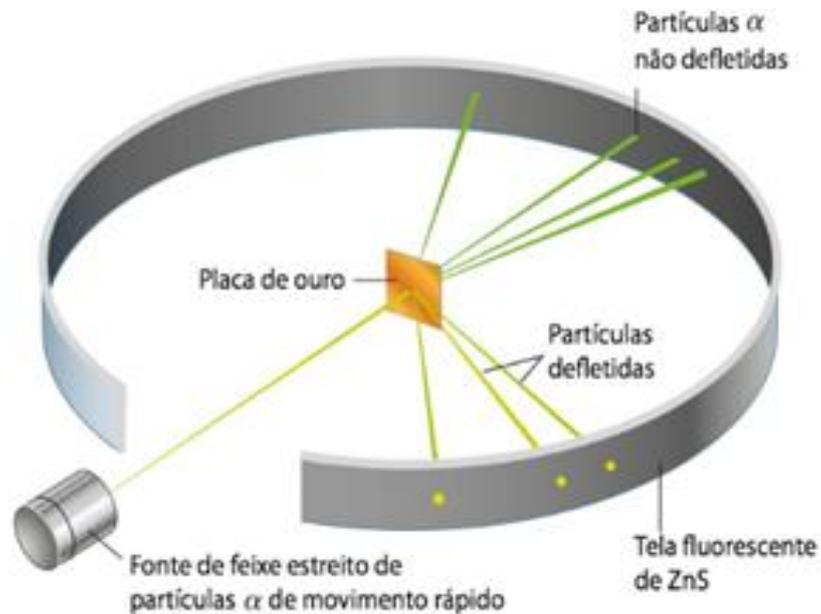
Figura 18. Experimento usado por Geiger e Marsden.



Fonte: Atkins, Jones e Laverman (2018, p. 3).

No experimento, as partículas α (alfa) vinham de uma amostra do gás radioativo radônio e passavam por um furo para uma câmara cilíndrica com uma cobertura interna de sulfeto de zinco. Ele propunha que se os átomos fossem realmente uma gota de gelatina com carga positiva, as partículas α passariam facilmente pela carga positiva difusa da folha, com pequenos e raros desvios em sua trajetória. As observações de Geiger e Marsden ‘espantaram’ a todos, pois verificaram que as partículas α se chocavam contra a folha de platina que, posteriormente, foi substituída por uma folha de ouro, montada no interior do cilindro e os desvios eram medidos pela emissão de luz (cintilação) provocada na cobertura interna.

Figura 19. Experimento de Rutherford com uma folha de ouro.



Fonte: Vieira (2011, p. 1).

Cerca de 1 em cada 20.000 partículas sofria um desvio muito grande, embora a maioria passasse pela folha quase sem desvios. Foi “quase inacreditável”, declarou Rutherford, “foi como se você disparasse uma bala de canhão de 15 polegadas contra um lenço de papel e ela rebatesse e o atingisse” (Atkins; Jones; Laverman, 2018, p. 3).

Questão

1. Diante do experimento exposto e dos breves comentários do professor, tente explicar o que você está entendendo sobre ele. Pode incluir nos seus comentários e assuntos debatidos anteriormente.

Segundo Vieira (2011, p. 1)⁴, Rutherford será sempre lembrado como aquele que escavou o átomo a fundo. O cenário histórico da época era marcado pela unificação das ciências físicas que buscava uma única visão do mundo, unindo os fenômenos macroscópicos e microscópicos, sendo que havia ainda uma percepção pela valorização das colaborações científicas. Nessa altura, haviam sido descobertos os elétrons, como estudamos a pouco, além do RX e do fenômeno da radioatividade, que ele também se dedicou mesmo com pouquíssima bibliografia sobre o tema. De certa forma, a busca por entender essa radiação liberada pelos átomos intrigava os químicos e físicos da época. Depois retornaremos ao tema.

Segundo Kraisig *et al.* (2018, p. 5)⁵, “o tempo histórico em que a evolução dos modelos atômicos acontece deve ser enfatizado a cada novo modelo a ser estudado, de forma a demonstrar aos estudantes que a ciência é uma construção histórica, em constante transformação”.

Até agora, buscando responder à pergunta problematizadora, temos que os tijolos do universo são átomos que possuem partículas fundamentais, os elétrons. Com os estudos de Rutherford e outros colaboradores, essa visão será amplificada. De posse do recorte de um folder que foi produzido no centenário da descoberta de Rutherford, pelo CBPF, vocês poderão compreender a epistemologia em torno da estruturação de seu modelo atômico. Antes disso, será exposta também uma imagem, com auxílio do *Datashow*, do experimento feito por Rutherford e seus colaboradores. Como atividade avaliativa, vocês deverão se reunir nos mesmos grupos para construir também um cartaz para ser colocado em exposição na escola, propondo a descrição dos modelos atômicos e suas devidas contribuições para a sociedade da época.

⁴ VIEIRA, C. L. O centro de todas as coisas. Um século da descoberta do núcleo atômico. *Projeto Desafios da Física*. Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas, Rio de Janeiro, 2011. Disponível em: <https://www.cbpf.br/~desafios/media/baixa_res/Folder_Nucleo_Atomico_BaixaRes.pdf>.

⁵ KRAISIG, G. A. R.; KLEIN, S. G.; VIEIRA, V. V.; ROSA, V. M.; GARCIA, I. K. Proposta Didática para o ensino de modelos atômicos no Ensino Médio. *Encontro de Debates sobre o Ensino de Química*, Canoas-RS, 2018.

Figura 20. Recorte de folder de 100 anos da descoberta do núcleo atômico.

NO CANADÁ

Teoria da transmutação • Sem perspectivas de obter colocação acadêmica em Cambridge, Rutherford se transferiu, em 1898, para a Universidade McGill, em Montreal (Canadá), onde permaneceu por nove anos. Lá, descobriu um gás nobre, radioativo, mais tarde denominado radônio. Quatro anos depois, ele e o químico inglês Frederick Soddy (1877-1956) descobriram que um elemento se transforma – ou decai, ou transmuta – em outro em decorrência da emissão espontânea de raios alfa ou beta, teoria batizada transmutação dos elementos radioativos.

Carga positiva • Rutherford concluiu que as partículas alfa emitidas pelo rádio ou radônio tinham carga elétrica positiva, por causa dos desvios observados quando elas passavam em regiões de campos elétricos fortes.

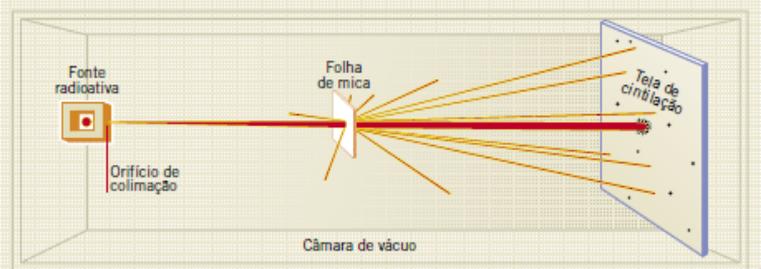
Mancha mal definida • Também em Montreal, Rutherford observou que raios alfa estavam sendo ligeiramente desviados de sua direção inicial quando passavam através de folhas de mica muito finas (cerca de três centésimos de milímetro), uma vez que um feixe delas acabava por produzir uma mancha mal definida em um filme fotográfico. Essa observação ocupou a mente de Rutherford por quatro anos e foi crucial para a descoberta do núcleo.

PARTÍCULAS ALFA

Contando raios alfa • Já mundialmente famoso por seus estudos sobre radioatividade, Rutherford volta à Inglaterra em 1907. Está agora na Universidade de Manchester, onde se cercou de colaboradores jovens e talentosos. Ele e seu novo assistente, o físico alemão Hans Geiger (1882-1945), tomaram conhecimento, em 1908, de que era possível visualizar sinais luminosos (cintilações) produzidos por raios alfa quando estes atingiam uma tela revestida com sulfeto de zinco (sal luminescente). A partir desse fenômeno, desenvolveram um método simples e bem sucedido de contagem de partículas alfa que se tornou a ferramenta principal em experimentos que envolviam detecção desse tipo de radiação.

Hélio sem elétrons • Em 1909, com a ajuda do físico inglês Thomas Royds (1884-1955), Rutherford identificou definitivamente os raios alfa como sendo átomos do gás hélio que perderam seus dois elétrons – portanto, íons de carga elétrica dupla e positiva.

Bordas sem definição • Quando ainda em Montreal, as pequenas deflexões observadas com folhas de mica voltariam a ser tema de investigação. Rutherford e seus assistentes observaram que, quando uma folha finíssima de mica era interposta entre um feixe de partículas alfa e uma tela de sulfeto de zinco, a região nesta última onde ocorriam as cintilações se tornava maior, com bordas não bem definidas, mostrando que parte das partículas alfa era desviada de sua direção original. Essa deflexão era intrigante.



Fonte: Folder CBPF (2011)

(file:///C:/Users/Usu%C3%A1rio/Downloads/Folder_Nucleo_Atomico_AltaRes.pdf).

Figura 21. Radioatividade e radiação.

RADIAÇÕES E RADIOATIVIDADE

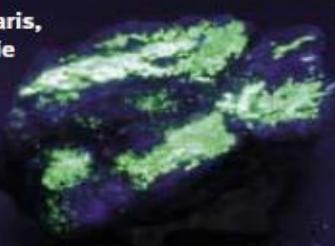
Perplexidade e ceticismo • No final do século 19, a descoberta de novos fenômenos causou perplexidade (e até ceticismo) nos cientistas da época. Uma delas foi feita, em 1896, pelo físico francês Antoine Henri Becquerel (1852-1908), que anunciou a existência de radiações emitidas pelos sais de urânio, com características no mínimo estranhas: eram invisíveis, espontâneas e de origem desconhecida. Atravessavam corpos opacos à luz e deixavam marcas em placas fotográficas. Eram também encontradas no elemento químico tório e em seus sais.

Rádio e polônio • Em Paris, o físico francês Pierre Curie (1859-1906) e sua mulher, a física e química polonesa Marie Skłodowska Curie (1867-1934), se dedicaram ao estudo das radiações, chegando a descobrir, em 1898, dois novos

elementos químicos, por eles batizados rádio e polônio, ambos fortemente emissores de radiações – daí denominados radioativos.

Rumo à Europa • Com uma bolsa de estudos, o jovem Rutherford chegou, em 1895, à Universidade de Cambridge (Inglaterra), para trabalhar sob a tutela do físico inglês Joseph John Thomson (1856-1940), que, dois anos depois, descobriria a primeira partícula subatômica, o elétron.

Alfa e beta • Rutherford se dedicou ao estudo das radiações do urânio e mostrou, em 1898, que esse elemento emitia dois tipos de radiação, ambas de natureza corpuscular. Deu a elas o nome raios alfa (os facilmente absorvidos) e beta (aqueles com maior poder de penetração). Em Paris, Becquerel, entusiasmado com as novidades no campo das radiações, conseguiu demonstrar, em 1900, que os raios beta eram, na verdade, elétrons energéticos.



Fonte: CBPF (2011).

Figura 22. Experimento de Rutherford.

EXPERIMENTO ENGENHOSO

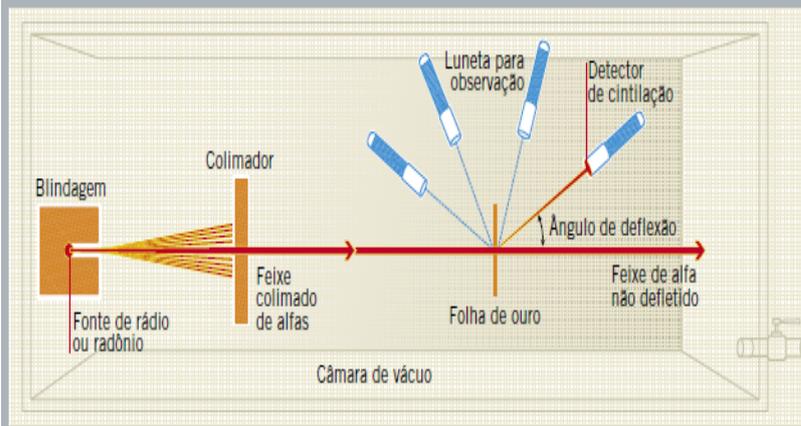
Alvo de ouro • Em 1909, Rutherford incumbiu um jovem estudante, o físico anglo-neozelandês Ernest Marsden (1889-1970), de procurar por partículas alfa defletidas em ângulos bem maiores que uns 10 graus. Marsden, no lugar da mica, usou folhas finíssimas de ouro. Para detectar alfas, montou uma tela com sulfeto de zinco que podia se mover em todas as direções em torno do centro das deflexões das partículas alfa.

Com auxílio de uma luneta focalizada sobre a tela, era possível observar, em uma sala escura, os pontos luminosos individualizados, resultado da colisão das partículas alfa contra a tela. Com esse instrumento, Marsden podia contar o número de alfas em determinado ângulo de desvio em relação à direção de incidência.

Perplexidade de todos • Para perplexidade de todos, Marsden descobriu que umas poucas partículas alfa eram lançadas para trás, atingindo a tela de cintilações perto da região da fonte. Essas partículas estavam sen-

do desviadas por um ângulo bem maior que 90 graus, ou seja, elas estavam sendo literalmente refletidas por uma finíssima folha de ouro.

Pudim de passas • Rutherford e Geiger conseguiram demonstrar que, se o modelo atômico de Thomson (aquele do **“pudim de passas”**) estivesse correto, o número de partículas alfa desviadas em ângulos maiores do que cerca de 10 graus iria se tornar nulo – o que contradizia as observações. O modelo de Thomson implicava que uma partícula alfa, ao atravessar uma folha finíssima de algum material, sofreria deflexões múltiplas, isto é, vários pequenos desvios por causa das colisões contra as cargas positivas (no caso, o substrato do pudim) e os elétrons dos átomos das várias camadas que compunham a finíssima lâmina. Então, a partícula alfa sairia, do outro lado, praticamente na direção de incidência sobre a folha, com desvios não maiores do que uns 3 graus. Essa descrição não conseguia dar conta de explicar os grandes e raros desvios observados por Marsden – tão pouco os raríssimos retroespalhamentos.



Fonte: Folder CBPF (2011).

Cabe ressaltar que, com a descoberta do núcleo atômico, bem como as partículas que o compõem, nasceram os estudos da Física Nuclear.

Sétima etapa investigativa

Aula experimental (virtual e físico)

Bem pessoal, agora vamos trabalhar os conceitos vistos nas etapas anteriores numa atividade experimental. O primeiro passo será com o *netbook* para a utilização do simulador *Phet* (https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/build-an-atom), no qual será possível montar átomos, visualizar a sua estrutura e as partículas que o compõem. Veja a seguir algumas etapas deste momento.

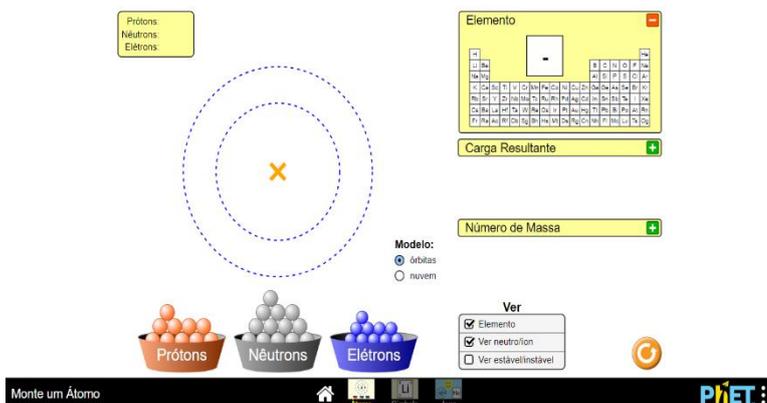
Seria interessante, antes de iniciarmos a atividade, vocês manusearem o simulador e tentarem verificar algumas ferramentas que ele proporciona na temática que estamos estudando. Quem sabe vocês conseguem criar um roteiro bastante atrativo.

Experimento 1

Percebam que na página inicial do simulador (Figura a seguir), ao clicar na guia átomo, você poderá ter acesso à estrutura e posterior montagem de qualquer elemento químico (átomo), os prótons, elétrons e nêutrons que fazem parte da estrutura do átomo. Percebemos também que os átomos possuem uma parte central na qual estão presentes prótons e nêutrons e uma parte externa onde podemos encontrar uma partícula elementar muito importante: os elétrons.

Sendo assim, aparecerá na tela a estrutura do átomo de Bohr (não realista) contendo o núcleo (parte central) no qual deverão ser inseridos os prótons e nêutrons, conforme aprendemos nas etapas anteriores, e as órbitas circulares onde devem ser colocados os elétrons.

Figura 23. Página inicial do simulador.



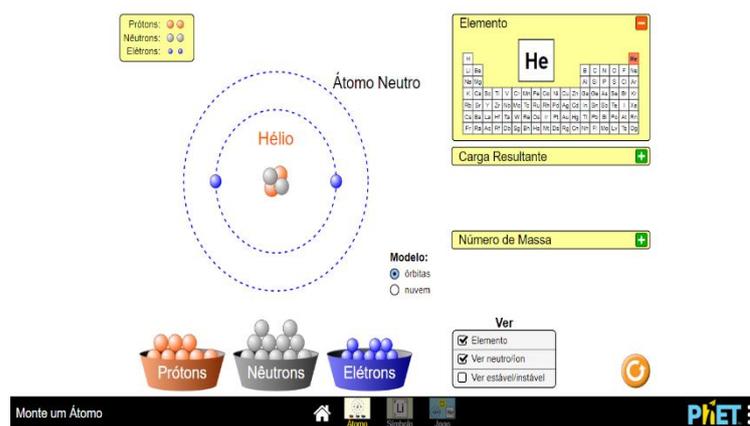
Fonte: <https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/build-an-atom>.

Perceba que a cada próton inserido no núcleo, o símbolo do elemento ficará em destaque na pequena tabela periódica presente no lado direito da tela. Para inserir o próton, basta clicar

nas esferas de cor vermelha e arrastá-las, levando-as até a parte central do átomo que está indicada por um x (letra x). O mesmo critério funciona para os nêutrons e elétrons.

A próxima figura demonstra a estrutura do átomo neutro de Hélio, o qual possui dois prótons (duas esferas vermelhas), dois nêutrons (duas esferas de cor cinza) e duas esferas azuis que representam os elétrons. É interessante notar que, ao tentar colocar o segundo elétron, mesmo que você tente colocá-lo na segunda órbita, a partícula irá se deslocar automaticamente para completar a primeira órbita, um conceito importante desse modelo atômico.

Figura 24. Representação do átomo de Hélio em seu estado neutro.



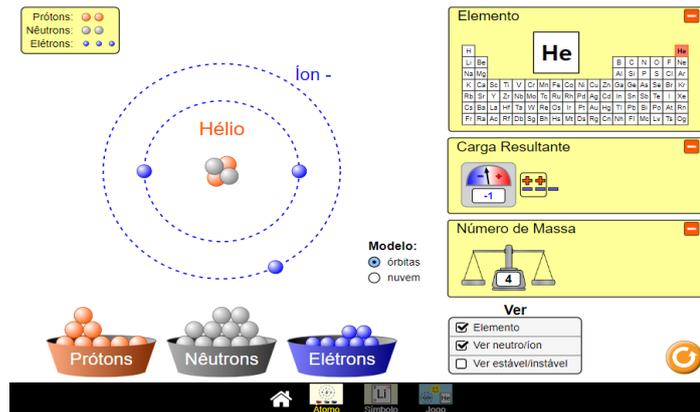
Fonte: <https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/build-an-atom>.

Esse momento é de grande importância, pois vários conceitos poderão ser trabalhados, tais como: a neutralidade dos átomos, sua estabilidade, a semelhança entre os átomos, o conceito de íons, a carga resultante, a massa atômica resultante do número de partículas contidas no núcleo. Percebam que os átomos dos elementos químicos serão identificados à medida que os prótons são colocados no núcleo, conforme a ilustração a seguir.

Perceba que, se mais elétrons forem adicionados na camada externa, será possível verificar o mesmo elemento em forma de íon, como também identificar que a carga resultante foi alterada. Assim, a cada acréscimo de partículas, os átomos vão sendo modificados.

Para montar o íon do átomo de Hélio é necessário acrescentar mais um elétron na segunda camada (órbita) clicando na esfera azul e arrastando até a camada externa e, assim, o simulador irá identificar o íon formado, já que o número de partículas positivas (prótons) estará diferente do número de partículas negativas (elétrons), como nos mostra a figura a seguir.

Figura 25. Simulador *Phet*: átomo de Hélio em forma de íon.

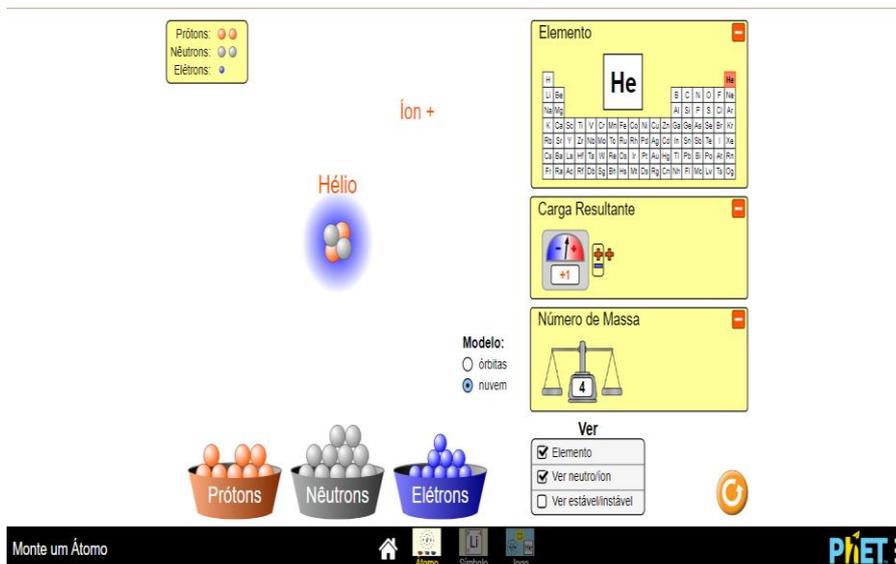


Fonte: <https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/build-an-atom>.

Uma importante observação a ser feita está na localização do elétron, que pode ser representado como órbitas, seguindo o modelo de Rutherford-Bohr ou, de forma mais atualizada e realista, observando-os na nuvem eletrônica, como propõe a mecânica quântica.

Note na figura seguinte, que a única mudança na representação do íon do átomo de Hélio está no modelo exposto da eletrosfera, que agora está representada em forma de nuvem eletrônica em torno do núcleo, o que torna esse modelo mais realista, pois assim, a posição dos elétrons não pode ser determinada com precisão, como propõe o modelo quântico atual.

Figura 26. Simulador *Phet*: elétrons representados em forma de nuvem eletrônica.



Fonte: <https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/build-an-atom>.

Questões

1. Faça um breve relatório do experimento anterior, destacando os pontos principais.

2. Repararam que usamos a expressão ‘modelo de Rutherford-Bohr’? Poderia descrever esse modelo? Pode pesquisar na web.

3. Qual modelo atômico pode ser utilizado para representar com maior fidelidade a estrutura de um átomo: o modelo de orbitais ou de nuvem eletrônica? Justifique.

Após o uso do simulador, vamos continuar trabalhando o conceito de átomos e a sua constituição por meio de um experimento chamado de Teste da Chama.

Durante este experimento vamos apresentar o modelo atômico de Bohr e entender como ocorre o aparecimento das várias cores de forma mais simplificada.

Experimento 2⁶

Roteiro do experimento: teste da chama

- Material necessário:

Vários tipos de sais ou metais (Ex: cloreto de sódio, sulfato de cobre, cloreto de estrôncio, fita de magnésio e etc);

Álcool etílico;

Algodão;

Lamparina confeccionada de lata de alumínio ou lamparina a álcool;

Copos descartáveis para a dissolução dos sais;

Uma pinça grande que será utilizada para segurar o algodão em chamas;

Caixa de Fósforo.

- Procedimento:

- 1- Separe a quantidade de copos descartáveis de acordo com a quantidade de sais que estão sendo disponibilizados;
- 2- Coloque uma medida de água e duas de álcool para dissolver uma colher de chá de cada sal;
- 3- Mergulhe uma bolinha de algodão em cada copo contendo o sal dissolvido;
- 4- Pegue a lamparina, coloque álcool com cuidado e acenda;
- 5- Com o auxílio de uma pinça, pegue cada algodão retirando o excesso da mistura e coloque na lamparina. Observe a cor resultante do aquecimento e anote em sua ficha de acompanhamento, identificando cada sal. Lembre-se de lavar a pinça em água quando for pegar cada algodão, pois estará contaminada;
- 6- Por fim, ainda pode ser feita uma queima de todos os algodões ao mesmo tempo na sala de aula ou laboratório, tornando o ambiente mais escuro possível.

Atenção professor: é importante estar atento à temperatura necessária para que ocorra a queima dos elementos químicos presentes nos materiais a serem queimados e, se necessário, faça a devida adequação para que as cores expostas por cada elemento sejam visualizadas de forma clara utilizando sais variados. Em laboratórios que possuem bicos de Bunsen, não há a necessidade de utilizar lamparinas, já que os sais podem ser queimados de forma direta.

⁶ Este experimento só pode ser realizado sob a supervisão do professor. Caso seja necessário, os materiais orgânicos podem ser substituídos por sais de metais, que podem ser queimados diretamente e embebidos em álcool etílico apoiados em placas de vidro, assim como foi feito nessa pesquisa.

Utilizando a tabela descrita a seguir, vai ser possível identificar qual metal está presente no sal ou de forma sólida, de acordo com a cor da luz emitida.

Cátion presente no sal	Cor da chama
Na ⁺	Amarelo
K ⁺	Lilás
Ca ²⁺	Vermelho tijolo
Sr ²⁺	Vermelho carmim
Ba ²⁺	Verde claro fugaz
Cu ²⁺	Verde azulado
Pb ²⁺	Acinzentado
Zn ²⁺	Verde
Bi ³⁺	Azul

Alguns conceitos importantes, pertencentes tanto a Ciência Química quanto a Física, poderão ser abordados de forma simplificada:

Camadas eletrônicas, os saltos quânticos, orbitais atômicos, princípio de incerteza, ondas eletromagnéticas, comprimento de onda, espectro eletromagnético na faixa do visível e as cores correspondentes a cada comprimento de onda.

Assim, vamos aproveitar o ensejo e retomar a discussão feita na terceira etapa investigativa: Do que são feitos os fogos de artifício? O que permite o surgimento das diversas cores? Você respondeu da mesma forma ou conseguiu aperfeiçoar o seu entendimento acerca do arco-íris?

Questões

4. Qual experimento te motivou mais? Justifique.

5. Qual foi a única partícula, das quais utilizamos para montar um átomo, que podemos chamar de partícula elementar? Cite o nome.

6. Para você, qual é a importância de se conhecer a estrutura do átomo?

7. Faça um breve relatório do experimento anterior, destacando os conceitos principais.

Oitava Etapa Investigativa
Paródia/ Questões/Aula expositiva dialogada/Pesquisa *on-line*

Como forma de revisar o conteúdo, uma paródia construída pelo professor será cantada com o auxílio de um violão. Esse momento tem como proposta dinamizar e tornar o ensino descontraído, facilitando a fixação do conteúdo. Segue a letra da paródia.

PARÓDIA: HISTÓRIA DO ÁTOMO

Leucipo e Demócrito com sua intuição
Inventaram o átomo, mas sem qualquer experimentação.
Se na palavra átomo fizer a separação
Do grego é á – tomos que quer dizer: sem divisão.
Mas Aristóteles, o mestre, mandou tudo calar,
A matéria não são átomos, mas terra, fogo, água e ar.
Por toda a idade média houve estagnação
Quem sabia era Aristóteles não havia investigação.
Aliás quem quisesse as coisas investigar,
Ficava sem a goelas pra perturbação não causar.
Alguém apareceu de novo e suas ideias discutiu
Foi nosso amigo Dalton, que a louça toda partiu.
Aristóteles não é deus já não há esses apegos
Vou fazer renascer a ideia dos atomistas gregos.
Mas Thomson fez experiências e divulgou nos periódicos
Que descobrira novas coisas através dos raios catódicos.
Amigos Dalton é fraco já estudei radiações
Podendo já concluir que no átomo há “electrões”.
Os cientistas da época fizeram gozos e queixas
Chamando o modelo de Thomson o célebre pudim de ameixas.

Julgava o pobre Thomson poder ser o maior
Mas eis que entra em cena o “Xico Zé Rutherford”.
Fiz experiências várias lâminas de ouro usei
Para o modelo de Thomson meus amigos eu “já dei”.

Pela trajetória das partículas que eu bem pude seguir
Sou levado a pensar que um núcleo tem de existir.
Este ocupa pouco espaço face ao átomo quase nada
É no núcleo, no entanto que a massa está concentrada.

Alguns questionamentos:

Questões

1. Esta paródia está resumindo de forma completa a história dos modelos atômicos? Se não estiver, proponha um final mais completo.

2. Como os elétrons se mantêm em movimento ao redor do núcleo sem colidirem uns com os outros?

Após a resposta relatada por vocês, serão abordadas as contribuições de Bohr para a evolução do modelo atômico, aproveitando que vocês participaram dos experimentos e encerraremos com o modelo quântico atual. Será feita uma reflexão sobre as limitações do modelo de Rutherford e como Bohr refutou a questão das órbitas circulares para órbitas elípticas. É importante ressaltar que o átomo de Bohr não corresponde à realidade, mas é mais um modelo.

Para responderem a esse questionamento, vocês deverão utilizar o *netbook* ou sala de informática para pesquisar o modelo Quântico proposto por Erwin Schroedinger que substituirá as órbitas por orbitais atômicos que são regiões com maior probabilidade de se encontrar um elétron. Dando sequência ao aprofundamento do estudo, alguns questionamentos serão levantados.

Mãos à obra! Teremos 20/30 minutos para a pesquisa e resposta das questões.

Questões

3. Faça um resumo da pesquisa sobre Bohr e Schroedinger.

4. Como você explicaria o fenômeno dos fogos de artifício?

5. O que acontece com os elétrons dos átomos quando os mesmos são aquecidos? Explique.

6. Observe a tirinha e comente sobre a afirmativa relatada.

Figura 27. Tirinha científica: dualidade da partícula.



Fonte: <https://www.umsabadoqualquer.com/1086-fisica-quantica/>

7. Explique os fenômenos da fluorescência e da fosforescência.

8. Cite o nome das duas primeiras partículas elementares descobertas.

Nona Etapa Investigativa
Mapa mental/ Aula expositiva dialogada

Após nos dedicarmos ao estudo da história do átomo e de sua estrutura, que tal organizar tudo que você aprendeu? Há várias formas de se fazer isso, mas aqui vamos sugerir um recurso muito utilizado para este fim: o mapa mental. Mas afinal, o que é um mapa mental?

Figura 28. Exemplo de mapa mental.



Fonte: <<https://www.projetosophia.com.br/imagens/mapas-mentais/fisica/mapa-mental-optica-refracao-da-luz-fisica.webp>>.

Após observar o mapa mental exposto e tirarmos as dúvidas, chegou a sua vez de confeccionar o seu mapa feito em folha de papel A4, para ser entregue ao professor para a devida avaliação e arquivamento. Vamos utilizá-lo mais adiante.

Questões

1. O que significa a palavra ÁTOMO? Você acredita que esta definição condiz com o que se sabe sobre os átomos atualmente?

2. Quais as partículas que compõem a estrutura de um átomo? Qual delas pode ser chamada de partícula elementar e que cientista foi reconhecido como responsável pela identificação desta partícula?

3. Qual contribuição essa partícula forneceu e ainda fornece para a melhoria de vida da sociedade?

4. Quais são as partículas subatômicas, que constituem a estrutura da matéria?

Pesquisa para casa: Faça uma pesquisa em casa sobre os instrumentos que a Ciência utiliza atualmente como recurso para construir o conhecimento acerca das partículas subatômicas. Comente o que achou interessante na aula seguinte.

Décima Etapa Investigativa
Vídeo/Leitura de Revista Científica/Aula expositiva dialogada

Nessa etapa iremos nos aprofundar um pouco mais sobre as partículas subatômicas mostrando o que se sabe atualmente sobre a estrutura da matéria e ainda mostrando a utilização de algumas partículas para a melhoria de vida da sociedade como o silício, por exemplo. A aula será apresentada um vídeo mostrando uma reportagem acerca do mundo microscópico que nos compõe e nos cerca.

Figura 29. Vídeo: mundo subatômico.



Fonte: elaboração própria.

Agora que você assistiu ao vídeo e utilizando o material complementar descrito a seguir, responda algumas perguntas que auxiliarão na construção do conhecimento.

Questões

1. Quais partículas você diria que hoje poderiam ser classificadas como ‘átomos’, ou seja, partículas que não se dividem? Do que elas são chamadas hoje?

2. É possível identificar a posição exata de um elétron?

3. Quais as partículas fundamentais que você conheceu até aqui?

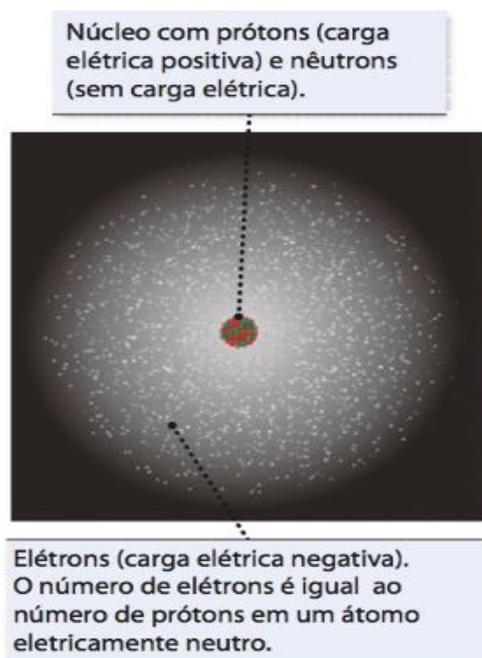
4. Qual a influência destas descobertas para a sociedade? Cite uma aplicação que você ache importante.

5. Você ou algum conhecido já fez um exame de raio x? O que esse exame tem a ver com o assunto que estamos tratando?

MATERIAL COMPLEMENTAR PARA OS ALUNOS

Os elementos químicos são formados nas estrelas e, a partir desses elementos, moléculas, tais como água e amônia, são feitas no espaço sideral. Essas moléculas simples e outras muito mais complexas, tais como o DNA e a hemoglobina, são encontradas na Terra. Na busca por compreender a natureza da matéria e sua estrutura é necessário se debruçar nos campos da Física e da Química Moderna (Kotz *et al.*, 2015, p. 54). A figura em seguida esquematiza de forma simplificada a estrutura do átomo.

Figura 30. A estrutura do átomo.



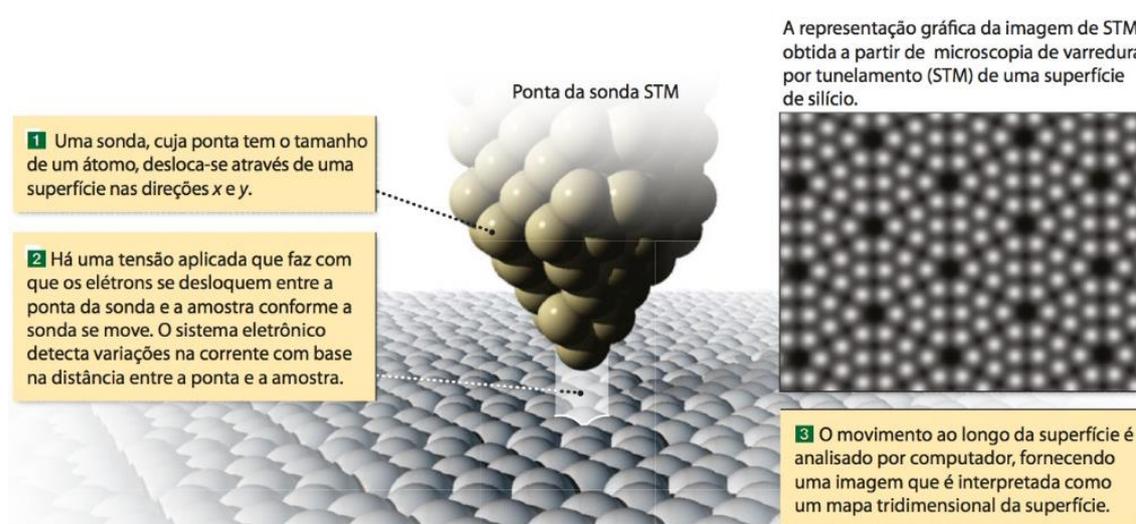
Fonte: Kotz *et al.* (2015, p. 54).

Esta figura não está desenhada em escala. Se o núcleo fosse realmente do tamanho descrito aqui, a nuvem de elétrons se estenderia por mais de 200 metros. O átomo é em sua maior parte um ‘espaço vazio’. Nesta ilustração os elétrons são descritos como uma “nuvem” em torno do núcleo. Esta é uma visão mais precisa do átomo que a visão tradicional de elétrons como partículas minúsculas que orbitam o núcleo (Ibid.).

Na tentativa de se compreender melhor o mundo microscópico, existe hoje um instrumento chamado STM (*scanning tunneling microscope* – microscópio de varredura por tunelamento) que utiliza uma sonda tipo agulha (figura 31) orientada acima da superfície de um sólido condutor. Quando a sonda está muito próxima da superfície, uma corrente elétrica pode fluir a partir da sonda para a superfície. A corrente depende da distância entre a ponta da sonda

e os átomos sobre a superfície. As variações de corrente são medidas conforme a sonda se move através da superfície. Esses dados são, então, representados graficamente, fornecendo um mapa dos átomos na superfície do sólido. Este é um experimento extremamente sofisticado. Para que ele funcione, a ponta da agulha deve ser muito pequena (de preferência do tamanho de um átomo), e a sonda deve estar apenas a uma distância de um átomo em relação à superfície. Realizado com sucesso, o experimento oferece uma imagem da superfície do sólido, que poderá exibir átomos individuais (Kotz *et al.*, 2015, p. 54).

Figura 31. Amostra de átomos de silício sobre uma superfície.



Fonte: Kotz *et al.* (2015, p. 54).

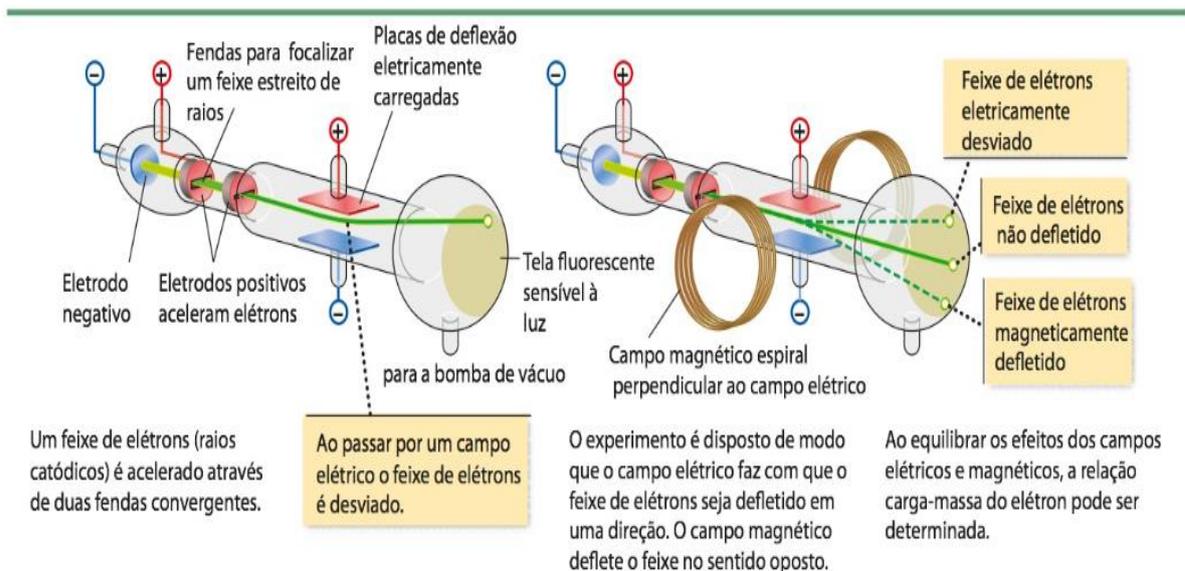
Historicamente, no início dos anos 1800, o químico inglês John Dalton propôs que um átomo era uma “partícula móvel sólida, maciça, dura e impenetrável”. Assim a ideia de que os átomos são as unidades estruturais da matéria foi definida de maneira ‘correta’ para a época, mas longe da descrição atual. Para chegar ao modelo atual, o qual envolve um átomo nuclear com prótons, nêutrons e elétrons, além de muitas outras partículas, foram necessários experimentos engenhosos. Alguns experimentos foram de suma importância na construção do conhecimento acerca da natureza dos átomos, seus componentes e suas características. Será apresentada a seguir uma breve descrição das principais ideias para algumas dessas experiências (Kotz *et al.*, 2015, p. 54).

Por volta de 1900, na Inglaterra, uma série de experimentos feitos por cientistas como Sir Joseph John Thomson (1856-1940) e Ernest Rutherford (1871-1937), estabeleceram um modelo de átomo que ainda é a base da teoria atômica moderna. Os próprios átomos são feitos de partículas subatômicas, três das quais são importantes na Química: prótons carregados

positivamente, elétrons carregados negativamente e, em todos, exceto em um tipo de átomo de hidrogênio, nêutrons eletricamente neutros. O modelo coloca os prótons e os nêutrons mais pesados em um núcleo muito pequeno, que contém toda carga positiva e quase toda a massa de um átomo. Os elétrons, com massa muito menor que prótons ou nêutrons, cercam o núcleo e ocupam a maior parte do volume. Em um átomo eletricamente neutro, o número de elétrons iguala-se ao de prótons (Kotz *et al.*, 2015, p. 55).

Partindo da premissa que o átomo era indivisível, a segunda metade do século XIX assistiu a uma série de experimentos envolvendo tubos de raios catódicos (Figura 32). Descrito pela primeira vez em 1869 por William Crookes (1832-1919), um tubo de raios catódicos é um recipiente evacuado que contém dois eletrodos. Quando uma alta tensão é aplicada, partículas (raios catódicos) fluem do eletrodo negativo (cátodo) ao eletrodo positivo (ânodo). Essas partículas foram defletidas por campos elétricos e magnéticos, e ao equilibrar esses efeitos, foi possível determinar a relação carga-massa (e/m). Em 1897, J. J. Thomson (1856-1940) na Universidade de Cambridge, na Inglaterra, relatou que essas partículas eram cerca de $1/2000$ da massa de um átomo de hidrogênio (Kotz *et al.*, 2015, p. 54).

Figura 32. Experimento com os raios catódicos.



Fonte: Kotz *et al.* (2015, p. 54).

Especificamente, relata-se que dentro da ampola de vidro com pressão reduzida, continha um gás que apresentava um padrão de fluorescência na presença de uma diferença de potencial. Deduziu-se que esse brilho era oriundo de um tipo de raio emitido pelo cátodo e, por isso, são denominados de raios catódicos. Cabe ressaltar que os físicos da época discordavam

quando discutiam em relação à natureza desses raios. Prioritariamente tratados como ondas, todavia já existiam visões corpusculares, como a antiga disputa entre Newton (1643-1727) e Huygens (1629-1695) sobre a natureza da luz (Joffily, 2005, p. 4).

Esses raios ficaram conhecidos como elétrons, nos quais Thomson concluiu que os mesmos se originam dos átomos do cátodo e especulou também que um átomo era uma esfera uniforme de matéria carregada positivamente na qual elétrons negativos estavam incluídos, um modelo que agora sabemos que é ‘incorreto’ (Kotz *et al.*, 2015, p. 54). A figura 33 mostra Thomson e sua aparelhagem.

Figura 33. Joseph John Thomson (1856-1940), com a aparelhagem que ele usou para descobrir o elétron.



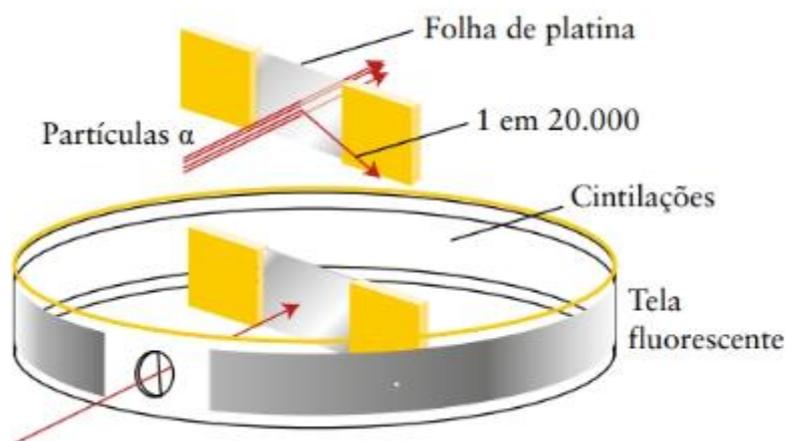
Fonte: Atkins, Jones e Laverman (2018, p. 2).

Atualmente o estudo da natureza da matéria está demonstrado na estruturação do Modelo Padrão pela física de partículas, que teve sua origem determinada concomitantemente à descoberta da primeira partícula elementar, do elétron. O nome elementar é reservado a um constituinte da matéria (ex.: elétron) ou da radiação (ex.: fóton) que não é composto de constituintes mais elementares. Sabe-se que o elétron é a única partícula elementar centenária, tendo em vista que outras partículas que, inicialmente, eram consideradas elementares, como até mesmo o átomo e o próton revelaram-se compostas. Atribui-se hoje, que a matéria é composta de dois tipos de partículas: os hádrons, constituídos pelos quarks, partícula também considerada elementar, que formam os prótons e nêutrons contidos no núcleo atômico; e os léptons, dos quais os elétrons estão incluídos (Joffily, 2005, p. 2).

Embora os elétrons tenham carga negativa, um átomo tem carga total zero: ele é eletricamente neutro devendo possuir carga positiva suficiente para neutralizar a carga negativa. Para Thomson, em seu modelo atômico que ficou conhecido como o “modelo do pudim de passas”, os elétrons estariam suspensos num material gelatinoso com carga positiva, assim como passas de uva em um pudim (Atkins; Jones; Laverman, 2018, p. 3).

Em 1908, Ernest Rutherford (1871-1937) descartou esse modelo de átomo ao se debruçar no estudo da emissão de partículas de carga positiva conhecidas como partículas alfa, que eram emitidas por alguns elementos, incluindo o radônio. Num experimento marcante para a época e que seria considerado de suma importância no estudo acerca da estrutura da matéria, ele orientou dois de seus estudantes, Hans Geiger (1882-1945) e Ernest Marsden (1889-1970), que fizessem passar um feixe de partículas através de uma folha de platina muito fina, cuja espessura era de apenas uns poucos átomos, como demonstrado na figura a seguir.

Figura 34. Experimento usado por Geiger e Marsden.

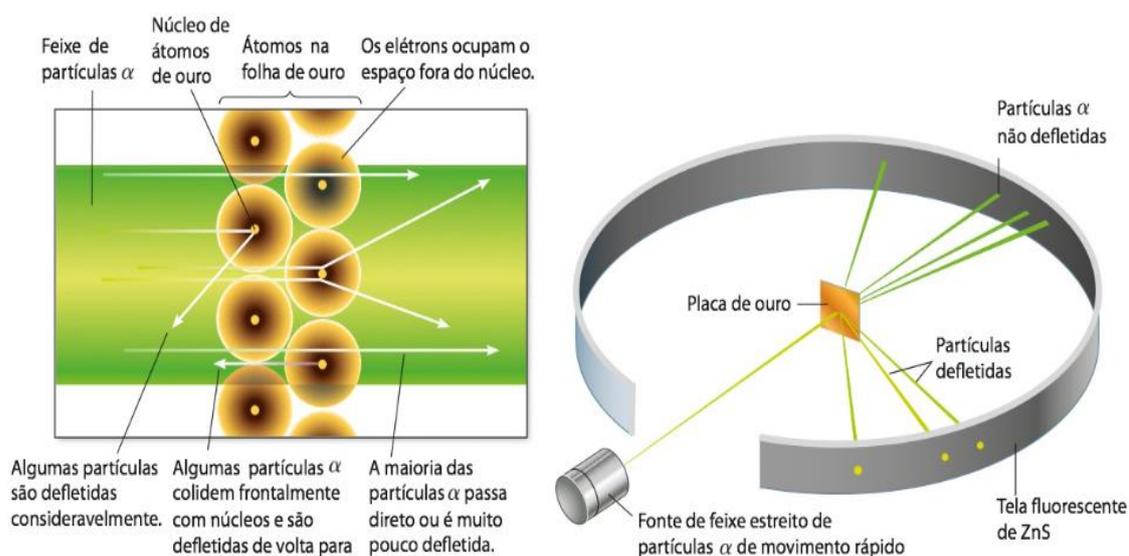


Fonte: Atkins, Jones e Laverman (2018, p. 3).

No experimento, as partículas α (alfa) vinham de uma amostra do gás radioativo radônio e passavam por um furo para uma câmara cilíndrica com uma cobertura interna de sulfeto de zinco. Ele propunha que, se os átomos fossem realmente uma gota de gelatina com carga positiva, as partículas α passariam facilmente pela carga positiva difusa da folha, com pequenos e raros desvios em sua trajetória. As observações de Geiger e Marsden espantaram a todos, pois verificaram que as partículas α se chocavam contra a folha de platina, que posteriormente foi substituída por uma folha de ouro, montada no interior do cilindro e os desvios eram medidos pela emissão de luz (cintilação) provocada na cobertura interna (Figura 34). Cerca de 1(em) em cada 20.000 partículas sofria um desvio muito grande, embora a maioria passasse pela folha

quase sem desvios. “Foi quase inacreditável”, declarou Rutherford, “foi como se você disparasse uma bala de canhão de 15 polegadas contra um lenço de papel e ela rebatesse e o atingisse” (Atkins; Jones; Laverman, 2018, p. 3).

Figura 35. Experimento de Rutherford para determinar a estrutura do átomo.



Fonte: Vieira (2011, p. 1).

Cabe ressaltar que, para chegar até esse experimento, o físico neozelandês Ernest Rutherford, cuja biografia lembra a de heróis de contos infantis em que garotos pobres, da periferia, se tornam nobres e admirados por seus feitos e seu caráter, travou um longo e árduo caminho até chegar ao ‘coração’ da matéria, denominado por ele de núcleo atômico (Vieira, 2011, p. 1).

Diante desse contexto, é preciso descrever, ainda que brevemente, a física do final do século 19, do qual ela é fruto.

Nas palavras do historiador da ciência Erwin Hiebert, em um capítulo de “Rutherford and the physics at the turn of century” (Dawson and Science History Publications, 1979), esse cenário era marcado: i) por uma crescente percepção de uma unidade das ciências físicas; ii) pela urgência em abarcar os fenômenos do muito grande e do muito pequeno em uma só visão do mundo; iii) por uma nova atitude (mais ousada) em relação à especulação científica; iv) pela ênfase nas colaborações científicas. Para Hiebert, os físicos estavam prontos para (se preciso) construir um mundo radicalmente novo para englobar os novos (e aparentemente não relacionados) fenômenos: elétrons, raios X e radioatividade. (Ibid., p. 2).

Um importante relato na história de Rutherford foi que seu chefe, impressionado com o seu trabalho no Laboratório Cavendish (Inglaterra), era o renomado Joseph John Thomson

(1856-1940) que, em 1897, descobrira a primeira partícula elementar, o elétron e acabou tornando a palavra átomo (a = não; tomo = divisível, em grego) uma contradição semântica. Explica-se: “até então, pelos últimos 2,5 mil anos, vários modelos de átomos haviam sido idealizados, mas essas entidades diminutas sempre haviam permanecido obedientes aos ditames do filósofo grego Leucipo (500-450 a.C.)”, pai do atomismo: “toda a realidade consiste em partículas duras e indivisíveis, movendo-se e colidindo no espaço vazio”. Raros foram os cientistas ou pensadores que, até a época de Thomson, arriscaram teorizar sobre um átomo com estrutura interna (Vieira, 2011, p. 3).

De acordo com Vieira (2001, p. 5), em 1898, Rutherford ocupou uma vaga de emprego, indicado por Thomson, na Universidade McGill (Canadá), cujo laboratório de física era um dos mais bem equipados do mundo, graças ao patronato de um dono de uma fábrica de tabaco que desprezava o hábito de fumar. Os resultados que Rutherford obteria naquele laboratório, principalmente com relação à radioatividade, colocariam a física canadense no mapa-múndi da ciência e ainda fariam com que ele recebesse o Nobel de Química de 1908. Química? Sim, porque o assunto radioatividade, para o comitê do prêmio, pertencia a essa área. Rutherford resumiu seu espanto assim: “Lidei com várias e diferentes transformações em diversos períodos, mas a mais rápida com que me defrontei foi a minha própria transformação de físico em químico”. Até 1930, praticamente tudo que havia sido feito sobre a estrutura nuclear havia vindo de Rutherford, escreveu o historiador da física Daniel Kevles (*Physics Today*, v. 10, p. 175- 181, April 1972).

Rutherford conseguiu explicar os resultados da experiência de desvio de partículas em termos de um novo modelo para o átomo, o qual seria constituído em sua maior parte, cerca de 99%, de espaço vazio e concentrando praticamente toda a sua massa no núcleo composto de cargas positivas que defletia ou repelia completamente uma partícula α que se aproximasse dele durante a experiência de desvio, pois sofria grande força de repulsão. As partículas com carga positiva no núcleo chamam-se prótons. Em experiências separadas, verificou-se que cada próton transporta a mesma quantidade de carga que um elétron e tem uma massa de $1,67262 \times 10^{-24}$ g — cerca de 1.840 vezes a massa do elétron de carga contrária (Chang, 2010, p. 51).

Nessa fase da investigação, os cientistas entendiam o átomo da seguinte maneira: a massa do núcleo constitui a maior parte da massa de todo o átomo, mas o núcleo ocupa apenas cerca de 1/1013 do volume do átomo (Chang, 2010, p. 51). A Física clássica previa uma instabilidade no modelo nuclear que só pode ser corrigido com base na teoria quântica, em 1913, por um de seus ex-alunos em Manchester, o físico dinamarquês Niels Bohr (1885-1962) (Vieira, 2011, p. 3).

O “modelo de estrutura atômica de Rutherford deixou um grande problema por resolver. Sabia-se que o hidrogênio, o átomo mais simples, continha apenas um próton e o átomo de hélio, dois prótons”. Assim, “a razão entre a massa do átomo de hélio e a massa do átomo de hidrogênio deveria ser 2:1, na realidade, contudo, é 4:1 tendo como premissa que a massa do elétron seria desprezível”. Sendo assim, discutia-se entre Rutherford e outros cientistas a existência de outro tipo de partícula subatômica no núcleo atômico. A prova foi fornecida por outro físico inglês, James Chadwick (1891-1974), em 1932, ao bombardear uma folha fina de berílio com partículas α , o metal emitiu uma radiação de energia muito elevada, semelhante aos raios γ . Os experimentos posteriores mostraram que a radiação era constituída por um terceiro tipo de partícula subatômica, à qual Chadwick deu o nome de nêutrons, que como o próprio nome sugere apresentam neutralidade de carga, além de possuírem uma massa ligeiramente superior à massa dos prótons (Chang, 2010, p. 51).

Rompendo com os conceitos clássicos da época, em 1913, o físico dinamarquês Niels Bohr (1885-1962) propôs um modelo no qual os elétrons ocupam apenas determinadas órbitas, chamadas de estados estacionários. Isso porque, como o elétron ‘gira’ ao redor do núcleo, ele apresenta aceleração centrípeta (já que não está em uma trajetória retilínea) e deveria emitir radiação, perdendo energia e, por fim, colapsando no núcleo. Nessas órbitas, os elétrons podem girar sem perder energia e, portanto, sem emitir radiação. Nesse contexto, a Física buscava solucionar problemas fundamentais da Física Clássica com relação a quantização da energia absorvida por elétrons, como a radiação do corpo negro e o efeito fotoelétrico. Havia nesse momento, fortes indícios que essas mudanças dos estados de energia dos átomos estavam relacionadas com o comprimento de onda, ou à frequência, associados com as linhas espectrais, tendo como base a quantização da matéria (Atkins; Jones; Laverman, 2018, p. 3).

Bohr elabora dois postulados e propõe um modelo atômico para o hidrogênio que foi de grande valia na interpretação dos espectros atômicos. O primeiro postulado reflete a desconcordância em utilizar a equação de Larmor⁷ (1857-1942) para formulação de uma teoria atômica e o segundo diz respeito à convicção de que a hipótese de Planck⁸ (1858-1947) tem validade para o sistema atômico. Com estes postulados, a teoria de Bohr para o átomo de hidrogênio teve considerável sucesso na interpretação dos espectros atômicos. Ele afirmava que, quando um elétron emite radiação eletromagnética (fóton) com determinada frequência,

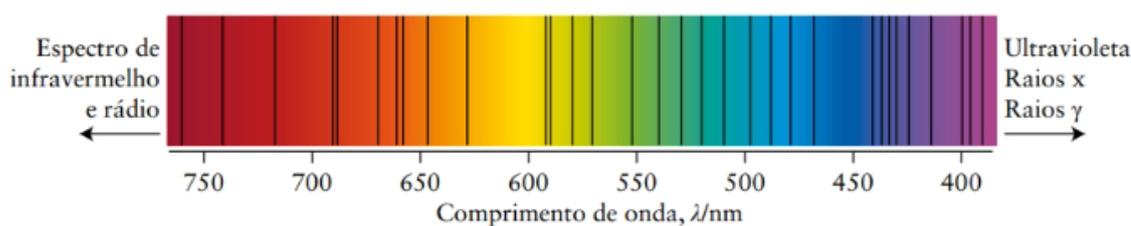
⁷ Equação de Larmor se refere ao efeito de um campo magnético externo sobre a frequência de precessão do núcleo atômico.

⁸ A radiação é absorvida ou emitida por um corpo aquecido em forma de ‘pacotes’ de energia (quanta) e não de forma contínua.

ele perde energia e vai para uma órbita com raio menor, ou seja, de menor energia. O inverso acontece se o átomo recebe um fóton. A energia envolvida na mudança de orbitais é dada pela equação de Plank (Ibid.).

A representação esquemática da radiação eletromagnética, ao ser decomposta em um intervalo de frequências ou comprimentos de ondas, é representada pelo espectro eletromagnético. Ele abrange desde as ondas de rádio até os raios gama, conforme mostra a figura 36. Quando um gás é aquecido, ele emite luz em determinados comprimentos de onda, formando um espectro de cores chamado de espectro de emissão (Silva *et al.*, 2014, p. 484).

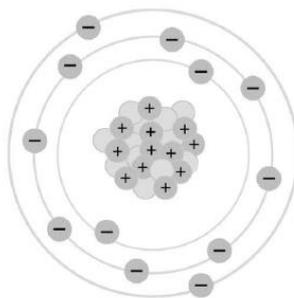
Figura 36. Espectro eletromagnético.



Fonte: Atkins, Jones e Laverman (2018, p. 8).

Em suma, o modelo atômico de Bohr, teve como base o modelo planetário de Rutherford e foi publicado em 1913 e sua principal contribuição foi em relação ao movimento dos elétrons nos átomos e como consequências das transições eletrônicas descritas por ele, a possibilidade de visualização das diferentes cores observadas, por exemplo, nos fogos de artifício. Já as transições eletrônicas envolvendo moléculas, que ocorrem entre os orbitais moleculares, resultam nas diferentes cores observadas nas frutas, nos corantes, nas *lightsticks* (bastões luminosos), entre outros (Silva *et al.*, 2014, p. 484).

Figura 37. Modelo Atômico de Bohr.



Fonte: Silva e Silva (2021, p. 7).

Um estudo mais apropriado foi, então, desenvolvido pelo físico alemão Werner Heisenberg (1901-1976) e o físico Austríaco Erwin Schrödinger (1887-1961) em 1925-1926 que anunciavam em seus primeiros trabalhos, de forma independente e com diferentes perspectivas, anunciavam uma nova visão dos elétrons em seu comportamento. Surgia assim a Mecânica Quântica que assume o papel de responsável pela busca de explicações acerca de toda matéria da maneira mais completa atualmente, sendo assim, a melhor ferramenta para os químicos e físicos se aprofundarem no estudo da estrutura da matéria e respondendo questões sobre as estruturas atômica e molecular (Silva *et al.*, 2014, p. 484).

Para a mecânica quântica, o estudo do comportamento de sistemas microscópicos só pode ser feito em termos de “probabilidades”. Assim, não é permitido utilizar expressões como a trajetória de um elétron, mas sim a região na qual há uma grande probabilidade de se encontrar um elétron por estar mais próximo ao núcleo atômico, que é o orbital atômico, mesmo sabendo que o elétron pode estar em qualquer lugar do espaço, passando esses sistemas a serem descritos por uma função de onda, representada pela letra grega Ψ (Psi). Em 1926, Erwin Schrödinger formulou uma equação de onda para descrever o comportamento de sistemas microscópicos, em que considerava o comportamento dualístico de uma partícula se movimentando em três dimensões. A equação proposta é

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial z^2} + \frac{8\pi^2 m}{h^2} (E - V) \psi = 0$$

e nela, Ψ é a função de onda associada à partícula que pode apresentar qualquer valor numérico positivo ou negativo (este resultado não descreve um sistema real como o átomo), m é a massa, E , a energia total do sistema, e V , a energia potencial da partícula. Quando essa equação é resolvida, obtêm-se como solução as funções de onda (Ψ) as quais fornecem todas as

informações associadas à partícula em cada estado de energia permitido (Fernandes; Oliveira, 2006, p. 3).

Nota-se que o conceito que define uma partícula elementar é, antes de tudo, de natureza abstrata e matemática. Elas são descritas por objetos matemáticos denominados funções de onda, a partir das quais são extraídas informações sobre a dinâmica de tais partículas. Nesse contexto, cabe ressaltar que a Física Moderna precisou de 103 anos para descobrir e classificar as partículas fundamentais, dando início à estruturação do modelo que representaria toda a estrutura da matéria, incluindo centenas de descobertas no decorrer do século passado. É importante ressaltar que a grande maioria dessas partículas foi considerada elementar, até o início da década de 1950. Este ‘erro’ analítico era determinado pela limitação do método de observação, que não lhes permitia ir mais além ao mundo invisível. Apesar de parecer simples a conceituação de “elementar”, já que intuitivamente pode-se perceber que o termo se refere à toda partícula que não pode ser ‘quebrada’, mas há grandes dificuldades de os modelos teóricos descreverem a matéria. O modelo proposto atualmente para a organização das partículas elementares é o chamado Modelo Padrão, que não inclui prótons e nêutrons, já que os mesmos não são considerados elementares, por serem formados pela partícula elementar chamada *quark* (Adballa, 2005, p. 38).

É impressionante como é possível perceber o quanto este mundo invisível governa o mundo visível. Como forma de contextualizar o assunto, teremos agora um momento de leitura de uma publicação feita na Revista Ciência Hoje, na qual se aborda a descoberta dos raios X. Essa publicação contendo esse episódio histórico será fornecida pelo professor e está descrita na próxima página.

Figura 38. Capa da Revista Ciência Hoje sobre Raios X.

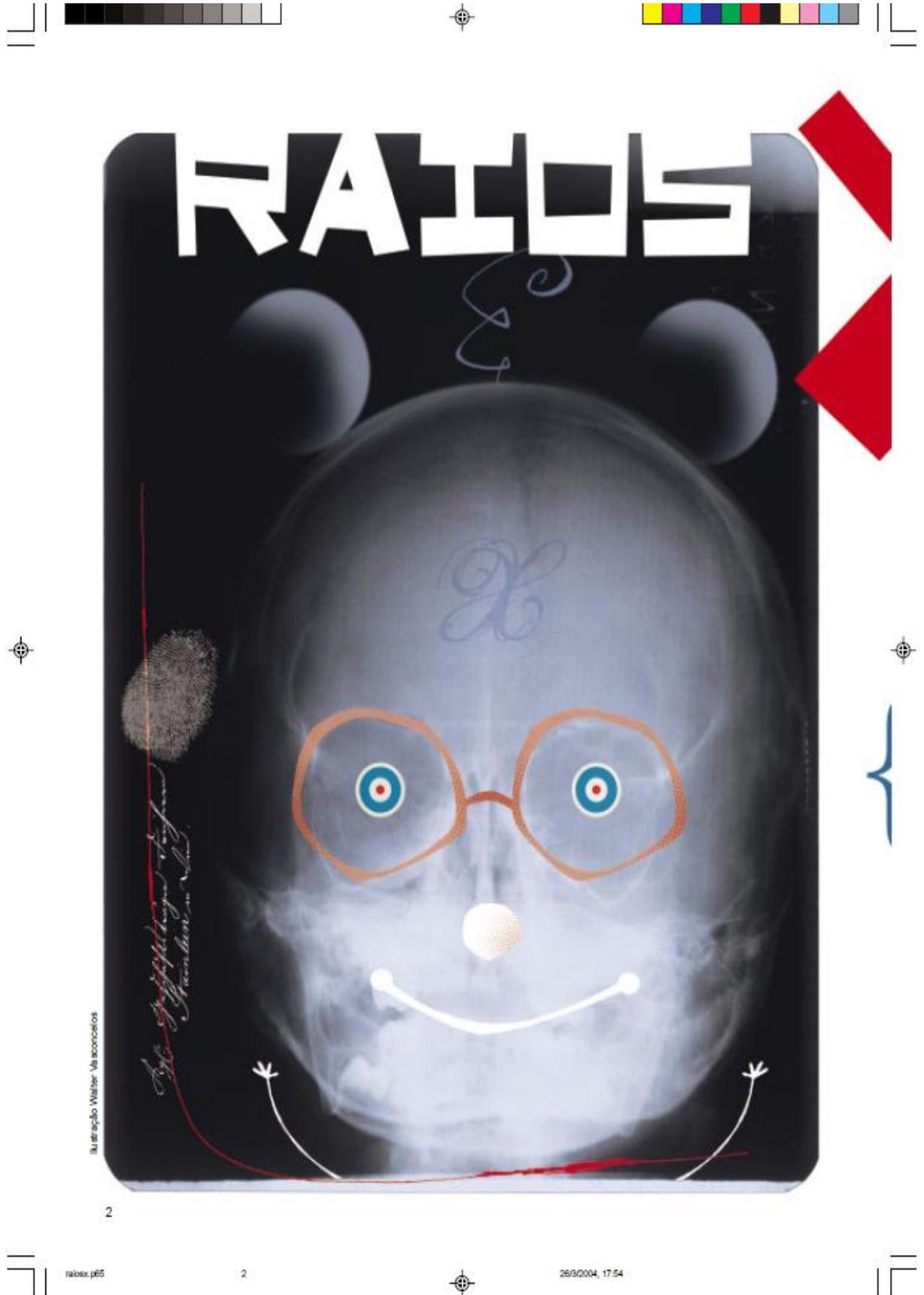
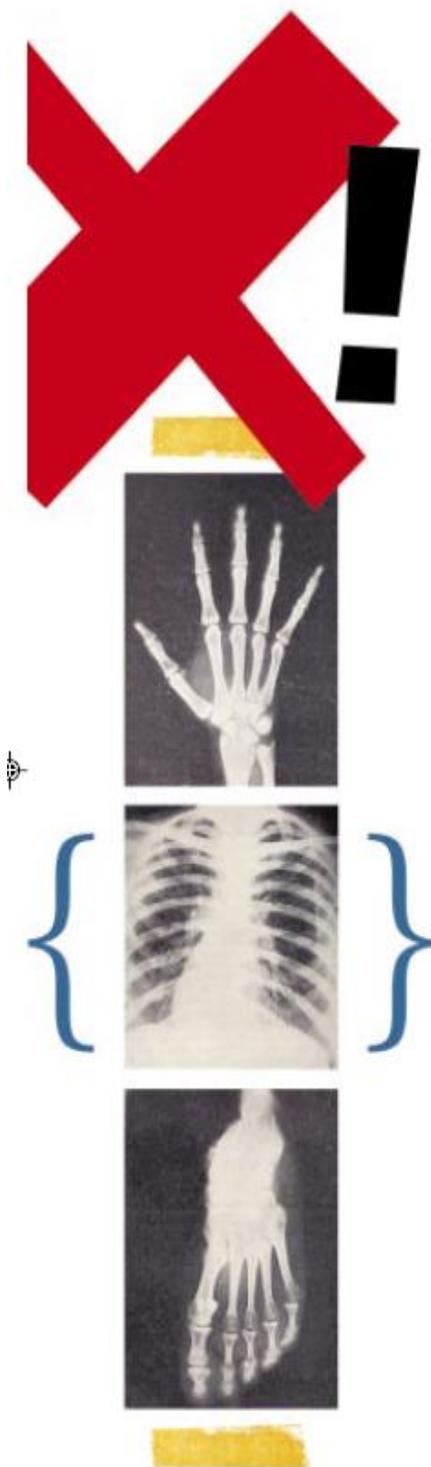


Figura 39. Recorte da Revista Ciência Hoje.

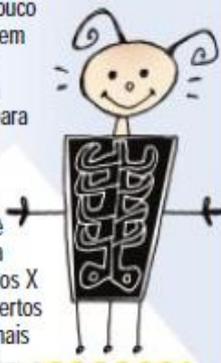


Acessórios e incríveis poderes não faltam no mundo dos super-heróis. Tem o batmóvel do Homem-Morcego, o avião invistível da Mulher Maravilha, a visão de raios X do Super-Homem... Escolher um deles seria difícil. Ainda mais com a visão de raios X no páreo. Que o Batman não nos ouça, mas ela põe qualquer cinto de utilidades no chinelo. Usando-a, o Homem-de-Aço vê até o que se passa dentro das casas, uma coisa de louco.

Aliás, de louco e de ficção. Nem aqui, nem na China dá para usar raios X para ver o que o vizinho está fazendo. Mas o engraçado é que, na época em que os raios X foram descobertos – e isso faz mais de cem anos! –, um jornal alertou a população dizendo que qualquer pessoa, com um aparelho de raios X, poderia ver o que ocorria em uma casa.

Essa foi só uma das muitas notícias erradas publicadas a partir de 1895, ano de descoberta dos raios X. Mas não foi por acaso que tantas informações incorretas surgiram na imprensa. O anúncio de que havia sido identificado um raio capaz de atravessar a pele e de ser usado para fotografar os ossos mexeu com a imaginação das pessoas, atraindo sua curiosidade e provocando, nelas, admiração e temor (leia *Dando o que falar!*).

Hoje, quanta coisa mudou! Quando o médico nos manda tirar uma radiografia nem ficamos surpresos ao ver a chapa. Tampouco nos preocupamos em saber o que eles são. Você, por exemplo, já se fez essa pergunta? Não? Então, prepare-se...



Dando o que falar!

Com a descoberta dos raios X, muita gente passou a achar que, lançando-os contra uma pessoa, era possível vê-la nua, quando, no máximo, se veria o esqueleto. Também havia quem acreditasse que, jogando raios X sobre o crânio de alguém, dava para ler seus pensamentos, outra ideia sem fundamento! E o que dizer da iniciativa de uma loja de sapatos feitos sob encomenda? Para mostrar que os dedos ficavam bem acomodados dentro do calçado, na hora em que o freguês o colocava, uma radiografia era tirada, uma prática desnecessária e perigosa! Afinal, embora ninguém soubesse na época, pessoas expostas em excesso aos raios X podem ter problemas de saúde, como câncer, uma doença que resulta do crescimento desordenado, exagerado e anormal das células.



Veja que engraçada essa propaganda! Ela anuncia o "maravilhoso raio novo que vê através da mão".

Figura 40. Recorte da Revista Ciência Hoje.

Luz que os olhos não vêem

Os raios X são um tipo de luz invisível aos nossos olhos! Pois é, em geral, pensamos que luz é só a que podemos ver: a que vem do Sol, de lâmpadas... Ao falar em luz na física, porém, podemos estar nos referindo não só a essa luz, que enxergamos, mas, também, aos raios X, às ondas de raios e até às microondas (sim, as mesmas do forno). Afinal, tudo isso é luz. Ou, como dizem os físicos, tudo é radiação eletromagnética.

Mas, atenção: quando o físico alemão Wilhelm Conrad Roentgen descobriu os raios X, há mais de um século, ele não sabia o que eles eram. Apenas que se tratava de raios capazes de atravessar diferentes materiais – entre eles, papel, madeira, pele e carne –, sendo absorvidos pelos mais densos e pesados, como concreto, chumbo e ossos. Por isso, os chamou de raios X: para mostrar que não se sabia o que eles eram.

Hoje, os raios X estão presentes em aeroportos, indústrias, laboratórios de pesquisa (leia *Raios X, ao trabalho!*)... Mas, sem dúvida, sua aplicação mais conhecida é na medicina. Então, vamos descobrir como, usando-os, dá para fotografar os ossos?!

Sorria, seus ossos estão sendo fotografados!

Você abriu a máquina fotográfica sem notar que ela ainda tinha filme. Ao vê-lo, lamentou o erro, pois sabia que o filme, provavelmente, havia "queimado". No mínimo, uma pose havia sido perdida. Afinal, filme, quando exposto à luz, escurece.

Os raios X também escurecem filmes fotográficos. E, graças a essa característica, podem ser usados para fotografar os ossos. Ou, como se diz, para tirar radiografias!

Nesses exames, os ossos aparecem em branco, enquanto a pele e a carne, como uma sombra escura. Por que? Ora, você sabe que os raios X atravessam a carne, mas não os ossos. Também tem a informação de que eles, ao atingir uma chapa fotográfica, a escurecem. Ligando uma coisa a outra e lembrando que para tirar radiografia de qualquer parte do nosso corpo é preciso colocá-la em contato com uma chapa fotográfica...

Sim! Nas radiografias, os ossos aparecem claros, pois os raios X não conseguiram atravessá-los e, portanto, não atingiram a chapa fotográfica, que, por isso, não escureceu. O resto da radiografia,

porém, ficou escura porque os raios X, ao encontrar apenas pele e carne em seu caminho, atingiram a chapa fotográfica, escurecendo-a. Simples, né?!



O físico alemão Wilhelm Conrad Roentgen descobriu os raios X em 1895.

Acaso, perspicácia e glória

Simples, porém, não foi descobrir os raios X. Vários cientistas chegaram perto, mas coube a Wilhelm Roentgen a glória de revelar a sua existência!

Timido, ele era detalhista e meticuloso. Tanto que os trabalhos que publicou nunca precisaram ser corrigidos! No fim do século 19, Roentgen estudava os raios catódicos, uma febre, na época, entre os cientistas da Europa. Por meio deles, chegou aos raios X!

Os raios catódicos eram raios luminosos que surgiam quando, em um tubo preenchido com um certo tipo de gás, era aplicada uma corrente elétrica. Ao se usar hidrogênio, o raio era azulado; usando cloro, amarelado. Os raios catódicos atraíram a atenção dos cientistas porque ninguém sabia como eles eram produzidos!

Decidido a estudá-los, Roentgen comprou tubos e passou a fazer experimentos. Repetiu até os realizados por um físico alemão, que, ao pôr uma pequena janela de alumínio no tubo, viu os raios catódicos fora dele, no ar. Mas o

Raios X, ao trabalho!

Os raios X são, em geral, usados na análise de materiais. Em indústrias, por exemplo, eles podem ser utilizados para detectar impurezas nos produtos produzidos, como remédios e bebidas. Nos aeroportos, são empregados para examinar o conteúdo da bagagem levada a bordo e, assim, evitar o embarque de

armas, substâncias químicas e materiais capazes de pôr em risco a segurança do voo. Na ciência, estão presentes em vários campos, até mesmo no cotidiano dos radioastrônomos. Como as estrelas emitem raios X, esses profissionais os analisam para definir, por exemplo, a idade desses astros.

Figura 41. A primeira radiografia da história.

interessante foi o que ocorreu um dia: Roentgen observou que alguns cristais de seu laboratório cintilavam quando a corrente elétrica, que passava pelo tubo, era ligada; brilho que sumia quando ela era desligada.

O fenômeno não era produzido pelos raios catódicos: o físico sabia que eles não iam além de alguns centímetros no ar, enquanto os cristais estavam a mais de um metro do tubo! Encucado, pensando em que tipo de raio poderia estar saindo do tubo e provocando aquilo tudo, Roentgen prosseguiu com os estudos, pondo diante do tubo, a certa distância, uma tela fluorescente, ou seja, de um material que, ao receber luz, brilha. Com isso, notou que, como os cristais, a tela brilhava só com a corrente elétrica ligada.

O físico passou, então, a pôr, entre o tubo e a tela, diferentes materiais para testar quais eram transparentes aos raios que saíam do tubo – ou seja, quais eles conseguiam atravessar. Notou que, quanto mais denso e mais espesso, menos transparente. Foi quando fez



Fotos retiradas da internet

A primeira radiografia feita na História foi a da mão da esposa de Roentgen.

a grande descoberta: a de que os raios podiam atravessar a carne e mostrar como eram os ossos, deixando a impressão em uma chapa fotográfica.

Explicar como tudo ocorreu, em detalhes, é impossível. Nem mesmo dá para dizer qual foi a reação do cientista na hora da descoberta. Não há registros a respeito disso: Roentgen rasgou todos os seus cadernos de anotações. Também deixou, em testamento, a ordem de destruir, sem ler, qualquer manuscrito de sua autoria achado após sua morte.

Mas, sem dúvida, Roentgen sabia da importância de sua descoberta. Afinal, escreveu um artigo relatando-a e ainda enviou cópias dele, junto com reproduções da primeira radiografia feita – a da mão de sua esposa –, aos principais cientistas europeus. O resultado disso, nós já vimos: a descoberta causou sensação no público!

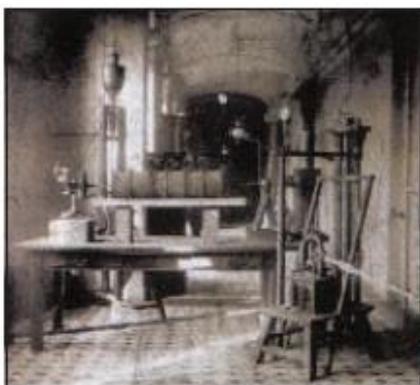


Foto cedida pelo autor

Assim era o laboratório em que Roentgen trabalhava e onde ele descobriu os raios X.

Raios X: é assim que se faz

Em 1896, o físico inglês **Sr George Stokes** demonstrou que os raios X são produzidos quando partículas com carga elétrica são desaceleradas! Complicado? Nem tanto, se você pensar, por exemplo, na bola de gude que, com um peteleco, ganha velocidade e passa sobre uma poça d'água ou lama. A medida que ela avança, perde velocidade, até parar, certo? Pois, no aparelho de raios X, algo parecido ocorre. Partículas com carga elétrica são aceleradas, ou seja, ganham velocidade. Então, são lançadas contra um bloco feito de cobalto ou tungstênio, por exemplo. Resultado: perdem velocidade e parte de sua energia se transforma... em raios X! Por isso é que eles apareciam nos tubos de raios catódicos! Na época, não se sabia, mas os raios catódicos eram formados, na verdade, por elétrons, partículas com carga elétrica negativa, que sofriam desaceleração ao atingir a parede do tubo!

A pesquisa com raios X deu ao alemão, em 1901, o maior prêmio que um cientista pode receber: o Nobel. Roentgen foi o primeiro físico a ganhá-lo! Nada mais justo para quem nos apresentou a algo que é tão útil mesmo 100 anos após sua descoberta, né?!

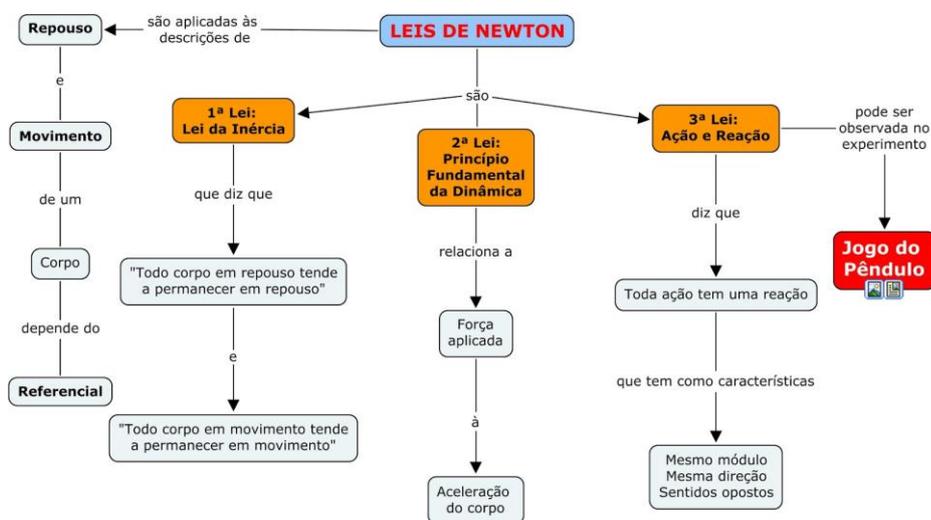
Carlos Alberto dos Santos,
Instituto de Física,
Universidade Federal do Rio Grande do Sul,
www.if.ufrgs.br/~cas, e
Mara Figueira,
Ciência Hoje/RJ.

Décima Primeira Etapa Investigativa Mapa Conceitual

Olá pessoal, agora iremos utilizar uma ferramenta muito importante no processo de construção do conhecimento. Essa ferramenta se chama Mapa Conceitual (MC). O que é isso professora? Você deve estar se perguntando. O MC é uma forma de possibilitar a organização dos conceitos trabalhados até aqui. Você fez um mapa mental, que tem um caráter mais informal com os conceitos desconectados uns dos outros, porém, agora será um mapa mais formal e ‘sério’ (rsrsrs).

Veja o exemplo a seguir:

Figura 42. Mapa conceitual. Leis de Newton.



Fonte: <http://experimentandofisica.blogspot.com/2012/12/mapas-conceituais_10.html>.

É importante ressaltar como o mapa conceitual parte de um tema geral para o específico, pois iniciamos falando sobre estrutura da matéria e vamos interligando e relacionando com os conceitos abordados durante as nossas aulas.

Sugestão:

Como forma de facilitar a aplicação dessa ferramenta e a construção de um mapa conceitual (figura em seguida), de forma ampliada por parte dos alunos, cada grupo pode receber individualmente o mapa conceitual em tamanho A4 com lacunas em branco, que precisariam ser preenchidas. Após completarem o mapa em tamanho reduzido, eles recebem os conceitos impressos em papel adesivo e são desafiados à montagem de um mapa dez vezes maior, sendo que deveriam inserir as proposições necessárias para unir os conceitos principais.

Décima Segunda Etapa Investigativa

Seminário Final

Atividade Avaliativa Final: seminário. Então pessoal, chegamos à etapa final! Agora vocês deverão apresentar um trabalho final no qual deverão ser utilizadas várias ferramentas pedagógicas como fanzine, experimento, jogos, paródias, vídeos etc. Além de responderem a problematização que norteou as nossas aulas, essa atividade final deverá apresentar respostas do mesmo questionário respondido na primeira etapa para que, assim, seja possível identificar se vocês aprenderam alguma coisa.

REFERÊNCIAS DO PRODUTO

ABDALLA, M. A. B. O discreto charme das partículas elementares. Instituto de Física Teórica, UNESP, *Física na Escola*, v. 6, n. 1, 2005.

ATKINS, P.; JONES, L.; LAVERMAN, L. Princípios de química: questionando a vida moderna e o meio ambiente. Oficina temática: uma proposta metodológica para o ensino do modelo atômico de Bohr. *Ciência & Educação*, 20(02), 481-495, 2018.

CHANG, R. *Química geral: conceitos essenciais* (4^o ed.). São Paulo: McGraw Hill, 2010.

FELTRE, R. *Química Geral*. Vol.1. 6 ed. São Paulo: Editora Moderna, 2004.

FERNANDES, J. D. G.; OLIVEIRA, O. A. *Arquitetura atômica e molecular*. Natal: EDUFRN – Editora da UFRN, 2006.

JOFFILY, S. A descoberta do elétron. *Instituto de Cosmologia, Relatividade e Astrofísica (ICRA-BR), Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas*, Rio de Janeiro, 2005.

KRAISIG, G. A. R.; KLEIN, S. G.; VIEIRA, V. V.; ROSA, V. M.; GARCIA, I. K. Proposta Didática para o ensino de modelos atômicos no Ensino Médio. *Encontro de Debates sobre o Ensino de Química*, Canoas-RS, 2018.

KRAUSZ, M. Onde as disciplinas se encontram. *Revista Educação*. Ano 11, nº 132. p. 24-28, 2011.

POZO, J. I. *Teorias cognitivas da aprendizagem*. Trad. Juan Acuna Llorens, 3^oed. Porto Alegre: Artes Médicas, 1998.

SILVA, G. S.; BRAIBANTE, M. E. F.; BRAIBANTE, H. T. S.; PAZINATO, M. S.; TREVISAN, M. C. Oficina temática: uma proposta metodológica para o ensino do modelo atômico de Bohr. *Ciência & Educação*, v. 02, pág. 481-495, 2014.

SILVA, K. M. O.; SILVA, O. *Dos atomistas ao átomo moderno: Um resgate histórico da evolução dos modelos atômicos*. Instituto Federal de Pernambuco campus Pesqueira. Curso de Licenciatura em Física. 2021. Disponível em: <<https://repositorio.ifpe.edu.br/xmlui/bitstream/handle/>>.

VIEIRA, C. L. O centro de todas as coisas. Um século da descoberta do núcleo atômico. *Projeto Desafios da Física*. Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas, Rio de Janeiro, 2011. Disponível em: <https://www.cbpf.br/~desafios/media/baixa_res/Folder_Nucleo_Atomico_BaixaRes.pdf>.