

Fábio Bartolomeu Santana

**DAS ESTRELAS AO ÁTOMO:
UMA PROPOSTA METODOLÓGICA PARA O ENSINO DE
FÍSICA MODERNA NO ENSINO MÉDIO**

Trabalho de Conclusão de Curso
submetido ao Curso de Graduação em
Física da Universidade Federal de
Santa Catarina para a obtenção do
Grau de Licenciado em Física.

Orientador: Prof. Dr. Paulo José Sena
dos Santos.

Florianópolis
2015

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Santana, Fábio Bartolomeu
DAS ESTRELAS AO ÁTOMO : UMA PROPOSTA METODOLÓGICA PARA O
ENSINO DE FÍSICA MODERNA NO ENSINO MÉDIO / Fábio Bartolomeu
Santana ; orientador, Paulo José Sena dos Santos -
Florianópolis, SC, 2015.
219 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências
Físicas e Matemáticas. Graduação em Física.

Inclui referências

1. Física. 2. Ensino de Física Moderna. 3. Modelos
Atômicos. 4. Espectroscopia. 5. Simulação Computacional. I.
Santos, Paulo José Sena dos. II. Universidade Federal de
Santa Catarina. Graduação em Física. III. Título.

Fábio Bartolomeu Santana

**DAS ESTRELAS AO ÁTOMO:
UMA PROPOSTA METODOLÓGICA PARA O ENSINO DE
FÍSICA MODERNA NO ENSINO MÉDIO**

Este TCC foi julgado adequado para obtenção do Título de Licenciado em Física, e aprovado em sua forma final pelo Curso de Graduação em Física

Florianópolis, 08 de dezembro de 2015.

Prof. Celso Yuji Matuo, Dr.
Coordenador do Curso

Banca Examinadora:

Prof. Paulo José Sena dos Santos, Dr.
Orientador
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Frederico Firmo de Souza Cruz, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. José Francisco Custódio Filho, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

Este trabalho é dedicado a todos aqueles que, assim com eu, acreditam que o conhecimento humano é a mais audaciosa invenção.

AGRADECIMENTOS

O Trabalho de Conclusão de Curso figura costumeiramente como um fim, tal qual sugere o próprio nome que o define. Contudo, particularmente para mim, ele representa um recomeço; na verdade um retorno.

Depois de estar distante da Física por 10 anos retornei para iniciar uma nova jornada, desta vez voltada para a área de Ensino de Física. Este campo de conhecimento mostrou-se vasto, promissor e repleto de desafios muito peculiares.

Neste retorno tive a alegria de reencontrar alguns pares, com os quais divido o interesse por uma Educação e um Ensino de Física melhores.

Como todo recomeço, igualmente este apresentou seus desafios, diante dos quais recebi apoio irrestrito, vindo daqueles com os quais tenho longa amizade e de outros, com os quais construí novas amizades; colegas de curso, professores e acadêmicos de outras áreas, os quais não nomearei para evitar o risco do esquecimento.

No entanto, para ser justo devo mencionar que a atuação de alguns professores, os quais por meio das disciplinas que ministraram e tive a oportunidade de frequentar, propiciaram momentos de grande reflexão e análise, bem como circunstâncias provocativas que obrigaram-me a confrontar dilemas, uns antigos, outros novos.

Agradeço também, singela e formalmente, ao orientador deste trabalho, Paulo José Sena dos Santos, por ter aceito prontamente o desafio e por ter correspondido muito além das expectativas. Foi um dos que reencontrei neste retorno, com o qual tive a honra de dividir, em outros tempos, parte da formação acadêmica nesse formidável campo do conhecimento humano. Sempre disponível, propiciou a formação de um ambiente aberto à criatividade e à audácia, sabendo dosar com perfeição as restrições necessárias.

Por fim, faço uma pequena menção à Fabiani C de O Santana, minha companheira, pelo incentivo e reconhecimento das possibilidades desta nova jornada. A paixão pela ciência é, atualmente, lugar comum para nós.

A todos, meus sinceros agradecimentos.

A luz é sem dúvida um dos grandes mistérios a ser enfrentado pelo intelecto científico humano. Desde tempos remotos, ela tem protagonizado as grandes revoluções do conhecimento Físico acerca da realidade.

(Fábio B Santana, 2015)

RESUMO

A abordagem de conceitos de Física Moderna no ensino médio tem sido objeto de estudo e preocupação. Atualmente temos uma lacuna equivalente a um século inteiro de uma nova Física, pouco presente nas salas de aula do ensino médio. Por outro lado, os Parâmetros Curriculares Nacionais vem propondo mudanças bastante significativas no ensino médio de modo que este seja capaz de oferecer aos estudantes uma formação mais voltada para a cidadania e conseqüentemente, uma participação mais ativa na sociedade. Diante deste quadro, a proposta deste trabalho é explorar as potencialidades e limitações da inserção de conceitos de física moderna no Ensino Médio partindo de um plano de aulas que contemple os conteúdos programáticos a partir de um abordagem que explore minimamente alguns aspectos históricos, relacionados com a natureza do conhecimento científico, bem como o uso de simulações computacionais. Para tanto foi concebida uma seqüência didática com vistas a uma intervenção didática, prevista para 14 aulas, em turmas do segundo ano do ensino médio. A seqüência didática foi dividida em dois grandes blocos. No primeiro bloco foram abordados os estudos sobre a espectroscopia do século XIX com destaque para uma atividade experimental, para análise de espectros contínuos e discretos, tendo como objetivo responder a pergunta sobre como o homem sabe do que o Sol é feito se ele nunca foi até lá. No segundo bloco foi abordado o cenário teórico e experimental do início do século XX, mais especificamente referente aos modelos atômicos e as primeiras ideias da quantização, da energia e da luz, e como este cenário influenciou Niels Bohr na elaboração de seu modelo atômico para o átomo de hidrogênio, com destaque ao uso das simulações computacionais como recurso metodológico. Neste bloco objetivou-se responder a pergunta sobre por quê os elementos químicos emitem espectros discretos e específicos. Ao final da seqüência didática foi aplicada uma avaliação que contemplou, dentre outros pontos do conteúdo programático, aspectos referentes ao modelo atômico de Niels Bohr para o átomo de hidrogênio. A seguir, as respostas dos estudantes referentes a estas questões foram analisadas e indicaram que a seqüência didática cumpriu satisfatoriamente os objetivos pretendidos. Dessa forma, pode-se afirmar que é viável a inclusão de conceitos de Física Moderna no ensino médio.

Palavras-chave: Ensino de Física Moderna. Modelos Atômicos. Espectroscopia. Simulação Computacional. Atividade Experimental.

ABSTRACT

The approach of modern physics concepts in high school has been the subject of study and concern. Currently we have a gap equivalent to a whole century of a new Physics, little present in high school classrooms. On the other hand, the National Curricular Parameters is proposing fairly significant changes in high school so that it is able to offer students a more focused training for citizenship and consequently a more active participation in society. Given this situation, the aim of this paper is to explore the potential and limitations of the insertion of modern physics concepts in high school starting from a lesson plan that covers the syllabus from an approach that minimally explore some historical aspects related to the nature of scientific knowledge and the use of computer simulations. For this has been designed a didactic sequence aimed at a didactic intervention, scheduled for 14 classes in the second period of high school classes. The didactic sequence was divided into two large blocks. In the first block were addressed studies on the spectroscopy of the nineteenth century with emphasis on a experimental activity to analysis of continuous and discrete spectra, aiming to answer the question of how man knows what the Sun is made if it was ever up over there. In the second block was approached theoretical and experimental scene of the early twentieth century, specifically relating to atomic models and the first ideas of quantization of energy and light, and how this scenario influenced Niels Bohr in the development of its atomic model for the hydrogen atom, especially the use of computer simulations as a methodological resource. This block aimed to answer the question about why the chemical elements emit discrete and specific spectra. At the end of the teaching sequence was applied an evaluation that included, among other parts of the curriculum, aspects related to the atomic model of Niels Bohr for the hydrogen atom. The following student responses regarding these issues were analyzed and indicated that the instructional sequence satisfactorily met the intended objectives. Thus, it can be said that the inclusion of Modern Physics concepts in high school is feasible.

Keywords: Modern Physics Teaching. Atomic models. Spectroscopy. Computer Simulation. Experimental activity.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Repositório de simulações do projeto Phet Colorado.	33
Figura 2 - Espectro da lâmpada de filamento incandescente obtido por um dos grupos durante a atividade prática.	69
Figura 3 - Espectro da lâmpada de vapor de sódio obtido por um dos grupos durante a atividade prática.	70
Figura 4 - Espectro da lâmpada de vapor de mercúrio obtido por um dos grupos durante a atividade prática.	71
Figura 5 - Espectro da luz do Sol e detalhes do espectroscópio utilizado por um dos grupos.	72
Figura 6 - Simulação Phet Colorado: superposição de luzes monocromáticas.	78
Figura 7 - Simulação Phet Colorado: radiação de corpo negro.	81
Figura 8 - Vídeo ilustrando o experimento com raios catódicos em um tubo de Crookes. Em A, deflexão por campo magnético. Em B, transferência de momento linear. Em C, propagação retilínea.	92
Figura 9 - Simulação Phet Colorado: Espalhamento de Rutherford - átomo Pudim de Passas.	94
Figura 10 - Simulação Phet Colorado: Espalhamento de E. Rutherford - átomo de Rutherford.	95
Figura 11 - Simulação NAAP - Demonstração do prego derretido (tradução livre).	102
Figura 12 - Pedaco de cobre sendo aquecido.	103
Figura 13 - Simulação Phet Colorado - Efeito Fotoelétrico.	108
Figura 14 - Espectro eletromagnético.	112
Figura 15 - Salto quântico. Absorção e emissão de fótons.	113
Figura 16 - Átomo de hidrogênio. Séries de Lyam, Balmer e Paschem.	113
Figura 17 - Espectro discreto de uma lâmpada de hidrogênio.	114
Figura 18 - Simulação NAAP - Simulado do átomo de hidrogênio (tradução livre).	115
Figura 19 - Quadro referente aos níveis de energia das 6 primeiras órbitas do átomo de hidrogênio.	119
Figura 20 - Níveis de energia para o átomo de hidrogênio até a 6ª órbita.	119
Figura 21 - Possíveis transições entre os primeiros 6 níveis de energia para o átomo de hidrogênio.	121
Figura 22 - Simulação Phet Colorado para o átomo de hidrogênio.	122
Figura 23 - Linhas espectrais para o átomo de hidrogênio.	135
Figura 24 - Níveis de energia para o átomo de hidrogênio.	135

Figura 25 - Espectro de emissão para o átomo de hidrogênio na faixa do visível.	138
Figura 26 - Imagem da tela da simulação Phet Colorado para o átomo de hidrogênio ilustrando as linhas espectrais de emissão.	139
Figura 27 - Caixa plástica utilizada para guardar o kit experimental.	204
Figura 28 - Lâmpada incandescente de halogênio tipo palito.	205
Figura 29 - Lâmpada de vapor de sódio.	205
Figura 30 - Lâmpada de vapor de mercúrio.	206
Figura 31 - Preparação da rede de difração.	208
Figura 32 - Espectroscópio de baixo custo.	209

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Sequência de aulas e respectivos temas.	37
Quadro 2 - Questões elaboradas pelos estudantes e selecionadas para discussão, referentes ao texto Breve histórico da espectroscopia.	61
Quadro 3 - Questões elaboradas pelos estudantes e selecionadas para discussão, referentes ao texto A eterna busca do indivisível.....	88
Quadro 4 - Caracterização das respostas para a questão 5. Quantidade de estudantes por grupo de respostas.	127
Quadro 5 - Exemplos de respostas dadas pelos estudantes na questão 5.	128
Quadro 6 - Caracterização das respostas para a questão 6. Quantidade de estudantes por grupo de resposta.....	129
Quadro 7 - Exemplos de respostas dadas pelos estudantes na questão 6.	130
Quadro 8 - Caracterização das respostas por grupo para a questão 7. Quantidade de estudantes por grupo de resposta.....	132
Quadro 9 - Exemplos de respostas dadas pelos estudantes na questão 7.	133
Quadro 10 - Caracterização das respostas por grupo para a questão 9. Quantidade de estudantes por grupo de resposta.....	137
Quadro 11 - Caracterização das respostas por grupo para a questão 11. Quantidade de estudantes por grupo de resposta.....	141
Quadro 12- Exemplos de respostas dadas pelos estudantes na questão 11.....	142
Quadro 13 - Sequência didática.....	153
Quadro 14 - Relação de itens do kit experimental.	203
Quadro 15 - Relação de materiais para construção do espectroscópio.....	207

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

FMEM - Física Moderna no Ensino Médio

FM - Física Moderna

EM - Ensino Médio

PCNEM - Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio

TIC - Tecnologia de Informação e Comunicação

TCLE - Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	23
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	27
2.1 O ÁTOMO DE BOHR.....	27
2.2 O USO DA HISTÓRIA DA CIÊNCIA.....	28
2.3 O USO DAS SIMULAÇÕES NO ENSINO DE FÍSICA.....	30
2.4 PHET COLORADO.....	32
3 SEQUÊNCIA DIDÁTICA.....	35
3.1 PRIMEIRA PARTE - A ESPECTROSCOPIA DO SÉCULO XIX.....	37
3.1.1 AULA 1 - O QUE SÃO AS ESTRELAS? POR QUE NOS IMPORTAMOS COM ELAS?.....	38
3.1.2 AULA 2 - COMO SABEMOS DO QUE O SOL É FEITO SE O HOMEM NUNCA FOI ATÉ LÁ?.....	39
3.1.3 AULA 3 - O CÓDIGO DAS CORES.....	40
3.1.4 AULA 4 - AFINAL, O QUE É ESPECTROSCOPIA?.....	41
3.1.5 AULA 5 - QUAL É A COR DE UMA LÂMPADA?.....	42
3.1.6 AULA 6 - ANALIZANDO O CÓDIGO DAS CORES.....	43
3.1.7 AULA 7 - LEVANTANDO HIPÓTESES SOBRE A EMISSÃO DE LUZ.....	45
3.2 SEGUNDA PARTE - OS MODELOS ATÔMICOS DO SÉCULO XX.....	46
3.2.8 AULA 8 - A NATUREZA ÍNTIMA DA MATÉRIA SE REVELA.....	46
3.2.9 AULA 9 - LEVANTANDO HIPÓTESES SOBRE A NATUREZA ÍNTIMA DA MATÉRIA.....	47
3.2.10 AULA 10 - MAX PLANCK E O NASCIMENTO DA MECÂNICA QUÂNTICA.....	48
3.2.11 AULA 11 - ALBERT EINSTEIN E OS QUANTA DE LUZ..	49
3.2.12 AULA 12 - A QUANTIZAÇÃO DA ENERGIA E O MODELO ATÔMICO DE BOHR.....	50
3.2.13 AULA 13 - OS SALTOS QUÂNTICOS NO ÁTOMO DE HIDROGÊNIO.....	51
4 INTERVENÇÃO DIDÁTICA.....	53
4.1 AULA 1.....	54
4.2 AULA 2.....	57

4.3 AULA 3	60
4.4 AULA 4	63
4.5 AULA 5	67
4.6 AULA 6	74
4.7 AULA 7	77
4.8 AULAS 8 E 9	85
4.9 AULA 10	96
4.10 AULA 11	104
4.12 AULA 13	117
5 ANÁLISE DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA	125
6 CONCLUSÃO	145
RREFERÊNCIAS	151
ANEXO A – SEQUÊNCIA DIDÁTICA E PLANO DE AULAS...153	
AULA 1	157
AULA 2	158
AULA 3	160
AULA 4	168
AULA 5	170
AULA 6	175
AULA 7	176
AULA 8	178
AULA 9	187
AULA 10	188
AULA 11	190
AULA 12	195
AULA 13	197
ANEXO B – KIT EXPERIMENTAL.....	203
ANEXO C – ESPECTROSCÓPIO DE BAIXO CUSTO	207
ANEXO D – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO	211
ANEXO E - AVALIAÇÃO FINAL	215

1 INTRODUÇÃO

A luz está entre os objetos mais desafiadores, importantes e controversos da Física. É, da mesma forma, protagonista de grandes invenções tecnológicas, desde tempos remotos até os dias de hoje. É pela luz que o homem vê o mundo, seja pela percepção direta ou através de dispositivos que lhe permitam enxergar além e aquém das cores do espectro visível.

O estudo da luz remonta de tempos bastante antigos. O ano de 2015 coincide com a celebração do milésimo aniversário do surgimento de Kitab al-Manazir, o notável tratado de sete volumes sobre óptica escrito pelo cientista árabe Ibn al-Haytham. Em seu tratado, Ibn al-Haytham expõem suas ideias acerca da luz, das cores e do mecanismo da visão. Sua obra também explorava fenômenos como a reflexão e a refração.

Na 68ª Assembleia Geral da UNESCO, realizada em 20 de dezembro de 2013, o ano de 2015 foi proclamado como Ano Internacional da Luz, sendo uma forma de reconhecer o papel que o estudo da luz desempenhou no conhecimento Físico, bem como fomentar os estudos sobre a luz e suas tecnologias.

Contudo, não foi apenas pela celebração dos 1000 anos de estudos da óptica que o tema da espectroscopia foi escolhido como um dos objetos deste trabalho. O ensino de Física é reconhecidamente um vasto campo de pesquisa. A atividade docente nesta área é marcada por enormes desafios, das mais variadas naturezas, das quais há particular interesse na inserção de conceitos de Física Moderna no ensino médio (a), na história da ciência (b) e no emprego de simulações computacionais (c).

A abordagem da Física Moderna no Ensino Médio (FMEM) tem sido objeto de estudo (PEREIRA; OSTERMANN, 2009) e preocupação. No século passado Terrazan (1992) compartilhava a preocupação de alguns pares em iniciar nas escolas o ensino da Física do século XX antes que ele acabasse. O século XX acabou e o ensino da Física Moderna (FM) ainda parece pouco presente nas práticas de ensino atuais. Atualmente, temos uma lacuna equivalente a um século inteiro de uma nova Física, praticamente ausente das salas de aula do Ensino Médio (EM).

A importância de se ensinar a FM não decorre apenas de suas conexões com o mundo tecnológico atual. Seu estudo evidencia características marcantes do conhecimento científico (TERRAZAN, 1992), como as mudanças de paradigmas, uso de modelos, dentre outras.

O ensino da FM pode propiciar um melhor entendimento sobre as mudanças de paradigmas na ciência, sobre o papel do cientista na construção do conhecimento, bem como da prática científica. É importante salientar este aspecto, pois ainda encontra-se ênfase ao ensino de física baseado na resolução de uma determinada classe de problemas, e que portanto, exige a necessidade de que os conteúdos a serem contemplados pelos currículos do EM sejam justamente aqueles que viabilizem o emprego desta classe de problemas na avaliação do aprendizado dos estudantes. Tal abordagem é por vezes classificada como ensino tradicional.

Outro aspecto importante diz respeito ao descompasso entre o contexto no qual os estudantes do EM estão inseridos e o currículo de Física (OLIVEIRA; VIANNA; GERBASSI, 2007). Novos dispositivos tecnológicos de informação tem presença marcante no dia-a-dia. Além disso, a divulgação de fatos científicos pelos mais variados meios de informação e comunicação, disseminam todo um ideário e terminologia científicas, os quais não fazem parte do programa de Física para o EM, e muitas vezes sequer estão presentes nos livros didáticos, muito embora tal ideário circule entre os estudantes. Por outro lado, os Parâmetros Curriculares Nacionais vem propondo mudanças bastante significativas no EM (OLIVERIA; VIANNA; GERBASSI, 2007) de modo que este seja capaz de oferecer aos estudantes uma formação mais voltada para a cidadania e conseqüentemente, lhes propicie uma participação mais ativa na sociedade.

O mito de que temáticas de FM estariam distantes do entendimento dos estudantes do EM mostra-se cada vez menos relevante. Estudos sugerem (OLIVERIA; VIANNA; GERBASSI, *apud* OSTERMANN; MOREIRA, 2000) que as dificuldades de aprendizagem são similares aquelas encontradas pelos estudantes nos demais conceitos da Física Clássica, os quais são amplamente difundidos nos livros didáticos. Assim, a abordagem da FMEM parece apresentar outros desafios, dentre os quais destacamos a escassez de material didático apropriado, a necessidade da formação de professores e ausência de metodologias diferenciadas em relação as abordagens tradicionais.

Diante deste quadro, a proposta deste trabalho é explorar as potencialidades e limitações da inserção de conceitos de Física Moderna no EM. Para tanto, optou-se por uma proposta para ensino do Átomo de Bohr, tomando a Espectroscopia como ponto de partida. Esta escolha possibilitou incorporar uma atividade experimental investigativa para evidenciar a necessidade da construção de um modelo atômico capaz de

descrever os espectros de emissão atômicos. Contudo, o percurso histórico envolvido na evolução do conhecimento científico sobre os átomos constitui um episódio marcante para o desenvolvimento da própria Física. Se existe a pretensão de ensinar minimamente aos estudantes um pouco mais sobre os aspectos epistemológicos envolvidos na construção do conhecimento científico, então é importante levar em conta uma concepção epistemológica não empirista acerca do átomo de Bohr (PEDUZZI; BASSO, 2005). Assim, a sequência didática proposta foi elaborada de maneira a permitir uma abordagem histórica acerca do papel desempenhado pela espectroscopia na evolução dos modelos atômicos, bem como permitiu evidenciar minimamente o papel dos modelos na construção do conhecimento físico, além de contemplar o contexto teórico-experimental no qual o modelo do Átomo de Bohr foi proposto, evitando a visão empirista encontrada em muitos livros didáticos de Física, acerca destes conceitos (PEDUZZI; BASSO, 2005).

Por outro lado, o estudo do Átomo de Bohr apresenta considerável abstração para os estudantes (MCKAGAN; PERKINS; WIEMAN, 2008), o que motivou o uso da simulação sobre modelos atômicos disponível no projeto Phet Colorado. A sequência didática foi elaborada com um conjunto de 14 aulas, divididas em dois blocos. As aulas 1 a 9 foram propostas para explorar os conceitos relacionados a espectroscopia e as aulas 10 a 14 para explorar os conceitos relacionados aos modelos atômicos. No primeiro bloco foi dada ênfase ao aspecto histórico da espectroscopia. Outro aspecto bastante pertinente neste primeiro bloco de aulas foi a realização de uma atividade experimental investigativa acerca dos espectros de emissão de três lâmpadas (filamento, vapor de sódio e vapor de mercúrio) que foram observados por meio de espectroscópios de baixo custo construídos pelos próprios estudantes. No segundo bloco, a ênfase foi dada aos modelos atômicos, com destaque para o modelo de Bohr para o átomo de hidrogênio, onde foi enfatizado o papel dos modelos na construção do conhecimento científico. O contexto histórico foi minimamente tratado e para tanto, os trabalhos de J. J. Thomson e E. Rutherford foram explorados, bem como o papel desempenhado pelos estudos da radiação no início do século XX. Além disso, e o surgimento das primeiras ideias relacionadas à Mecânica Quântica, mais precisamente, os trabalhos de M. Planck, sobre a radiação de corpo negro, e A. Einstein, sobre o efeito fotoelétrico, também foram abordados.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Tendo como objetivo maior a elaboração de um plano de aulas que contemplasse a inserção de conceitos de Física Moderna no Ensino Médio, naturalmente o ponto de partida foi escolher um dentre os vários temas possíveis. Contudo, por haverem também outros interesses, foi necessário escolher um tema que permitisse reunir outros elementos que propiciassem metodologias diferenciadas em relação a prática docente tradicional, tais como a atividade experimental, uso de simulações e abordagem histórica. Outro ponto muito importante a ser viabilizado seria a possibilidade de transitar entre a Física Clássica e a Física Moderna de maneira que ficasse evidente a ruptura entre estes dois estágios do conhecimento físico.

Frente a estes objetivos fez-se necessário inteirar-se minimamente acerca da abordagem de conceitos de física moderna no ensino médio das escolas brasileiras. Um levantamento acerca da produção acadêmica referente aos temas de FMEM, realizado por Pereira e Ostermann (2009), revelou relativa escassez de trabalhos relacionados a produção de propostas didáticas testadas em sala de aula. Contudo, anais de eventos como SNEF, ENPEC e EPEF indicam esforços na mudança deste quadro, o que motivou a elaboração e aplicação de um plano de aulas para o tema escolhido.

Tendo estas premissas como ponto de partida, o ensino do modelo do Átomo de Bohr mostrou-se capaz de viabilizar as possibilidades desejadas, as quais serão detalhadas a seguir.

2.1 O ÁTOMO DE BOHR

O estudo dos modelos atômicos no ensino médio não é exatamente uma novidade uma vez que no programa tradicional do ensino médio, este tópico faz parte do currículo da disciplina de química. Contudo, a história dos modelos atômicos mostra a influência deste tema na produção do conhecimento físico. Em especial, o estudo dos modelos atômicos evidencia características marcantes da produção de conhecimento científico, dentre estes, a controvérsia científica como elemento desafiador, a evidência experimental que faz emergir um novo modelo e decreta o abandono do modelo vigente (MCKAGAN; PERKINS; WIEMAN, 2008) e o papel do cientista na construção do conhecimento.

Com o objetivo de refutar a tese de que o estudo do átomo de Bohr seria um obstáculo para o aprendizado do átomo de Schroedinger,

Mckagan, Perkins e Wieman (2008) sugerem uma abordagem diferenciada deste tema para estudantes do ensino superior. Seus estudos mostraram que o ensino do átomo de Bohr pode ser frutífero quando abordado com metodologias diferenciadas. As dificuldades apresentadas pelos estudantes mostraram-se fortemente relacionadas com o nível de abstração exigido para compreender os processos de absorção e emissão de energia, o que está diretamente relacionado com a principal característica do modelo de Bohr, ou seja, a quantização de energia nos átomos, característica marcante evidenciada pela análise de espectros luminosos. Esta dificuldade levou ao desenvolvimento de duas simulações computacionais, disponíveis no sítio do projeto Phet Colorado: Espalhamento de Rutherford (1) e Modelos do Átomo de Hidrogênio (2). As simulações podem ser baixadas gratuitamente em <https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/category/physics>. A escolha pelo tema do átomo de Bohr permitiu incorporar o uso destas e outras simulações ao plano de aulas.

Outro elemento fundamental relacionado ao modelo do átomo de Bohr diz respeito aos espectros de emissão e absorção. A espectroscopia teve início no século XIX, com fundamentação puramente fenomenológica, e constituiu um elemento decisivo para o desenvolvimento da FM (IVANJEK *et al*, 2015a). A teoria capaz de explicar os espectros de emissão e absorção originou-se justamente da revolução ocorrida na Física, advinda da teoria dos quanta, empregada por Bohr ao seu modelo atômico.

Por outro lado, a associação dos espectros de emissão e absorção com os níveis de energia quantizados e as transições quânticas, presentes no modelo atômico de Bohr exige grande capacidade de abstração por parte de estudantes. Os estudos de Ivanjek *et al* (2015a, 2015b) mostraram como a pesquisa em ensino de física pode sugerir melhorias significativas na compreensão dos estudantes, em especial, no entendimento dos espectros de emissão e absorção de luz pelo átomo, motivando assim a elaboração de uma abordagem diferenciada daquelas frequentemente sugeridas pela prática tradicional.

2.2 O USO DA HISTÓRIA DA CIÊNCIA

A legislação brasileira (BRASIL, 2009) recomenda que o ensino de ciências seja capaz de propiciar aos estudantes uma visão moderna acerca da construção do conhecimento científico, mostrando o papel do homem como protagonista neste processo, bem como suas implicações na sociedade. O ensino de ciências deve, portanto, permitir ao indivíduo

inserir-se e inteirar-se das discussões sociais e políticas relacionadas aos fatos científicos pertinentes ao seu cotidiano.

Considerando estes aspectos, a componente histórica é um elemento crucial para uma melhor compreensão e abordagem epistemológica da ciência. A fim de evitar uma percepção empirista da ciência Peduzzi e Basso (2005) apontam que o ensino do átomo de Bohr deve contemplar o contexto histórico à época em que o referido modelo foi proposto. Este estudo sugere que os livros didáticos que abordam o referido tema não são capazes de atender a este critério. Dessa forma, o desenvolvimento do plano de aulas foi elaborado de maneira a permitir aos alunos um vislumbre de momentos importantes do cenário histórico relacionado ao desenvolvimento inicial da espectroscopia, bem como aquele relacionado aos primeiros anos do século XX, o qual influenciou o programa de pesquisa de Bohr, com o intuito de evitar incorrer no mesmo problema dos livros didáticos que abordam este tema (PEDUZZI; BASSO, 2005).

De acordo com Cordeiro e Peduzzi (2011), os primeiros anos de desenvolvimento da radioatividade pode subsidiar discussões bastante relevantes acerca da natureza da ciência e do fazer científico. Os estudos da radioatividade tiveram implicações diretas na construção dos modelos atômicos precedentes ao modelo de Bohr, em especial, para os trabalhos de Ernest Rutherford e o experimento de Geiger-Marsden.

Assim, um enfoque que leve em conta aspectos do momento histórico pode prover uma melhor compreensão dos estudantes acerca do fazer científico frente a uma visão epistemológica não empirista, evidenciando o trabalho colaborativo, o papel não somente comprobatório mas também revelador da atividade experimental, bem como o protagonismo desempenhado pelo cientista na construção do conhecimento.

Longe de pretender incorporar com profundidade a componente histórica, neste trabalho foi sugerido um plano de aulas onde a mesma aparecesse como elemento integrante mas não principal, dando lugar a ênfase matemática tradicionalmente relegada a disciplinada de Física.

Objetivou-se que as possibilidades suscitadas pela história da ciência permitissem aos estudantes refletirem sobre aspectos bastante peculiares do conhecimento científico, dentre estes, a ruptura com as concepções vigentes frente à novas evidências experimentais, deflagrando a busca e a construção de um novo conhecimento, revelando, assim, o caráter limitado das verdades científicas e por isso mesmo, a necessidade da reformulação do conhecimento científico.

Segundo Silva e Moraes (2015), um dos maiores obstáculos encontrados quando se pretende abordar a história da ciência consiste da carência de material didático. Por conta desta dificuldade, optou-se por delinear minimamente os aspectos históricos, de maneira que fossem suficientes para trazer a luz algumas discussões preliminares, suficientes para evidenciar a atividade científica como construção humana, bem como evidenciar a controvérsia científica.

Como o objetivo maior deste trabalho envolve o uso de simulações, o aspecto histórico ficou em um plano mais superficial. Uma análise mais profunda do papel da história da ciência no ensino da espectroscopia foi feita por Silva e Moraes (2015).

2.3 O USO DAS SIMULAÇÕES NO ENSINO DE FÍSICA

O uso de aparatos tecnológicos na educação já ocorre desde tempos bastante remotos. Segundo Oppenheimer, *ibid* (2002, *apud* MEDEIROS E MEDEIROS) em 1922 Thomas Edison já fazia referência ao uso do cinema como recurso educacional revolucionário que suplantaria amplamente, senão totalmente o livro didático. Muitos outros dispositivos tecnológicos surgiram desde então e alguns deles, igualmente figuraram como promessas revolucionárias para o meio educacional.

Apesar do surgimento de várias tecnologias, a partir das quais sugeria-se o seu emprego nas salas de aula, os insucessos educacionais relacionados a tais dispositivos sempre foram creditados a diversos fatores, tais como o despreparo dos educadores ou mesmo falta de adequação das escolas (MEDEIROS; MEDEIROS, 2002).

Atualmente, o recurso educacional tecnológico mais proeminente é sem dúvida o computador e as tecnologias de informação e comunicação (TIC) a ele associadas. Apesar de sua inquestionável versatilidade de uso e promissor potencial como ferramenta de suporte educacional, os recursos das TICs, por si só, não garantem aos estudantes uma boa aprendizagem. Aliás, pode-se dizer o mesmo de qualquer recurso educacional; a participação do professor como agente ativo nos processos de ensino aprendizado é necessária e determinante (Yeo *et al.*, *apud* MEDEIROS; MEDEIROS, 1998).

Por outro lado, as simulações podem oferecer ganhos bastante significativos quando associadas a práticas pedagógicas que estejam alinhadas aos pressupostos conceituais por de trás da elaboração das simulações (WIENMAN; PERKINS; ADAMS, 2007). Isto decorre do fato de que as simulações computacionais apresentam modelos inerentes

a sua constituição e a estes modelos associam-se aproximações matemáticas que os viabilizam. Além disso, a concepção destes recursos envolve pressupostos epistemológicos que nem sempre ficam claros para aqueles que se utilizam de tais simulações.

Deste modo, é muito importante que as bases epistemológicas, bem como os modelos associados as simulações, sejam também explorados por professores e estudantes, de modo que até mesmo as limitações inerentes as simulações possam figurar como objeto de aprendizagem, pois permite evidenciar as limitações inerentes aos processos de modelização de fenômenos naturais. O potencial heurístico destas limitações podem figurar como oportunidades para que professores e estudantes explorem a complexidade adjacente à descrição da realidade, inerentes a atividade científica.

Outro ponto bastante relevante e que deve ser considerado como elemento chave no uso das simulações é a possibilidade de explorar circunstâncias de extrema peculiaridade, tais como aquelas que envolvem uma abordagem ao mundo microscópico. Neste aspecto, Wieman, Perkins e Adams (2007) afirmam:

Uma das vantagens das simulações é que nós podemos mostrar o que não é ordinariamente visível para os olhos (por exemplo, átomos, elétrons, fótons e campos elétricos) e como os especialistas modelam seu comportamento. (WIEMAN; PERKINS; ADAMS, 2007, p. 396)¹.

Dessa forma, as simulações podem ser particularmente úteis quando a experimentação real for impossível de ser reproduzida pelos estudantes (MEDEIROS; MEDEIROS, 2002), quer seja pela inviabilidade técnica, inexistência ou precariedade dos laboratórios didáticos ou pelos riscos inerentes à atividade experimental que se pretende realizar. Cabe ressaltar que os experimentos reais desempenham um papel de grande relevância, uma vez que podem prover aos estudantes outras vantagens pedagógicas, as quais fogem ao escopo deste trabalho². Assim, ao elaborar o plano de aulas foi dedicada grande atenção aos aspectos envolvidos com o uso de simulações para

¹ Tradução livre.

² Atentando para este aspecto, procurou-se associar ao plano de aulas ao menos uma atividade experimental (sobre espectroscopia) e o uso de pelo menos uma simulação (modelo de Bohr para o Átomo de Hidrogênio). Cada uma destas atividades corresponde ao fechamento de um ciclo de aulas no plano de ensino proposto.

fins didáticos, relevando com cuidado tanto as suas limitações, quanto as suas potencialidades.

2.4 PHET COLORADO

O projeto Phet Colorado³ é um repositório de simulações educacionais fundado em 2001 por Carl E. Wieman⁴. Atualmente o projeto é mantido pelo apoio das entidades Hewlett Foundation⁵, NFS⁶, O'Doonell Foundation⁷ e Moore Foundation⁸. O projeto disponibiliza simulações para as áreas de Física, Química, Matemática, Biologia e Ciências da Terra. Todas as simulações são de uso livre e podem ser baixadas individualmente a partir do sítio do projeto (Figura 1). Opcionalmente o usuário pode baixar o conteúdo completo do sítio e instalá-lo localmente em seu computador. O projeto organiza as simulações em um catálogo e ao selecionar uma das simulações clicando sobre sua imagem, o usuário pode acessar a descrição detalhada da mesma, além de poder obter sugestões de uso a partir de um repositório de atividades desenvolvidas e sugeridas por professores de diversas partes do mundo⁹.

Segundo Wieman, Perkins e Adams (2007) as simulações Phet Colorado são elaboradas levando em conta vários aspectos que visam potencializar as simulações como ferramentas educacionais. Um destes aspectos diz respeito à percepção que os estudantes tem das simulações na fase em que elas estão sendo desenvolvidas.

Um programa típico de desenvolvimento para uma simulação do projeto Phet Colorado envolve de 4 a 6 membros. A equipe é composta por voluntários, engenheiros de software e especialistas de ciência educacional. O desenvolvimento das simulações sempre se baseia em duas premissas fundamentais: que características tornam as simulações mais efetivas (a) e como as mesmas devem ser utilizadas para prover o aprendizado (b).

³ Sítio do projeto em português (brasileiro): <https://phet.colorado.edu/pt_BR/>

⁴ Físico experimental estadunidense. Recebeu o prêmio Nobel de Física de 2001, juntamente com Eric Allin Cornell, pela criação experimental do condensado de Bose-Einstein. O desenvolvimento de simulações para o ensino de física foi inspirado pelo uso das simulações utilizadas para divulgar a sua pesquisa em condensados de Bose-Einstein. Wieman constatou o impacto das simulações sobre o público em suas palestras.

⁵ <<http://www.hewlett.org>>

⁶ <<http://www.nsf.gov>>

⁷ <<http://www.odf.org>>

⁸ <<https://www.moore.org>>

⁹ As atividades propostas por professores são submetidas e avaliadas pela equipe do projeto antes de serem disponibilizadas para download.

Figura 1 - Repositório de simulações do projeto Phet Colorado.

The image shows the PhET Interactive Simulations website interface. At the top, the PhET logo is displayed with the tagline "Mais de 200 milhões de simulações distribuídas." and the University of Colorado Boulder logo. A search bar is present. Below the header, there are navigation options: "Contribua para PhET", "DOE HOJE", "SIMS HTML5", and an HTML5 logo. A left sidebar lists categories such as "Início", "Simulações", "Novas Sims", "Física", "Biologia", "Química", "Ciências da Terra", "Matemática", "Por Nivel de Ensino", "Por Dispositivo", "Pesquisa de Ponta", "Todas as Sims", "Traduzir Sims", "Recursos para Professores", "Como Rodar as Simulações", "Solução de Problemas", "Perguntas Frequentes Para Tradutores", "Doar", "Pesquisa", "Licensing", and "Sobre a PhET". The main content area is titled "Todas as Sims" and features a grid of simulation thumbnails. Each thumbnail includes a small preview image and a title in Portuguese: "Adição de Vetores", "Aalongamento DNA", "A RAMPA", "Aritmética", "Balões e Empuxo", "blackbody-spectrum", "Cálculo no Gráfico", "Campo Elétrico dos Sonhos", "Canais da Membrana", "Capacitor", "Cargas e Campos", and "Circuito Bateria-Resistor". A "Trocar para Index" link is visible in the top right of the grid area.

Fonte: <https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations>.

O desenvolvimento de uma simulação envolve testes preliminares com estudantes, de maneira a detectar qual a percepção que os mesmos tem ao utilizá-las. Os estudantes são entrevistados e encorajados a opinarem sobre suas experiências como usuários. A partir da análise destas informações os elaboradores do programa podem detectar a necessidade de alterações no projeto. Assim, antes que um programa seja disponibilizado para uso, o mesmo é submetido à testes preliminares que visam não apenas corrigir eventuais erros de execução mas também aprimorar a simulação para que a mesma seja capaz de engajar os estudantes em um processo ativo de aprendizagem.

Ainda segundo Wieman, Perkins e Adams (2007) as simulações desenvolvidas pelo projeto são muito poderosas, mas não necessariamente benéficas, pois dependem de como serão interpretadas pelos estudantes. Este aspecto reforça a necessidade de que o seu uso esteja alinhado com uma prática educacional atenta aos propósitos envolvidos na elaboração das referidas simulações. Por isso, é importante que o uso das simulações do projeto Phet Colorado seja vinculado à leitura do material disponibilizado para o professor.

3 SEQUÊNCIA DIDÁTICA

A proposta deste trabalho é apresentar e analisar uma abordagem para a inserção de conceitos de FM no EM. A fim de realizar uma intervenção didática com este objetivo, foi elaborado um plano de aulas que contemplasse minimamente o contexto histórico-experimental relacionado ao modelo atômico de Bohr para o átomo de hidrogênio, qual foi o tema de FM escolhido, e que fosse ao mesmo tempo capaz de ser conciliável com o programa tradicional, no sentido de que fosse este um ponto de partida, possibilitando chegar ao tópico pretendido evidenciando as conexões históricas.

O programa foi desenvolvido pensando em turmas do segundo ano do EM, pois tradicionalmente é nesta etapa que encontram-se conceitos relacionados com o estudo da luz. Como se sabe, o modelo atômico de Bohr para o átomo de hidrogênio está diretamente relacionado com a espectroscopia. Certamente existem vários desdobramentos possíveis e muitas outras interconexões adjacentes ao desenvolvimento do modelo atômico de Bohr, mas aqui optou-se como ponto de partida o estudo dos espectros de emissão. Assim, a sequência didática proposta se divide em duas partes. A primeira parte consiste dos estudos da espectroscopia do século XIX e a segunda parte contempla a transição entre os modelos atômicos de J. J. Thomson, E. Rutherford e o modelo atômico de Bohr.

Para cada uma das partes foi proposta uma atividade avaliativa de fechamento, diferenciada das avaliações tradicionais e que desempenhasse um papel de destaque dentro da sequência didática. Para a primeira parte sugeriu-se a realização de uma atividade experimental, na qual os estudantes construíram um espectroscópio e baixo custo para observarem os espectros de emissão de lâmpadas de vapor de sódio, de vapor de mercúrio e de filamento. Para a segunda parte sugeriu-se o uso da simulação Phet Colorado para o Átomo de Hidrogênio, na qual os estudantes puderam analisar e comparar as características entre alguns modelos atômicos, verificando suas aplicabilidades e suas limitações, dando ênfase ao mecanismo de emissão e absorção de luz proposto pelo modelo atômico de Bohr para explicar os espectros de emissão.

A fim de promover uma contextualização mínima, cada uma das partes inicia com uma pergunta desencadeadora. Para a primeira parte, onde os estudos da espectroscopia foram contemplados, as aulas foram conduzidas pela temática relacionada à composição das estrelas partindo da seguinte pergunta: como sabemos de que é feito o Sol se nunca fomos até lá? Partindo deste questionamento, a sequência didática segue

com temas relacionados ao desenvolvimento da espectroscopia, onde é dada maior ênfase ao contexto histórico, experimental e ao papel da controvérsia científica, deflagrada pelas discussões acerca das linhas de Joseph Fraunhofer. Para a segunda parte, onde foram abordados o estudo dos modelos atômicos do início do século XX, a sequência didática foi conduzida a partir de um questionamento derivado da atividade experimental da primeira etapa: por que elementos químicos distintos apresentam espectros de emissão diferentes? Partindo deste questionamento, a sequência didática segue com temas relacionados aos modelos atômicos de J. J. Thomson, E. Rutherford e N. Bohr. Nesta etapa foi destacado a controvérsia em torno da explicação para a estabilidade do átomo.

Outro aspecto importante da sequência didática diz respeito ao emprego da história da ciência. Optou-se por uma abordagem que evidenciasse algumas características da elaboração do conhecimento científico como atividade humana, bem como o papel dos modelos para a construção deste conhecimento.

Finalmente cabe ressaltar que a sequência didática proposta pressupõem alguns conhecimentos anteriores não necessariamente obrigatórios, porém desejáveis. A primeira etapa da sequência didática, que contempla a espectroscopia, poderá ser melhor explorada se os estudantes possuírem conhecimentos básicos de óptica (lentes, decomposição, refração e difração), bem como conhecimentos básicos sobre o movimento ondulatório, em especial acerca da controvérsia onda-partícula para luz, protagonizada por Isaac Newton e Christiaan Huygens, bem como sobre o experimento da dupla fenda realizado por Thomaz Young¹⁰.

A sequência didática e o plano de aulas encontram-se integralmente disponíveis no anexo II. O Quadro 1 dispõem a sequência de aulas e os temas destas aulas.

¹⁰ Na construção do espectroscópio caseiro, o mecanismo utilizado para decompor a luz foi uma rede de difração. Esta forma de decompor a luz difere do uso de um prisma, pois nas redes de difração a decomposição decorre da diferença dos comprimentos de onda das cores em relação as dimensões da malha da rede. É neste sentido que os conteúdos sobre ondulatória, mencionados no texto podem favorecer a atividade experimental, pois permitirão melhor explorar o fenômeno envolvido no funcionamento do espectroscópio utilizado.

Quadro 1 - Sequência de aulas e respectivos temas.

Aula 1 O que são as estrelas? Por que nos importamos com elas?
Aula 2 Como sabemos do que o Sol é feito se o homem nunca foi até lá?
Aula 3 O código das cores.
Aula 4 Afinal, o que é a espectroscopia?
Aula 5 Qual é a cor de uma lâmpada?
Aula 6 Analisando o código das cores.
Aula 7 Levantando hipóteses sobre a emissão de luz.
Aula 8 A natureza íntima da matéria se revela.
Aula 9 Levantando hipóteses sobre a natureza íntima da matéria.
Aula 10 Max Planck e o nascimento da mecânica quântica.
Aula 11 Albert Einstein e os quanta de luz.
Aula 12 A quantização da energia e o modelo atômico de Bohr.
Aula 13 Os saltos quânticos no átomo de hidrogênio.
Aula 14 - Sugerida O apagar das luzes.

3.1 PRIMEIRA PARTE - A ESPECTROSCOPIA DO SÉCULO XIX

A escolha da espectroscopia do século XIX como ponto de partida decorre de sua aplicação nas técnicas de identificação de elementos químicos a partir dos espectros de emissão de luz.

Além disso, permitiu uma abordagem histórica que evidenciasse algumas características da construção do conhecimento científico, o papel dos experimentos, tanto como atividade investigativa quanto de comprovação nesta construção, e as controvérsias científicas, como foi o caso das linhas de Fraunhofer. Além disso, como já mencionado, o conhecimento proporcionado pela espectroscopia acerca dos espectros de emissão dos elementos apresenta conexão direta com a proposta do modelo de Bohr para o átomo de hidrogênio, permitindo desta forma, evidenciar algumas conexões históricas entre a primeira e a segunda etapa da sequência didática.

3.1.1 AULA 1 - O QUE SÃO AS ESTRELAS? POR QUE NOS IMPORTAMOS COM ELAS?

O principal objetivo desta aula foi caracterizar as estrelas como fontes de energia radiante e discutir o papel do ciclo das estrelas na síntese dos elementos químicos. Além disso, o conhecimento acerca do ciclo evolutivo das estrelas está relacionado com o desenvolvimento de teorias cosmológicas, estando também relacionados à conceitos básicos sobre produção e emissão de radiação pelas estrelas.

Dessa forma, os conteúdos físicos envolvidos nesta aula contemplaram conceitos básicos sobre a produção e emissão de energia pelas estrelas na forma de radiação.

Esta aula exigiu o uso de dispositivos de mídia para exibição de um vídeo, o qual está disponível no Youtube¹¹ (pode-se optar pelo uso de um laboratório de informática com acesso à internet para que os estudantes assistam ao vídeo em pequenos grupos, ou então pela exibição em sala de aula, o que implica no uso de um computador com acesso à internet, um projetor e uma tela para projeção).

A aula foi subdividida em três momentos. No primeiro momento (15 min), para introduzir a temática das estrelas foi exibido o vídeo ABC da Astronomia (ep. 6) - Estrelas, que trata brevemente do ciclo de vida das estrelas. Após a apresentação do vídeo foi iniciada uma breve discussão com os estudantes acerca da importância do conhecimento sobre a composição das estrelas e como ele pode contribuir para o conhecimento sobre os processos que ocorrem no interior das estrelas, enfatizando que a partir da composição das estrelas é possível inferir sobre o ciclo de vida destes astros e que estes processos são importantes na formulação de teorias sobre a origem do universo (é importante que

¹¹ O link para o vídeo encontra-se no plano de aulas, aula 1, disponível no anexo A.

os estudantes tenham claramente a ideia do papel do Sol e sua influência sobre nosso planeta e isto por si só já constitui justificativa suficiente para elegê-lo como objeto de análise).

No segunda momento da aula (15 min), as discussões foram conduzidas de modo que ficasse evidente para os estudantes a escolha do Sol como a estrela a ser analisada, dada a sua influência em nosso planeta e conseqüentemente, na vida do homem. A seguir os estudantes foram questionados acerca de como seria possível descobrir a composição do Sol, questionando-os sobre do que dispomos para analisar aqui na Terra que tenha vindo do Sol. O objetivo desta pergunta foi estimular as discussões entre os estudantes, de tal modo que os permitissem concluir que a única "informação" de que dispomos é a luz oriunda do Sol. Neste momento foi apresentada a questão desencadeadora da primeira etapa do plano de aulas: como sabemos do que o Sol é feito se o homem nunca foi até lá?

A terceira parte da aula (20 min) foi destinada a organizar a formação dos grupos para a atividade de pesquisa sobre como os cientistas são capazes de conhecer a composição das estrelas, bem como eleger os critérios mínimos para a pesquisa e sobre as fontes a serem utilizadas, enfatizando a importância desta atividade para a aula seguinte.

3.1.2 AULA 2 - COMO SABEMOS DO QUE O SOL É FEITO SE O HOMEM NUNCA FOI ATÉ LÁ?

Nesta aula foram discutidos aspectos relacionados a análise da luz do Sol e o funcionamento do espectroscópio, estabelecendo a espectroscopia como atividade científica, apresentando minimamente o contexto histórico na qual ela estava inserida. Esta aula ocorreu de forma essencialmente dialogada, pois foram apresentados pelos estudantes os resultados de suas pesquisas.

Os conteúdos físicos envolvidos nesta aula contemplaram conceitos de refração, difração e dispersão da luz. Por tratar-se de uma aula expositiva dialogada nenhuma recurso instrucional além do quadro e giz foi necessário.

A aula foi subdividida em dois momentos. No primeiro momento (20 min) os estudantes apresentaram o resultado de suas pesquisas a partir de uma breve exposição oral. Desta exposição oral foram extraídas informações relevantes para encaminhar as discussões sobre a espectroscopia. São pertinentes as falas onde figuraram nomes de

cientistas, fatos históricos e conceitos físicos relacionados com a espectroscopia do século XIX.

O segundo momento da aula (30 min) foi destinado a explorar as informações pontuadas no primeiro momento da aula, considerando-se dois desdobramentos, sendo o primeiro histórico e o segundo conceitual, a serem explorados ao longo das aulas seguintes. O encaminhamento da aula foi dado pela discussão das seguintes questões: 1) todas as estrelas tem a mesma cor? 2) será que todas as estrelas emitem a "mesma luz"? 3) se as estrelas emitem "luzes diferentes", qual seria esta diferença? 4) o que o espectroscópio faz com a luz? por que ele precisa ser utilizado?

Possivelmente estas questões se alinhem com as informações levantadas pelos estudantes, as quais foram destacadas no primeiro momento da aula. Não ocorrendo desta forma, as discussões deverão ser conduzidas objetivando-se este alinhamento. Neste momento ainda não é importante buscar a relação entre a composição do espectro e a composição química das estrelas. A ênfase deve, sim, ser dada ao fato de que fontes distintas podem produzir espectros distintos.

Outro ponto explorado neste momento da aula diz respeito aos fenômenos envolvidos no funcionamento do espectroscópio, estimulando os estudantes a reconhecê-los e a discutir o papel desempenhado por estes no dispositivo em questão.

Por fim, observou-se se cientistas foram mencionados nas pesquisas realizadas e apresentadas pelos estudantes no primeiro momento desta aula, bem como quais deles foram mencionados, destacando-os para a próxima aula, onde serão abordados aspectos históricos da espectroscopia do século XIX.

3.1.3 AULA 3 - O CÓDIGO DAS CORES

O objetivo desta aula foi apresentar minimamente o contexto histórico da espectroscopia do século XIX, mencionando os principais cientistas que contribuíram com o desenvolvimento da espectroscopia como atividade de investigação científica, bem como propiciar discussões sobre os espectros de emissão e absorção e as leis de Kirchhoff para a espectroscopia.

Os conteúdos físicos envolvidos nesta aula abordaram minimamente o contexto histórico da espectroscopia do século XIX, bem como os conceitos referentes as linhas espectrais de absorção e emissão e as leis da espectroscopia de Kirchhoff. Nesta aula foi utilizado

pelos alunos um texto previamente preparado sobre a história da espectroscopia¹².

A aula foi subdividida em dois momentos. No primeiro momento (10 min) os estudantes receberam o texto para leitura e foram instruídos acerca da atividade a ser realizada. Foi sugerido que os estudantes se organizassem em grupos e após a leitura formulassem questões com respostas sobre o texto lido de modo a contemplar as partes que julgassem mais importantes.

No segundo momento da aula (40 min), já com os estudantes organizados em grupos, o professor colocou-se a disposição para eventuais esclarecimentos sobre o texto. Neste momento não foi necessário certificar-se da "validade" das respostas, visto que eventuais distorções entre pergunta e resposta poderão ser exploradas na aula seguinte, onde ocorrerão as discussões sobre o texto.

3.1.4 AULA 4 - AFINAL, O QUE É ESPECTROSCOPIA?

O objetivo desta aula foi, a partir de uma exposição dialogada, pontuar as passagens do texto que permitissem discutir e caracterizar a espectroscopia como atividade de investigação científica, ressaltando as influências de Isaac Newton, Willian Wollaston e Joseph Fraunhofer, bem como as contribuições de Wilhelm Bunsen e Gustav Robert Kirchhoff para o desenvolvimento da espectroscopia. Também objetivou-se caracterizar as leis de Kirchhoff da espectroscopia e o caráter classificatório das substâncias a partir da análise espectroscópica.

Os conteúdos físicos envolvidos nesta aula foram os mesmos da aula anterior e nenhum recurso instrucional adicional foi utilizado além do texto distribuído aos estudantes na aula anterior.

Esta aula foi subdividida em três momentos. No primeiro momento (10 min) foram apresentadas as questões que se destacaram, formuladas pelos grupos na aula anterior.

No segundo momento (20 min) as questões que enfatizaram as contribuições de Newton, Wollaston e Fraunhofer foram apresentadas. Neste momento foi traçado um pequeno contorno histórico, ressaltando os personagens envolvidos e suas contribuições para a espectroscopia.

O terceiro momento da aula (20 min) destinou-se a discutir e caracterizar os trabalhos realizados por Wilhelm Bunsen e Gustav Robert Kirchhoff e as contribuições para os avanços técnicos da

¹² O texto a ser está integralmente disponível no plano de aulas, no anexo A, junto ao programa da aula 3.

espectroscopia, proporcionado por estes cientistas. Não julgou-se necessário aprofundamentos nas leis da espectroscopia neste momento, pois esta temática será abordada com maior ênfase na atividade experimental a ser realizada na aula seguinte. Contudo, julgou-se propício neste momento da aula explorar o caráter empírico das leis de Kirchhoff. Esta abordagem permite que aspectos da natureza do conhecimento científico sejam evidenciados, ressaltando a necessidade de uma teoria capaz de descrever satisfatoriamente os fenômenos em questão. Outro aspecto a ser destacado é o papel desempenhado pela espectroscopia na astronomia e na descoberta de novos elementos químicos; esta parte da aula contribuirá decisivamente para responder a pergunta apresentada aos estudantes na aula 1.

3.1.5 AULA 5 - QUAL É A COR DE UMA LÂMPADA?

O objetivo desta aula é evidenciar espectros de emissão contínuos e descontínuos, a partir da emissão de luz por lâmpadas de filamento e lâmpadas de vapores de sódio e mercúrio.

Os conteúdos físicos envolvidos nesta aula contemplaram conceitos referentes a emissão de radiação por sólidos e por gases aquecidos, bem como os espectros contínuos e descontínuos. Como recurso instrucional para esta aula foi elaborado um roteiro de atividade experimental¹³ a ser utilizado em conjunto com um kit experimental de baixo custo. O roteiro foi desmembrado em três etapas. A primeira etapa destinou-se a observação e caracterização dos espectros mencionados. A segunda e terceira etapas destinaram-se a discussão das observações realizadas na primeira etapa.

O kit experimental¹⁴ é constituído de uma lâmpada incandescente, uma lâmpada de vapor de sódio e uma lâmpada de vapor de mercúrio. Além destes itens, os estudantes utilizaram um espectroscópio de baixo custo construído previamente por eles.

A aula foi subdividida em dois momentos. O primeiro momento (10 min) destinou-se a montagem do kit experimental, distribuição do roteiro da atividade e explanação aos estudantes sobre como a atividade seria conduzida. Os estudantes foram orientados a organizarem-se em grupos com 3 ou 4 componentes para execução da primeira parte do roteiro.

¹³ O roteiro da atividade prática está integralmente disponível no anexo A, junto ao programa da aula 5.

¹⁴ Uma descrição detalhada da elaboração do kit experimental pode ser encontrada no anexo B.

No segundo momento da aula (40 min) os estudantes realizaram a atividade experimental. A primeira parte do roteiro¹⁵, que compreende as questões de 1 a 9, destinou-se a observação e caracterização dos espectros de emissão. As questões de 1 a 3 referiam-se ao espectro da lâmpada incandescente; as questões de 4 a 6 referiam-se ao espectro da lâmpada de vapor de sódio; as questões de 7 a 9 referiam-se ao espectro da lâmpada de vapor de mercúrio. As lâmpadas foram acesas individualmente e as três questões para cada uma delas contêm a mesma abordagem. Para cada lâmpada os estudantes deveriam relatar a cor observada ao olharem diretamente, sem o espectroscópio; a seguir deveriam relatar o que fosse observado quando olhassem para a lâmpada através do espectroscópio; por fim, deveriam desenhar (ou usarem o telefone celular para registrarem em imagem) o espectro observado, destacando, inclusive, as cores observadas e caracterizá-los como contínuos ou descontínuos. Embora as lâmpadas fossem acesas e assim permanecessem por algum tempo, um por vez, os estudantes foram encorajados a refazer as observações, sempre que julgassem necessário ou simplesmente para contemplarem o fenômeno.

No transcorrer da atividade o professor circulou entre os grupos a fim de atender eventuais dúvidas relacionadas as observações e verificar se estas estariam sendo realizadas a contento. Atentou-se para os possíveis questionamentos formulados pelos estudantes com respeito ao fenômeno da emissão, em particular, aqueles relacionadas com as diferenças entre os espectros. Neste momento desejou-se que estes questionamentos fossem instigados, ao invés de prontamente respondidas, pois na aula seguinte houve oportunidade para discuti-los, especificamente e com maior profundidade.

3.1.6 AULA 6 - ANALIZANDO O CÓDIGO DAS CORES

O objetivo desta aula foi caracterizar as diferenças e semelhanças entre os espectros, contínuo e descontínuo, observados na atividade experimental da aula anterior, bem como caracterizar o espectro de emissão de luz visível para um gás a alta pressão. A emissão de radiação infravermelha também foi discutida com o objetivo de caracterizar as radiações em dois grupos (visíveis e as invisíveis).

Os conteúdos físicos envolvidos nesta aula contemplaram os mesmos tópicos da aula anterior, incluindo aqui a emissão de radiação

¹⁵ O roteiro da atividade prática está integralmente disponível no anexo A, junto ao programa da aula 5.

infravermelha. Embora as observações referentes ao espectro tenham sido realizadas na aula anterior o kit experimental foi novamente utilizado como recurso instrucional, bem como o roteiro da atividade, já utilizado na aula anterior.

A aula foi subdividida em dois momentos. O primeiro momento (10 min) foi destinado a preparação e reorganização dos mesmos grupos formados na aula anterior. Os estudantes foram orientados a realizar a segunda parte do roteiro de atividades.

Na segunda parte da aula (40 min) os grupos discutiram as questões 10 a 14. A questão 10 teve por objetivo estimular os estudantes a diferenciar o espectro de emissão da lâmpada incandescente dos espectros de emissão das lâmpadas de vapor de sódio e mercúrio. A questão 11 contemplou as diferenças e semelhanças entre os espectros das lâmpadas de vapor de sódio e mercúrio. Objetivou-se que os estudantes percebessem que embora as lâmpadas de vapor produzam espectros discretos, eles diferem pelas cores emitidas. A questão 12 solicitou que os estudantes classificassem os três espectros observados, sugerindo, eles mesmos, os critérios de classificação. A questão 13 solicitou aos estudantes que discutissem como seria possível certificar-se de que o filamento e o vapor da lâmpadas estão realmente aquecidos, uma vez que não há termômetros disponíveis para tal verificação. A questão 14 solicitou que os estudantes identificassem qual das leis de Kirchhoff deveria ser empregada na descrição do espectro da lâmpada incandescente e explicassem o porquê. A questão 15 solicitou que os estudantes identificassem qual das leis de Kirchhoff deveria ser empregada na descrição dos espectros das lâmpadas de vapor de sódio e mercúrio, e explicassem o porquê.

As questões 15 e 16 exploraram aspectos referentes a radiação infravermelha. A questão 15 explorou a emissão de radiação infravermelha, necessitando, para tanto, que os estudantes se aproximassem da lâmpada incandescente. Os estudantes foram questionados sobre a emissão de algum outro tipo de radiação que não estivesse sendo percebida pelos olhos. A questão 16 teve como objetivo estimular a discussão sobre os dois principais tipos de radiações emitidas pelo Sol, as quais podemos perceber. Sugeriu ainda que os estudantes discutissem a necessidade de aproximar-se da lâmpada para perceberem a sua emissão de radiação infravermelha, fazendo um comparativo com a evidente intensidade deste tipo de radiação quando estamos na rua em um dia ensolarado, frente a imensa distância que a Terra encontra-se do Sol.

3.1.7 AULA 7 - LEVANTANDO HIPÓTESES SOBRE A EMISSÃO DE LUZ

O objetivo desta aula foi explorar por que os elementos químicos distintos emitem espectros distintos, relacionado este fato com as cores de um objeto quando este é iluminado por diferentes fontes de luz, bem como discutir a influência da densidade do gás no espectro de emissão das lâmpadas utilizadas na atividade experimental realizada nas aulas 4 e 5. Além disso, levantar hipóteses acerca do mecanismo da emissão de luz pela matéria.

Os conteúdos físicos abordados nesta aula foram os mesmos contemplados na aula 5. Como recurso instrucional, o roteiro da atividade utilizado pelos estudantes na aula 5 foi novamente empregado nesta aula.

A aula foi subdividida em dois momentos. No primeiro momento da aula (25 min) foi realizada uma breve passagem pelas questões da parte 1 e 2 do roteiro da atividade experimental. Foi um momento para repassar as questões já discutidas anteriormente, reconstruindo e retomando a temática da atividade.

No segundo momento da aula (25 min) os estudantes foram organizados em grupos para discutirem as últimas três questões do roteiro de atividades. Estas discussões levaram os estudantes a questionar o porquê dos espectros de emissão das lâmpadas de sódio e mercúrio, embora sejam ambos discretos, diferirem nas cores emitidas. A última questão teve por objetivo estimular a formulação de hipóteses para a emissão de luz pela matéria em diferentes estados físicos (sólido e gasoso) relacionando com os tipos de espectros emitidos (contínuo e descontínuo) e com as lâmpadas (de filamento e de vapor de sódio e mercúrio). É importante salientar que não objetivou-se que os estudantes relacionassem diretamente a emissão de espectros discretos com a estrutura atômica. Neste momento, esperou-se apenas que a questão fomentasse discussões e que ficasse evidenciado a necessidade de elaborar hipóteses acerca de algo ainda desconhecido e a partir deste contexto, explorar algumas características do método científico e da atividade científica diante de uma situação para a qual ainda não há uma descrição satisfatória, evidenciando para os estudantes a relação entre estes aspectos e o contexto histórico ao qual estava inserida a espectroscopia.

3.2 SEGUNDA PARTE - OS MODELOS ATÔMICOS DO SÉCULO XX

3.2.8 AULA 8 - A NATUREZA ÍNTIMA DA MATÉRIA SE REVELA

O objetivo desta aula foi caracterizar minimamente o contexto teórico-experimental que influenciou a formulação dos modelos atômicos de J. J. Thomson e E. Rutherford e discutir o papel desempenhado pelos experimentos na formulação dos referidos modelos.

O conteúdo físico abordado nesta aula contemplou os raios catódicos, as radiações alpha e os modelos atômicos de J. J. Thomson e E. Rutherford. Foi realizada uma análise qualitativa dos experimentos realizados por J. J. Thomson e E. Rutherford, os quais contribuíram para a formulação dos respectivos modelos atômicos. Esta análise qualitativa conduziu a um enfoque mais voltado para os aspectos históricos.

A aula foi dividida em dois momentos. No primeiro momento (10 min) os estudantes receberam o material para leitura¹⁶ e foram instruídos acerca da atividade, organizando-se em grupos de 3 a 4 componentes.

No segundo momento da aula (40 min) os grupos realizaram as discussões objetivando formular 5 questões e suas respectivas respostas acerca das partes do texto que julgassem mais importantes. A entrega desta atividade foi programada para o término da aula.

Ao término da atividade os estudantes foram instruídos sobre a tarefa a ser realizada individualmente. As questões que seguem foram disponibilizadas e respondidas a partir de um formulário online, com prazo de entrega estipulado. O link para acessar o formulário online foi disponibilizado para os estudantes.

Relação das questões para a tarefa individual:

- 1) Se o átomo é tão pequeno, como Thomson e Rutherford puderam concluir algo a respeito de sua estrutura?
- 2) Descreva de que forma o experimento com os raios catódicos, realizado por Thomson, contribuiu na elaboração de seu modelo para o átomo?

¹⁶ O texto a está integralmente disponível no plano de aulas, no anexo A, junto ao programa da aula 8.

- 3) A interpretação do experimento de Geiger-Marsden levou Rutherford a supor certa característica acerca da estrutura do átomo que refutava o modelo de Thomson. Explique que característica era esta e por que o modelo de Thomson não estava de acordo com ela.
- 4) Em quais resultados do experimento de Geiger-Marsden Rutherford se baseou para inferir que os elétrons orbitam em torno do núcleo?
- 5) De que forma os estudos da radioatividade contribuíram para a evolução dos modelos atômicos?
- 6) De acordo com o texto, pode-se afirmar que o modelo atômico proposto por Rutherford substituiu o modelo de J. J. Thomson?
- 7) Quais os limites de validade dos modelos de Thomson e Rutherford?

3.2.9 AULA 9 - LEVANTANDO HIPÓTESES SOBRE A NATUREZA ÍNTIMA DA MATÉRIA

O objetivo desta aula foi analisar e discutir o experimento de J. J. Thomson com os raios catódicos, bem como o experimento de Geiger-Marsden e a interpretação deste experimento dada por E. Rutherford, com a finalidade de ressaltar o papel das evidências experimentais, tanto aquelas que davam suporte, quanto aquelas que refutavam os modelos de J. J. Thomson e E. Rutherford para o átomo.

Os conteúdos físicos envolvidos nesta aula foram os mesmos da aula anterior. Foram utilizados recursos instrucionais adicionais, sendo estes, 3 vídeos e uma simulação sobre o espalhamento de Rutherford.

A aula foi subdividida em três momentos. No primeiro momento (20 min) foram apresentadas as questões que se destacaram, formuladas pelos grupos na aula anterior e previamente selecionadas pelo professor.

No segundo momento (15 min) os vídeos 03 e 04 foram assistidos pelos estudantes. O vídeo 03 - cerca de 3 min - relatava os trabalhos de J. J. Thomson, enfatizando seus experimentos com o tubo de Crookes e os raios catódicos. O vídeo 04 - cerca de 4 min - destacava as propriedades dos raios catódicos que levaram J. J. Thomson a levantar hipóteses sobre a natureza dos raios catódicos.

No terceiro momento da aula (15 min) o vídeo 05 - cerca de 3,5 min - foi assistido pelos estudantes, o qual relatou brevemente o experimento de Geiger-Marsden e a interpretação de E. Rutherford para

o referido experimento. Em seguida, foi utilizada uma simulação sobre o espalhamento de Rutherford com objetivo de comparar os modelos de Thomson e Rutherford frente aos resultados do experimento de Geiger-Marsden.

3.2.10 AULA 10 - MAX PLANCK E O NASCIMENTO DA MECÂNICA QUÂNTICA

O principal objetivo desta aula foi contextualizar a hipótese da quantização da energia sugerida por Max Planck a fim de descrever o problema da radiação de corpo negro.

Os conteúdos físicos envolvidos nessa aula foram a definição do radiador ideal, ou seja, o corpo negro, e a quantização da energia.

A aula foi subdividida em três momentos. No primeiro momento (15 min) foi enfatizado a dificuldade encontrada pelos cientistas em descrever o fenômeno da radiação de corpo negro a partir das teorias clássicas da termodinâmica e do eletromagnetismo. Também foi caracterizado o corpo ideal, capaz de absorver toda a radiação nele incidente. Também foi estabelecida a condição de equilíbrio, onde a taxa de emissão de radiação é igual a taxa de absorção. A partir daí foi feito um contraponto entre as previsões teóricas e os dados experimentais pela comparação das curvas, evidenciando a discrepância na região do ultravioleta, fato que ficou conhecido como a "catástrofe do ultravioleta". Contudo, salientou-se junto aos estudantes que o problema do corpo negro envolve aspectos bastante profundos e que este nível de profundidade estaria muito além dos objetivos pretendidos.

No segundo momento da aula (15 min) foi apresentada a solução dada por Max Planck para ajustar a curva teórica à curva experimental, o que implicou em assumir a hipótese da quantização da energia, de acordo com a qual os sistemas trocam energias em quantidades bem definidas e não de maneira contínua. Foi enfatizado que a hipótese sugerida por Max Planck foi extremamente audaciosa e não foi prontamente aceita pela comunidade científica, tendo o próprio Planck relutado em aceitá-la prontamente, dado que não havia nenhuma teoria física que desse suporte às ideias relacionadas à hipótese de Planck. Foi também enfatizado que Planck recebeu o prêmio Nobel em 1918, destacando que o ano de 1900 é reconhecido como o ano do nascimento da Mecânica Quântica devido a hipótese da quantização da energia sugerida por Max Planck.

No terceiro momento da aula (12 min) foi utilizada uma simulação para ilustrar o comportamento da curva de emissão a medida que a temperatura de um pedaço de metal era aquecida.

No quarto momento da aula (8 min) foi apresentado um vídeo onde um pedaço de cobre era aquecido a partir de um aquecedor de indução, evidenciando as mudanças de tonalidade e brilho do metal.

3.2.11 AULA 11 - ALBERT EINSTEIN E OS QUANTA DE LUZ

O principal objetivo desta aula foi contextualizar a hipótese dos quanta de luz, proposta por Albert Einstein em sua interpretação para a descrição do efeito fotoelétrico.

Os conteúdos físicos envolvidos nesta aula foram o efeito fotoelétrico, quantum de luz e o conceito de fóton e a energia de um fóton de luz.

Esta aula foi subdividida em três momentos. No primeiro momento (20 min) o fenômeno foi brevemente descrito. Foram apresentadas as discrepâncias entre as previsões da teoria eletromagnética e os dados experimentais, tais como o tempo necessário para que os elétrons fossem ejetados do metal, a relação entre a energia cinética dos elétrons ejetados e a intensidade da luz incidente e a relação entre a frequência e o tempo necessário para os elétrons serem ejetados do metal.

No segundo momento da aula (15 min) foi apresentada a descrição de A. Einstein para descrever o referido fenômeno. Foi enfatizado que A. Einstein aplicou as ideias de Planck para quantizar a energia da radiação, sugerindo a hipótese de que a luz deveria se comportar como um pacote de energia ao ser absorvida pelos elétrons no interior do metal. A partir da hipótese dos quanta de luz foi discutido como os resultados experimentais puderam ser adequadamente explicados por A. Einstein, tendo inclusive, sugerido um experimento a partir do qual seria possível calcular a constante de Planck. A equação da energia do fóton foi brevemente discutida com a finalidade de enfatizar a conexão entre as ideias de A. Einstein e a hipótese da quantização da energia de Planck.

No terceiro momento da aula (8 min) foi empregada a simulação para o efeito fotoelétrico do projeto Phet Colorado com finalidade de ilustrar a dependência entre a frequência e a energia cinética dos elétrons, bem como ilustrar a dependência entre a intensidade da luz com a quantidade de fótons e sua relação com a quantidade de elétrons ejetados do metal.

No quarto momento da aula (7 min) os estudantes foram orientados sobre como proceder para realizarem a atividade relacionada ao texto¹⁷, o qual serviu como material de apoio para as aulas 10 e 11.

3.2.12 AULA 12 - A QUANTIZAÇÃO DA ENERGIA E O MODELO ATÔMICO DE BOHR

O principal objetivo desta aula foi caracterizar o modelo atômico de Bohr para o átomo de hidrogênio e a incorporação da hipótese da quantização da energia e da absorção e emissão dos quanta de luz e sua relação com o espectro discreto dos elementos químicos, em particular com o espectro do átomo de hidrogênio.

Os conteúdos físicos envolvidos nesta aula foram o modelo atômico de Bohr para o átomo de hidrogênio, níveis atômicos de energia e os saltos quânticos.

A aula foi dividida em três momentos. No primeiro momento (20 min) os tópicos das aulas 9, 10 e 11 foram rapidamente revistos: modelo de J. J. Thomson; modelo de E. Rutherford; hipótese da quantização da energia de Planck; hipótese dos quanta de radiação de A. Einstein. Além destes tópicos, foram também relacionados os dados até então acumulados pela espectroscopia para o átomo de hidrogênio. Cada um dos tópicos foi brevemente discutido com o intuito de construir um panorama teórico-experimental no qual N. Bohr estava inserido à época da elaboração de seu modelo atômico.

No segundo momento da aula (20 min) foi apresentado o modelo atômico de N. Bohr para o átomo de hidrogênio. Foram discutidos alguns dos postulados de Bohr, enfatizando que seu modelo era semiclássico, pois incorporava elementos da Física Clássica em sua descrição. Do contrário, as trocas de energia foram explicadas a partir da hipótese da quantização da energia. Foi enfatizado ainda que as órbitas possíveis aos elétrons também eram quantizadas. Também foram discutidos os espectros discretos do átomo de hidrogênio, os quais foram adequadamente descritos pelo modelo de Bohr.

No terceiro momento da aula (10 min) foi utilizada uma simulação para ilustrar o mecanismo de emissão e absorção dos fótons de luz, evidenciando o caráter discreto da interação do átomo com a radiação, bem como os saltos quânticos entre os níveis de energia.

¹⁷ O texto a está integralmente disponível no plano de aulas, no anexo A, junto ao programa da aula 11.

3.2.13 AULA 13 - OS SALTOS QUÂNTICOS NO ÁTOMO DE HIDROGÊNIO

O principal objetivo desta aula foi caracterizar as transições eletrônicas no átomo de hidrogênio correlacionando estas transições com a emissão do espectro discreto.

Os conteúdos físicos envolvidos nesta aula foram o modelo atômico de N. Bohr para o átomo de hidrogênio e os saltos quânticos.

A aula foi dividida em três momentos. No primeiro momento (7 min) os estudantes receberam o roteiro para atividade a ser realizada em conjunto com o uso da simulação Phet Colorado para o átomo de hidrogênio.

No segundo momento (15 min) os estudantes foram orientados a responderem a primeira parte do roteiro, que compreendeu as questões de 1 a 4. Durante esta parte da aula evitou-se o uso da simulação, buscando estimular os estudantes a partir de questionamentos acerca das possíveis transições entre os 6 primeiros níveis de energia.

No terceiro momento da aula (28 min) a simulação foi utilizada pelo professor como recurso metodológico expositivo, retomando as questões e discussões anteriormente levantadas. Foi possível explorar vários aspectos e peculiaridades do modelo de Bohr.

Diferentemente das outras ocasiões em que alguma simulação foi utilizada, nesta aula o uso da ferramenta foi explorado como principal recurso metodológico, sendo dedicada parte do tempo da aula na descrição dos controles da simulação e também das diversas características do modelo de Bohr que poderiam ser simuladas com a referida ferramenta.

Houve a necessidade de desmembrar esta aula em dois encontros, dado a grande quantidade de perguntas e da gama de possibilidades viabilizadas pelo uso da simulação. Assim, os estudantes levaram o roteiro de atividades para casa e na aula seguinte os trabalhos foram retomados com o objetivo de superar as dificuldades por eles encontradas. Na aula seguinte, novamente a simulação foi utilizada como recurso metodológico expositivo.

4 INTERVENÇÃO DIDÁTICA

A sequência didática foi aplicada em duas turmas de 2ª série do ensino médio, em uma unidade da rede privada de ensino, localizado no bairro Campinas, no município de São José, Santa Catarina. A escolha desta escola foi influenciada pelo fato do autor deste trabalho ser o professor titular de Física na referida escola, o que permitiu simplificar alguns aspectos inerentes a uma intervenção didática (tipicamente, estão envolvidas negociações com a direção da unidade escolar, com o professor e com o programa das séries em que ocorrerá a intervenção). Geralmente os tópicos a serem abordados necessitam de um alinhamento prévio entre os conteúdos em desenvolvimento nas referidas turmas e os conteúdos que serão objeto da intervenção, exigindo assim grande sincronismo entre o calendário da escola e o plano de aulas.

Todos os aspectos citados foram facilitados pela escolha de uma unidade escolar em que o professor aplicador fosse o próprio professor titular. Estes aspectos permitiram conciliar o desenvolvimento deste trabalho minimizando os obstáculos citados.

As turmas escolhidas para a intervenção didática dispõem de três aulas de Física por semana, com duração de 50 minutos. A turma T1 contém 40 estudantes, sendo 14 estudantes do sexo masculino e 26 estudantes do sexo feminino. A turma T2 contém 24 estudantes, sendo 10 estudantes do sexo masculino e 13 estudantes do sexo feminino. Os estudantes, nas duas turmas, apresentam faixa etária entre 16 e 18 anos.

Nas aulas que antecederam o período da intervenção didática foi dado ênfase em alguns conteúdos visando favorecer a aplicação da sequência didática. Por exemplo, o estudo de alguns fenômenos luminosos, como reflexão e refração, o estudo da ondulatória e fenômenos correlatos, como difração e interferência. Também foram explorados alguns aspectos históricos relacionados com a controvérsia acerca da natureza da luz onda-partícula, protagonizada por Isaac Newton e Christiaan Huygens.

A intervenção teve início em 28 de outubro e terminou em 05 de novembro, conforme previsto no plano de aulas. Foi entregue aos pais dos estudantes um Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE)¹⁸ onde foi firmado o compromisso de manter os nomes dos estudantes em sigilo mediante autorização para uso dos dados referentes a produção escrita dos estudantes. O TCLE foi entregue em duas vias e

¹⁸ O TCLE está integralmente disponível no anexo D.

no caso do consentimento dos pais e/ou responsáveis, cada parte envolvida ficou de posse de uma das cópias assinadas. Cabe ressaltar que a produção escrita dos estudantes é parte integrante das atividades rotineiras na escola. Contudo, a análise recaiu apenas sobre a produção daqueles estudantes que apresentaram o TCLE devidamente assinado pelos pais ou responsáveis.

4.1 AULA 1

Para a primeira aula estava previsto uma pequena visão geral acerca da temática a ser abordada e como seria a dinâmica das aulas. Uma vez que o professor aplicador da sequência didática é o próprio professor titular da disciplina, os estudantes não sentiram grandes dificuldades em compreender como as aulas seriam ministradas, bem como as formas de avaliação a serem empregadas uma vez que muitos dos elementos, tanto didáticos quanto metodológicos, incorporados na sequência didática, já fazem parte da rotina das aulas. Assim, de certa forma, os alunos já convivem com esta forma de trabalho. Também foi reforçado o caráter investigador que será considerado na sequência das 14 aulas previstas. Após esta breve explanação teve início a aplicação da sequência didática.

O diálogo com os estudantes da turma T2 começou a partir das seguintes questões: por que o homem busca entender as estrelas? elas exercem alguma influência sobre o homem? aqui na Terra, estamos sobre a influência de alguma estrela? Na turma T1, as discussões iniciais partiram de um estudante que, ao perceber no telão o título do vídeo questionou se a aula seria sobre astronomia. Para melhor esclarecer como se daria o andamento da aula, a seguinte pergunta foi colocada para a turma: o que a astronomia tem a ver com nossos estudos sobre a luz? Embora as discussões tenham iniciado diferentemente em cada turma, em um momento posterior ao início das discussões foi colocado o para os estudantes qual seria o objetivo principal que estávamos buscando. A grande pergunta a ser respondida seria: de que forma o estudo das estrelas pode nos ajudar a entender o átomo? qual a relação entre o Sol, algo tão grande e distante de nós, e os átomos, algo tão pequeno que se quer pode ser visto?

Na sequência foi apresentado o vídeo da série ABC da astronomia, episódio 6. O vídeo tem duração aproximada de 5 minutos e fala do ciclo de vida das estrelas, como elas se formam, sua atividade de fusão e síntese de elementos químicos e dos processos de morte das estrelas.

Após a apresentação do vídeo iniciou-se o segundo momento da aula, onde os estudantes foram questionados sobre o porquê do interesse do homem no estudo das estrelas e de que forma o Sol influencia a vida na Terra. As colocações dos estudantes foram anotadas na lousa e algumas delas foram aprofundadas. Alguns dos termos empregados pelos alunos foram: luz, calor e horóscopo. Um estudante em cada turma mencionou explicitamente o termo "origem da vida". Na turma T2, quando solicitado que esclarecesse melhor a sua colocação, o estudante disse que estava se referindo a origem do universo; que o estudo das estrelas poderia ajudar a teoria do Big Bang. Na turma T1, a estudante esclareceu que o termo "origem da vida" era sobre a vida na Terra, ou seja, dentro de uma perspectiva relacionada com a Biologia.

Também foi solicitado aos outros estudantes que esclarecessem melhor o que haviam apontado. Para estimular estes esclarecimentos, foi perguntado de que forma o calor e a luz do Sol influenciam a vida na Terra. Os estudantes mencionaram fenômenos relacionados com as plantas, com o meio ambiente e com questões climáticas.

Outro questionamento colocado para os estudantes foi com relação aos elementos químicos mencionados no vídeo: o que a estrela produz ao longo de seu ciclo de vida? Os estudantes perceberam a partir do vídeo que durante o ciclo de vida das estrelas elas produzem os elementos químicos da tabela periódica. Na turma T1, uma estudante colocou a seguinte questão: "de alguma forma as estrelas de hoje passam isso [elementos químicos] para a Terra? ou foram estrelas antigas que formaram estes elementos..." Foi solicitado a ela que esclarecesse um pouco mais a questão. Curiosamente, quando ela o fez, ficou claro que sua dúvida dizia respeito a possibilidade destes elementos serem emitidos pelas estrelas em direção a Terra, tal como ocorre com a luz. Esta pergunta permitiu explorar um pouco mais a questão da emissão de partículas pelas estrelas, mais especificamente sobre as partículas oriundas do Sol que são defletidas pelo campo magnético da Terra. Embora não se trate da emissão de elementos químicos, como inicialmente foi colocado pela estudante, a sua pergunta tornou as discussões mais abrangentes.

Outro ponto mencionado na turma T1 foi o horóscopo, fazendo referência a uma forma de influência que as estrelas teriam sobre o homem. Esta colocação permitiu colocar em discussão alguns aspectos relacionados a natureza do conhecimento científico. Foi discutido com os estudantes que o homem se relaciona com o mundo de diversas maneiras, bem como procura expressar essas relações com o mundo por meio da arte, da cultura e da ciência. Do ponto de vista científico, as

relações do homem com o mundo se traduzem a partir da produção de um conhecimento que seja capaz de descrever o mundo com o qual ele se relaciona. Assim, o horóscopo pode ser entendido como uma forma que o homem tem de se relacionar com as estrelas. Contudo, o conhecimento científico sobre as estrelas, bem como o conhecimento científico em geral, apresenta uma série de características muito peculiares. Foi enfatizado que o olhar do cientista sobre a natureza busca compreendê-la e essa compreensão perpassa também pela capacidade de descrevê-la. Em princípio, pode-se ter qualquer descrição, mas a descrição científica deve ser confrontada com a realidade por meio de experimentos, ou seja, o conhecimento científico é muito criterioso e portanto não admite uma descrição que não atenda aos seus critérios.

Outra questão muito interessante foi colocada por uma outra aluna da turma T1: "como a estrela brilha"? Esta pergunta permitiu estender um pouco mais a discussão acerca da emissão de luz. Diante deste questionamento, foi colocado para toda a turma as seguintes perguntas: são apenas as estrelas que brilham? de que forma é possível fazer um corpo brilhar? Alguns estudantes rapidamente colocaram que alguns objetos podem ser queimados e assim emite luz. Então foi solicitado a eles que pensassem se apenas objetos que literalmente queimam são capazes de emitir luz. Como não houve manifestação para esta pergunta, lhes foi mencionada a situação de um metal que é aquecido. Como exemplo, foi citado o filamento das lâmpadas incandescentes, que devido ao aquecimento, atingindo temperaturas da ordem de 2000°C, emite luz. Foi então colocado para os estudantes que o processo sobre como a luz pode "brotar" de objetos aquecidos seria aprofundada em aulas posteriores.

No terceiro momento da aula foi proposta uma atividade de pesquisa, a ser preparada para a aula seguinte. Os estudantes deveriam pesquisar a respeito de como o homem sabe a composição das estrelas. No caso do Sol, como o homem sabe do que ele é feito sem nunca ter ido até lá. Os estudantes foram orientados a utilizarem motores de busca na internet, empregando palavras chaves relevantes para a busca. As palavras chaves foram especificadas na lousa. Também foram instruídos a não se deterem aos primeiros links sugeridos pelos motores de busca, de maneira que deveriam considerar vários links e selecionar aqueles que julgassem mais pertinentes. Além disso, os estudantes foram orientados a destacar nomes, datas, dispositivos e fenômenos que figurassem nos resultados das buscas.

Para organizar o resultado das buscas, foi elaborado um formulário online e o link foi disponibilizado para os alunos, com quatro

campos para serem preenchidos: nome, turma, resumo da pesquisa e fontes consultadas. Foi enfatizado que os resultados encontrados seriam o ponto de partida das discussões na aula seguinte.

4.2 AULA 2

Para esta aula estava previsto que os estudantes apresentassem o resultado das pesquisas a respeito de como o homem sabe do que o Sol é feito. Na turma T1 apenas 17 dos 40 estudantes realizaram a pesquisa. Na turma T2, 17 dos 26 estudantes realizaram a pesquisa. Estas informações foram previamente obtidas (na véspera), pois o formulário estava disponível online e a ferramenta utilizada permitia acompanhar a entrega da atividade, bem como os resultados das pesquisas realizadas, pois foi solicitado que os estudantes comentassem resumidamente os resultados encontrados. Partindo das informações já coletadas pelos estudantes até a véspera da aula já seria possível encaminhar as discussões previstas no plano de aula.

Contudo, na turma T1 a quantidade de alunos que realizou a pesquisa correspondeu a menos da metade dos estudantes desta turma e isto teve implicações nas discussões realizadas em sala. Foi possível perceber que vários destes estudantes não se empenharam em anotar ou mesmo em ficar atentos, apresentado evidente cansaço por apenas escutar as falas do professor e de uma minoria de estudantes que participava ativamente, ficando, dessa forma, à margem das discussões. Na turma T2 uma quantidade maior de estudantes participou das discussões e isto permitiu que a aula fosse mais agradável e mais proveitosa. Outro ponto a ser destacado refere-se ao fato de que alguns estudantes que não realizaram a pesquisa participaram com eventuais perguntas, enriquecendo as discussões.

No primeiro momento da aula os estudantes foram solicitados a expor os resultados encontrados. Para organizar as falas foi sugerido que primeiramente mencionassem os nomes dos cientistas que surgiram em suas pesquisas. Vários estudantes contribuíram basicamente os mesmo nomes foram mencionados: Isaac Newton, Willian Wollaston, Joseph Fraunhofer, Gustav Kirchhoff e Robert Bunsen, Pierre Janssen e Norman Lockyer. Alguns estudantes obtiveram informações mais abrangentes, envolvendo as reações de fusão no interior do Sol, citando nomes como Albert Einstein e Cecília Payne.

Após relacionar os nomes na lousa foi solicitado que mencionassem os nomes dos dispositivos ou fenômenos que surgiram em suas pesquisas. Os termos citados foram: espectroscópio, bico de

bunsen, espectroscopia, prisma, rede de difração, espectro de emissão, espectro de absorção, linhas espectrais, espectros contínuos e descontínuos.

Foi colocado para os estudantes que a análise destas informações seguiria por dois caminhos: um deles iria contemplar o contexto histórico e a outro, os conceitos físicos envolvidos. A seguir, partindo do termo espectroscópio, foi perguntado o que este dispositivo era capaz de fazer com a luz. Em ambas as turmas os estudantes responderam prontamente que este dispositivo era utilizado para separar as cores. A partir desta afirmação, foram questionados sobre como denomina-se este fenômeno. Em ambas as turmas poucos estudantes reponderam corretamente que tratava-se da dispersão da luz e então este termo foi anotado na lousa. A seguir, foi resgatado o conteúdo sobre a decomposição das cores. Foi questionado de quais maneiras era possível decompor as cores. Novamente, em ambas as turmas, alguns estudantes foram capazes de relacionar a pergunta com o prisma, mencionado anteriormente, indicando o seu emprego no espectroscópio. Foi explorado o fenômeno da refração, resgatando suas características básicas, dando ênfase no processo da dispersão da luz pelo prisma.

A seguir, foi resgatado o espectroscópio feito em sala pelos estudantes, como atividade prática em uma das aulas anteriores ao início da sequência didática. Rapidamente, vários estudantes, nas duas turmas, foram capazes de relacionar a atividade da espectroscopia com o dispositivo que haviam construído¹⁹. Contudo, foram questionados se no dispositivo que construíram havia algum prisma. Apenas dois estudantes (um em cada turma) foram capazes de perceber que o dispositivo construído por eles não apresentava um prisma. Diante desta constatação, foram questionados sobre como o espectroscópio construído por eles era capaz de dispersar a luz sem utilizar o prisma. Poucos estudantes relacionaram o pequeno pedaço de CD utilizado em seu espectroscópio ao fenômeno da decomposição da luz. Diante desta dificuldade, a relação do pedaço de CD com a dispersão da luz foi feita pelo professor para que as discussões pudessem avançar. A seguir, foram questionados sobre como o pedaço de CD era capaz de dispersar a luz. Esta questão mostrou-se bastante difícil aos estudantes, o que já era previsto, uma vez que a simples observação do CD não revela nenhuma característica acerca de sua constituição. Além disso, a atividade

¹⁹ Os estudantes construíram um espectroscópio e observaram o espectro da luz visível. Fez parte da atividade, fotografar o espectro da luz visível com o celular. Esta atividade evidenciou claramente aos estudantes o espectro contínuo da luz branca oriunda do Sol.

ocorrera várias aulas anteriores a esta e dessa forma já era esperado que os estudantes também não fossem capazes de resgatar maiores detalhes sobre a constituição do dispositivo.

Para progredir neste ponto os estudantes foram questionados sobre o experimento de Thomas Young. Pouco a pouco, um ou outro estudante pontuava aspectos pertinentes acerca do referido experimento. Após reunir os elementos básicos do experimento, os estudantes foram questionados acerca da difração, a qual era o fenômeno pertinente no experimento de Young. Na turma T1, rapidamente alguns estudantes relataram a relação entre o comprimento de onda e o tamanho da fenda que difrata a onda; na turma T2, esta associação não foi tão imediata. Por outro lado, nenhum estudante foi capaz de relacionar o termo rede de difração com a dispersão da luz. Assim, esta relação teve que ser enfatizada pelo professor.

Uma vez que o experimento de Thomas Young permite relacionar os comprimentos de onda de diferentes cores com a abertura da fenda e a posição dos máximos no anteparo, estas conexões permitiriam aos estudantes relacionar a rede de difração com a dispersão da luz no espectroscópio. Por outro lado, nenhum estudante sabia que o CD é na verdade uma rede de difração. Possivelmente, o desconhecimento deste aspecto tornou ainda mais difícil correlacionar a dispersão luz com a rede de difração. Essa passagem ocorreu com certo grau de dificuldade, visto que nenhum dos estudantes foi capaz de associar a difração com o fenômeno da dispersão da luz.

Uma vez esclarecido que o espectroscópio construído pelos estudantes decompõem a luz a partir de uma rede de difração, os estudantes foram questionados sobre a relação entre a espectroscopia e a determinação da composição do Sol. Muitos estudantes mostraram claramente que os espectros emitidos pelos elementos químicos permitiam identificá-los, pois cada elemento possuía uma determinada combinação de cores. Neste ponto a espectroscopia foi enfatizada como atividade científica de grande importância visto que à sua época, era o meio mais utilizada para determinação de elementos químicos. Também foi mencionada a importância do aprimoramento do bico de bunsen, o qual permitiu análises mais precisas dos espectros luminosos.

Dois pontos, um em cada turma, foram evidenciados ao final desta aula, conduzindo à discussões ligeiramente diferentes. Na turma T1 um estudante questionou sobre os espectros contínuos e descontínuos, perguntando qual seria a diferença entre os dois tipos de espectros. Esta questão direcionou as discussões nos último momentos da aula. Embora tenha sido esclarecida a diferença, foi colocado para os

estudantes que este ponto seria aprofundado pela leitura do texto prevista para a próxima aula. Na turma T2, próximo ao término da aula, um estudante questionou se no Sol não deveria haver todos os elementos químicos, uma vez que o seu espectro é composto por todas as cores. A pergunta foi colocada para toda a turma, mas foi enfatizado que a resposta para ela seria construída ao longo das aulas seguintes.

Por fim, os estudantes foram instruídos a responderem um questionário online para fixarem as discussões realizadas nesta aula.

4.3 AULA 3

Nesta aula os estudantes receberam um texto contendo fragmentos históricos sobre o desenvolvimento da espectroscopia do século XIX. O texto foi elaborado pelo professor e algumas das referências utilizadas para compor o texto foram previamente utilizadas pelos estudantes na pesquisa por eles realizada, a qual fomentou as discussões na aula anterior.

O texto foi distribuído a todos os estudantes e eles foram instruídos a formarem grupos de 2 a 4 componentes. Nesta atividade os grupos deveriam ler o texto, discutir e formular 5 questões com as respectivas respostas, evidenciando aspectos do texto que julgassem mais relevantes. A atividade deveria ser entregue ao término da aula. Durante a realização da mesma o professor circulou entre os grupos atendendo as dúvidas e respondendo aos questionamentos levantados pelos estudantes.

Todos os grupos, nas duas turmas, trabalharam intensamente e com bastante empenho nesta atividade, que mostrou-se muito proveitosa pela análise das questões formuladas pelos grupos e pelas perguntas dirigidas ao professor no decorrer da realização da atividade.

Após a entrega, os trabalhos foram analisados e as questões de maior relevância, frente aos objetivos pretendidos para a referida aula, foram destacadas para discussão na aula seguinte.

As questões não foram classificadas por turma, ou seja, as mesmas questões foram apresentadas e discutidas em ambas as turmas, a partir de contribuições dos grupos das duas turmas. As questões selecionadas para discussão foram destacadas, permitindo que os estudantes pudessem identificá-las ao receberem seus trabalhos após a análise do professor. No Quadro 2 estão relacionadas as questões elaboradas pelos grupos e selecionados para serem aprofundadas e discutidas na aula seguinte. Abaixo de cada questão há uma breve justificativa para a seleção da mesma.

Quadro 2 - Questões elaboradas pelos estudantes e selecionadas para discussão, referentes ao texto Breve histórico da espectroscopia.

Questões selecionadas <i>[objetivos]</i>
<p>1) O que Newton demonstrou com o experimento da luz branca? <i>[destacar os conceitos físicos da refração e decomposição da luz pelo prisma, bem como evidenciar a importância da obra de Isaac Newton nos estudos da óptica]</i></p>
<p>2) O que Willian Wollaston descobriu ao repetir o experimento de Newton? <i>[evidenciar o tempo decorrido entre o experimento do prisma de I. Newton (1665) e o experimento de W. Wollaston (1082); discutir a longevidade e a suscetibilidade do conhecimento científico frente a novas possibilidades experimentais]</i></p>
<p>3) O que eram as chamadas "linhas de Fraunhofer"? <i>[discutir o papel desempenhado pelos dados experimentais]</i></p>
<p>4) Qual a conclusão de Fraunhofer a partir de uma luz emitida por aqueles materiais aquecidos (sais de bário, sais de estrôncio, sais de sódio) ao passá-la por um prisma? <i>[evidenciar a emissão de espectros como uma característica de cada elemento]</i></p>
<p>5) O conjunto de linhas escuras do espectro solar era idêntico ao produzido pela Lua e dos planetas, porém quando Fraunhofer apontou seu equipamento para outras estrelas o que ele observou? <i>[evidenciar a formulação de hipóteses na construção do conhecimento científico]</i></p>
<p>6) No século XIX, Bunsen usava um calorímetro para obter uma medida objetiva das características das cores emitidas na espectroscopia, até que, em 1859, Kirchhoff propôs um outro método mais preciso. Que método foi esse? Qual foi sua importância? <i>[discutir aspectos relacionados a medição e a objetividade das observações experimentais]</i></p>
<p>7) O que Kirchhoff e Bunsen concluíram sobre cada elemento químico?</p>

[evidenciar as descobertas de Kirchhoff e Bunsen]

8) Por que Kirchhoff e Bunsen começaram a fazer comparações entre as linhas do espectro do Sol e as linhas brilhantes produzidas por diversos elementos?

9) Kirchhoff percebera que as 2 linhas amarelas emitidas por chamas contendo sódio pareciam corresponder as 2 linhas escuras, denominadas de linhas "D" por Fraunhofer. Como ele comprovou isso?

[ênfatisar a importância da objetividade nas medidas experimentais e evidenciar a descoberta da absorção de luz pelos elementos químicos]

10) Qual conclusão os cientistas tiveram ao passar a luz produzida por um sólido incandescente pela chama do sódio?

[discutir a importância da confirmação experimental na construção do conhecimento científico]

11) Qual foi a conclusão que se teve depois de incidir a luz solar sobre uma chama de lítio?

[discutir como a espectroscopia permitiu identificar a constituição das estrelas]

12) Por que o estudo do espectro solar ficava facilitado durante os eclipses?

[discutir o fato das protuberâncias do Sol serem jatos de gás superaquecidos, o que permite analisar a luz oriunda do interior do Sol, sem a absorção de luz nas camadas externas do astro]

13) Como o astrônomo Joseph Lockyer descobriu o novo elemento nomeado por ele de Hélio?

[discutir a descoberta do elemento hélio a partir da análise das protuberâncias do Sol]

14) O que Janssen descobriu sobre o estudo do espectro solar nos eclipses?

[evidenciar que a análise das protuberâncias do Sol pode ser feita a partir do disco solar, sem a necessidade dos eclipses]

15) Cite dois avanços científicos que foram viabilizados pelo desenvolvimento da espectroscopia:

[discutir os avanços no conhecimento científico proporcionados pela espectroscopia]

16) Qual a importância da espectroscopia no estudo da constituição íntima da matéria?

[discutir o papel da espectroscopia na busca pelo conhecimento sobre o átomo]

A sequência na qual as questões estão dispostas no Quadro 2 foi feita com base na cronologia dada pelo texto usado como material de apoio. A redação das questões foi mantida, tal qual elaborada pelos estudantes. As respostas foram comentadas pelo professor na folha entregue pelos estudantes, a fim de corrigir eventuais discrepâncias entre as perguntas formuladas e as respectivas respostas elaboradas pelos estudantes.

4.4 AULA 4

Nesta aula foi feita a discussão das questões formuladas pelos estudantes na aula anterior. As questões elaboradas pelos grupos foram previamente avaliadas e selecionadas para discussão (Quadro 2, da aula anterior). O critério utilizado consistiu em selecionar aquelas questões que contemplaram as partes do texto consideradas pelo professor como as mais importantes, frente aos objetivos traçados para esta aula.

As questões selecionadas foram apresentadas para todos os estudantes, sem as respostas e em ordem cronológica, de acordo com as sessões do texto contempladas nas referidas questões. Dessa forma, os estudantes puderam conhecer e compartilhar as questões formuladas pelos outros grupos.

Nas duas turmas foi possível discutir satisfatoriamente as questões do Quadro 2, numeradas de 1 a 11. Devido ao término da aula, as questões de 12 a 16 não foram discutidas. Contudo, os estudantes receberam uma cópia das questões selecionadas e foram instruídos a responderem aquelas questões. Também foram informados que as questões pendentes de discussão seriam retomadas em aulas posteriores²⁰.

A questão 1 foi prontamente respondida pelos estudantes. Foi possível discutir a importância dos trabalhos de I. Newton referentes a

²⁰ As discussões das questões 12 a 16 foram retomadas na aula 7. O plano de aulas está integralmente disponível no Anexo A.

óptica, bem como destacar os fenômenos da refração e da dispersão da luz.

A questão 2 foi prontamente respondida pelos estudantes. Primeiramente foi evidenciado o tempo decorrido entre o experimento do prisma de I. Newton (1665) e o experimento de W. Wollaston (1802). Esta ênfase permitiu discutir brevemente a relativa longevidade, bem como a suscetibilidade do conhecimento científico frente a novas possibilidades experimentais. Foi evidenciado o uso da fenda, um novo elemento, adicionado por W. Wollaston ao experimento de I. Newton. Os estudantes foram capazes de perceber rapidamente que a inclusão deste dispositivo era o elemento diferenciador entre os experimentos dos dois cientistas, levando a detecção das linhas escuras no espectro do Sol. Porém poucos foram capazes de assimilar o papel do fenômeno da difração na detecção das linhas escuras. Após os questionamentos do professor, alguns estudantes perceberam que a difração causada pela fenda estava associada ao surgimento das linhas escuras. Diante desta percepção, o referido ponto foi enfatizado.

A questão 3 permitiu discutir com os estudantes o papel desempenhado pelos dados experimentais, visto que o trabalho de Fraunhofer em catalogar as linhas escuras deu suporte para o trabalho de outros cientistas que o sucederam.

A questão 4 foi rapidamente respondida pelos estudantes, visto que o texto é bastante evidente sobre este ponto. Contudo, a comparação do espectro do Sol com o espectro dos elementos observados por Fraunhofer aqui na Terra fez surgir o questionamento do porquê de o espectro do Sol ser contínuo e o dos elementos aqui da Terra serem discretos. O professor pontuou que esta pergunta não poderia ser respondida de maneira tão direta e seriam necessários novos elementos para discutir estes aspectos e a medida que as demais questões selecionados fossem aprofundadas, este ponto seria retomado.

Na questão 5 os estudantes responderam prontamente, porém, foram questionados acerca do que seria possível supor sobre o fato de o espectro da luz oriunda da Lua e dos planetas ser igual ao espectro do Sol. Um estudante respondeu que a composição da Lua seria igual a do Sol. Diante desta colocação o professor esclareceu que esta afirmação não poderia ser feita de maneira tão direta, mas que poderia tratar-se de uma hipótese a ser considerada. Outro estudante complementou que poderia ser apenas a luz do Sol refletida pela Lua. Assim, o professor pode destacar o papel da formulação de hipóteses plausíveis e sobre a importância de validar hipóteses formuladas. Diante destas colocações também foi enfatizado que a partir de hipóteses diferentes surgem as

controvérsias científicas, as quais constituem uma característica da atividade científica.

Na questão 6 os estudantes apresentaram certa dificuldade em entender o significado de classificar objetivamente as cores observadas no espectroscópio. Foi então discutido que a percepção de cores é algo subjetivo quando realizado pelas pessoas, mas tratando-se de um experimento que necessite diferenciar uma cor da outra, seria indispensável um método objetivo, ou seja, que não dependesse unicamente do observador. Como exemplo foram citadas as diversas tonalidades de azul presentes na sala de aula, nas roupas, encosto das carteiras, pintura da parede, etc. Os estudantes foram questionados sobre como seria possível classificar todas aquelas tonalidades distintas de maneira que fosse possível reconhecê-las. A seguir o professor relacionou a pergunta com a tentativa de Bunsen ao usar um calorímetro para tal tarefa. Por fim foi pontuado que Kirchhoff propôs o uso do prisma e que as cores fossem classificadas pela posição em que apareciam quando vistas pelo espectroscópio. Foi enfatizado que esta nova característica introduzida por Kirchhoff e Bunsen permitiu classificar e medir objetivamente as cores a partir de sua posição dentro do espectroscópio, o qual passou a ser denominado de espectrômetro. Além disso, foi enfatizado o papel da invenção do bico de Bunsen, bem como os fatores que estimularam Bunsen a aprimorar o queimador e quais avanços ele propiciou ao desenvolvimento da espectroscopia. Para estimular as discussões acerca deste ponto, os estudantes foram questionados a respeito de como seria possível queimar uma substância, para ver o seu espectro através do espectroscópio, tendo certeza de que a luz observada não estava "contaminada" pela luz da chama utilizada para queimar a substância. A partir deste problema foi enfatizado a solução dada pelo bico de Bunsen.

A questão 7 apresenta-se de forma bastante objetiva e os estudantes foram capazes de pontuar corretamente as conclusões de Kirchhoff e Bunsen, ou seja, que cada elemento químico queimado no bico de Bunsen apresentava seu próprio conjunto de linhas coloridas. Contudo, foi enfatizada uma sutileza não apontada pelos estudantes. Quando analisam o espectro do Sol, Kirchhoff e Bunsen percebem todas as cores e linhas escuras distribuídas ao longo do espectro. Quando analisam a luz proveniente de elementos vaporizados aqui na Terra percebem linhas coloridas bem específicas. A discussão sobre estas questões se restringiu a evidenciar que embora se tivesse conhecimento sobre estes aspectos, não havia nenhuma explicação sobre isto e que mesmo diante de tais limitações, Kirchhoff foi capaz de formular três

leis para a espectroscopia. Estas colocações permitiram discutir o papel da lei empírica na construção do conhecimento científico. Para discutir a primeira e segunda leis de Kirchhoff foi descrito o que ocorre quando uma barra de ferro é aquecida, passando a emitir luz com espectro contínuo, igual ao do Sol, mas sem as linhas escuras. A seguir, descreveu-se o que ocorre quando este mesmo ferro é vaporizado, ou seja, que nesta situação produz um espectro discreto. Embora estas duas situações tenham sido descritas pelo professor, elas não foram pormenorizadas. Objetivou-se apenas enfatizar o caráter das duas leis mencionadas. Contudo, foi destacado que haveria uma atividade experimental onde estas colocações seriam de fato observadas²¹.

As questões 8 e 9 relacionam-se diretamente com a terceira lei de Kirchhoff e foram discutidas conjuntamente. A partir da questão 8 foi possível discutir novamente a importância de se ter uma classificação objetiva para as cores, pois foi justamente isto que permitiu a Bunsen e Kirchhoff supor que as linhas coloridas emitidas por alguns elementos poderiam ser utilizadas para preencher as linhas escuras do espectro do Sol.

A questão 9 permitiu discutir a descoberta de que os elementos não apenas emitem, mas também absorvem luz. Uma vez que as linhas amarelas do sódio poderiam preencher as linhas escuras "D" de Fraunhofer para no espectro do Sol, foi discutida a constatação inesperada de Bunsen e Kirchhoff, ao perceberem que as linhas "D" não eram preenchidas pelas linhas amarelas do sódio, mas ao contrário, as linhas ficavam ainda mais contrastantes, ou seja, ficavam mais escuras do que já eram. Foi bastante enfatizado o motivo pelo qual as linhas de sódio não preencheram as lacunas escuras correspondentes as linhas "D", no espectro do Sol.

As questões 10 e 11 foram discutidas em conjunto. Os estudantes não mostraram dificuldades em entender que quando a luz de um sólido aquecido passava pelo vapor aquecido de algum elemento químico surgiam as linhas escuras no espectro contínuo do sólido aquecido. Foi enfatizada a primeira lei de Kirchhoff, a qual estabelece que um corpo sólido aquecido emite um espectro contínuo. Foi também enfatizado que nesta situação não se detectava nenhuma linha escura. Contudo, ao passar a luz proveniente de um sólido aquecido pelo vapor de sódio, apareciam as linhas escuras "D" de Fraunhofer. A partir destas colocações foram discutidos dois pontos. O primeiro ponto reforçou que

²¹ A atividade experimental foi prevista para a aula 6. O plano de aulas está integralmente disponível no Anexo A.

pode haver tanto emissão de luz quanto absorção de luz pelos elementos químicos. O segundo ponto reforçou que se o espectro do Sol apresenta aquelas linhas "D", então deve haver sódio no Sol. Inclusive, fez-se referência a passagem do texto que relata a hipótese formulada por Kirchhoff, de que a região interna do Sol emite todas as cores, tal que um sólido aquecido, e que deveria então haver uma espécie de massa gasosa de sódio na parte externa, que estaria absorvendo luz e formando as linhas escuras "D".

A questão 11 não pode ser totalmente discutida, devido ao término da aula. Após ser brevemente explanada pelo professor, um estudante mencionou não ter entendido sobre como foi possível concluir que não há lítio no Sol. O processo foi brevemente descrito pela segunda vez. Partindo da terceira lei de Kirchhoff, foi enfatizado que quando a luz de um corpo aquecido passa por algum gás, ocorre absorção de luz pelo gás, formando linhas escuras no espectro contínuo do corpo aquecido. Então, se a luz do Sol passa pelo vapor de lítio é surgem novas linhas no espectro do Sol, pode-se concluir que as linhas tiveram origem aqui na Terra, após passarem pelo vapor de lítio. Logo, não existe lítio no Sol, pois do contrário as linhas já deveriam estar presentes em seu espectro.

Embora nem todas as questões tenham sido discutidas, foi possível aprofundar satisfatoriamente vários pontos importantes do texto, bem como evidenciar alguns aspectos da natureza do conhecimento científico. Ao encerrar a aula os estudantes foram lembrados de que deveriam trazer o espectroscópio para a próxima aula na qual seria realizada a atividade experimental referente as leis da espectroscopia de Kirchhoff.

4.5 AULA 5

Nesta aula foi realizada a atividade prática para observar espectros luminosos. Na primeira parte da aula os estudantes foram instruídos a organizarem-se em grupos e receberam o roteiro da atividade²². Enquanto se acomodavam, o kit experimental²³ foi montado sobre a mesa do professor. Os estudantes foram previamente informados da necessidade de trazerem os espectroscópios. Em uma aula anterior,

²² O roteiro da atividade prática está integralmente disponível no anexo A, junto ao programa da aula 5.

²³ Uma descrição detalhada sobre o kit experimental está disponível no anexo B.

eles construíram o referido dispositivo e foram orientados a preservá-lo para esta atividade²⁴.

A sala de aula foi escurecida com o fechamento das cortinas, deixando o ambiente mais propício para a observação. A atividade prática foi conduzida em três momentos. No primeiro momento os estudantes observaram o espectro de uma lâmpada de filamento incandescente. A lâmpada permaneceu acesa por cerca de 10 minutos, enquanto os estudantes circularam pela sala de aula a fim de encontrarem o melhor posicionamento para a observação. Todos os integrantes de cada grupo deveriam realizar a observação com o dispositivo. A seguir, os grupos registraram com o celular as imagens referentes ao espectro da lâmpada de filamento incandescente. A Figura 2 ilustra uma das imagens registradas por um dos grupos. Após as observações da lâmpada incandescente a mesma foi desligada.

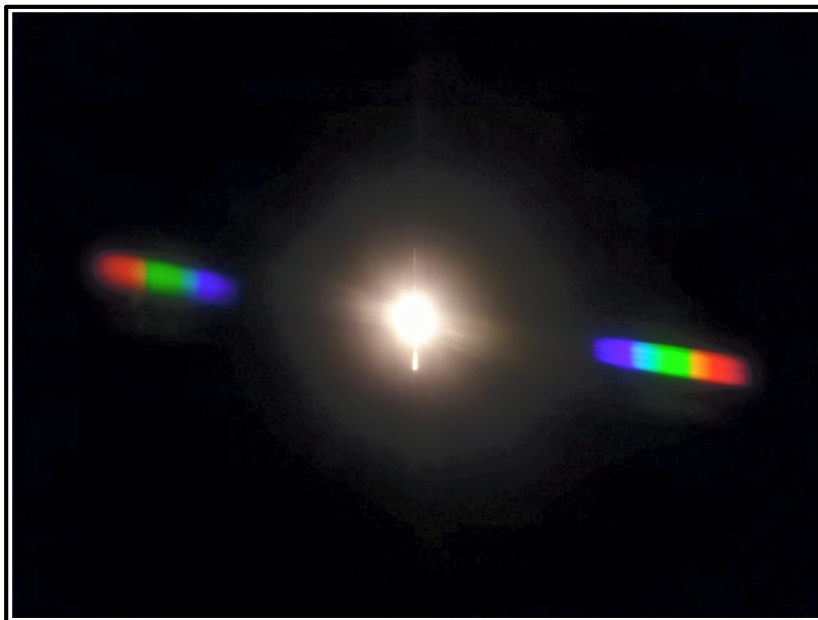
No segundo momento da atividade prática a lâmpada de vapor de sódio foi acesa. Os estudantes procederam as observações novamente, registrando com o celular as melhores imagens observadas, segundo seu próprio julgamento. Para as situações duvidosas, os estudantes solicitavam a avaliação do professor. A Figura 3 ilustra uma das imagens coletadas por um dos grupos. Após as observações da lâmpada de vapor de sódio a mesma foi desligada.

Por fim, no terceiro momento da atividade prática a lâmpada de vapor de mercúrio foi acesa. Os estudantes procederam as observações novamente, registrando com o celular as melhores imagens obtidas. A Figura 4 ilustra uma das imagens coletadas por um dos grupos.

O roteiro de atividades foi dividido em três partes. A primeira parte destinou-se exclusivamente a observação e descrição dos espectros observados durante a atividade prática. Os estudantes foram orientados a dedicarem-se exclusivamente a observação e registro das imagens dos espectros das três lâmpadas. As questões 3, 6 e 9 solicitavam que os estudantes desenhassem os espectros das lâmpadas observadas. Contudo, o desenho dos espectros foi substituído pelas imagens registradas pelos celulares dos estudantes. As demais questões diziam respeito a caracterização das observações acerca dos espectros. Foi solicitado que os estudantes se organizassem em grupos e as respondessem posteriormente, fora do período das aulas.

²⁴ Uma descrição detalhada sobre o espectroscópio, bem como o procedimento para construí-lo, está disponível no anexo B.

Figura 2 - Espectro da lâmpada de filamento incandescente obtido por um dos grupos durante a atividade prática.



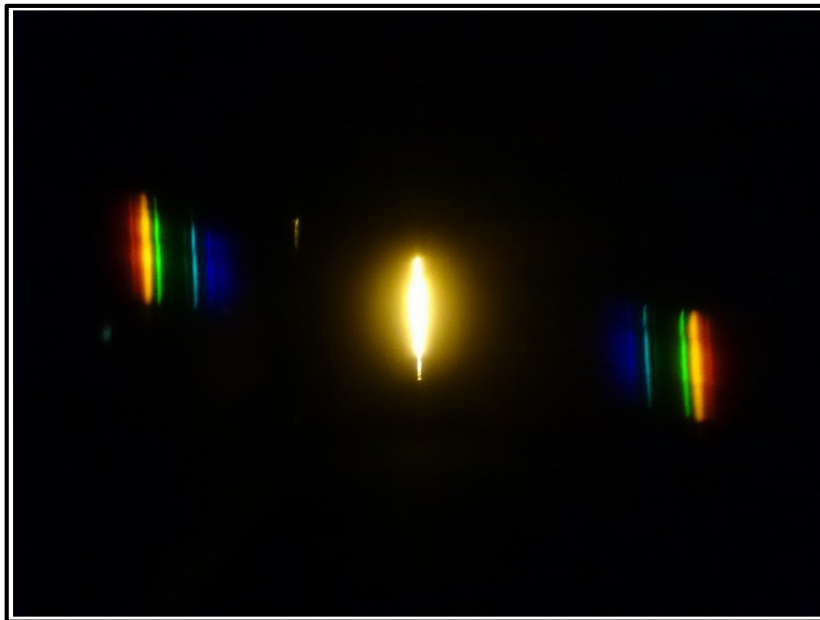
Fonte: Elaborado pelos estudantes.

A lâmpada de filamento gerou poucos questionamentos por parte dos estudantes. Suas perguntas figuraram em torno da qualidade da imagem obtida. Deve-se ressaltar que não foi a primeira vez que viram o espectro contínuo pelo espectroscópio, pois em aulas anteriores, quando foi feita a elaboração do dispositivo pelos estudantes, os mesmos foram para fora da sala de aula observar e fotografar o espectro da luz do Sol. Como parte daquela atividade prática, os estudantes deveriam registrar imagens do espectro da luz do Sol, bem como imagens do dispositivo por eles construído e utilizado. A Figura 5 ilustra uma das imagens registradas naquela ocasião, por um dos grupos e detalhes do espectroscópio por eles construído.

Conduto, na segunda parte, onde a lâmpada de vapor de sódio foi observada, vários estudantes ficaram surpresos (alguns, até admirados!) ao constatarem o espectro constituído por linhas separadas por longas faixas escuras. Evidentemente, perguntaram o porquê, de neste caso, somente algumas linhas coloridas aparecerem. Diante destes

questionamentos foram estimulados pelo professor a pensar um pouco mais sobre o novo problema, tendo como garantia que a questão seria retomada em um momento posterior, uma vez que esta atividade experimental seria intensamente discutida nas próximas duas aulas.

Figura 3 - Espectro da lâmpada de vapor de sódio obtido por um dos grupos durante a atividade prática.

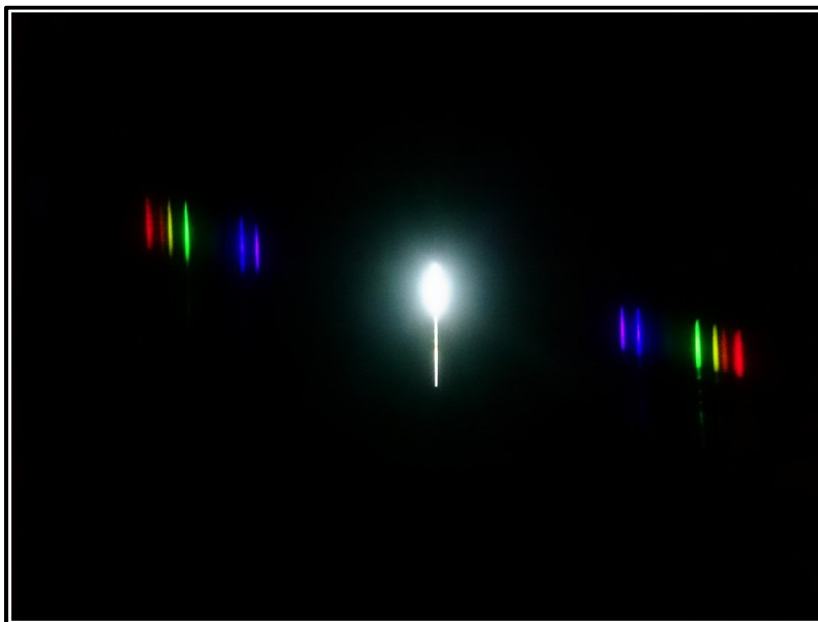


Fonte: Elaborado pelos estudantes.

Nestas discussões individuais, deflagradas no decorrer da atividade de observação, para alguns estudantes (e posteriormente para toda a classe) foi enfatizado que o novo problema revelado pela observação causou o mesmo impacto sobre os cientistas da época em que estas observações foram feitas, sendo resgatado nesta oportunidade o texto trabalhado na aula 3. Nestas oportunidades, era ressaltado que não tratava-se simplesmente de uma lâmpada de sódio, mas sim de "vapor" de sódio. Sempre que esta colocação era enfatizada, alguns estudantes associavam esta situação com a segunda lei de Kirchhoff para a espectroscopia. Quando estas oportunidades ocorriam, também era enfatizado que uma coisa era verificar o que estava ocorrendo e outra

coisa era descrever por que aquilo ocorria, objetivando caracterizar a descoberta de um novo fenômeno e distingui-la da descrição para o referido fenômeno, dada pelos cientistas.

Figura 4 - Espectro da lâmpada de vapor de mercúrio obtido por um dos grupos durante a atividade prática.



Fonte: Elaborado pelos estudantes.

Outros questionamentos pertinentes que surgiram durante a atividade experimental versaram sobre outras fontes de luz. Alguns estudantes mostraram curiosidade em saber como seriam os espectros de outras lâmpadas. Quando questionavam a este respeito sempre eram estimulados a realizarem o "teste", apontando o dispositivo para as lâmpadas em casa, as lâmpadas dos postes nas ruas. Era esclarecido a eles que de maneira geral, poder-se-ia utilizar o espectroscópio para investigar a composição da luz emitida por qualquer fonte luminosa.

Apenas um estudante questionou o que ocorreria se duas lâmpadas fossem acessas. Especulou sobre a possibilidade de colocar uma lâmpada na frente da outra e talvez obter um espectro com mais cores, ou então alguma interferência. Diante da proposta, foi estimulado

a realizar o "teste", mas infelizmente a aula chegara ao fim e não foi possível ligar as duas lâmpadas como sugerido por ele.

Figura 5 - Espectro da luz do Sol e detalhes do espectroscópio utilizado por um dos grupos.



Fonte: Elaborado pelos estudantes.

Outras observações mostraram-se muito pertinentes, dentre as quais cabe ressaltar uma em especial. Após perceberem que os espectros da luz das lâmpadas de vapor de algum elemento (no nosso caso, sódio e mercúrio) apresentavam um conjunto de cores característico do elemento químico envolvido (informação esta presente no texto da aula 3) alguns estudantes questionaram por que a lâmpada tem uma única cor

quando se olha diretamente para ela, mas apresenta várias cores quando sua luz passa pelo espectroscópio. Diante destes questionamentos a resposta não era fornecida, ao contrário, os estudantes eram orientados a pensarem um pouco mais sobre o problema, uma vez que esta pergunta estava presente na segunda parte da atividade, a ser realizada na aula seguinte.

De toda forma, a atividade experimental mostrou-se bastante produtiva e estimulante aos estudantes, despertando questionamentos e os colocando diante de uma perspectiva mais investigativa.

A tarefa correspondente a esta aula estava anexada ao roteiro da atividade experimental. Nesta etapa os estudantes deveriam responder a um questionário com nove perguntas sobre os espectros observados. As perguntas estavam organizadas em blocos de três questões, sendo cada um dos blocos referente a uma das lâmpadas.

A primeira questão de cada bloco solicitou que os estudantes descrevessem a cor de cada lâmpada observada ao olharem diretamente para ela, ou seja, sem utilizarem o espectroscópio.

A segunda questão solicitou aos estudantes que descrevessem as características do espectro luminoso produzido por cada uma das lâmpadas quando a luz proveniente das mesmas passava pelo espectroscópio.

A terceira questão solicitava que os estudantes desenhassem o espectro observado. Esta solicitação foi substituída pela captura da imagem dos espectros feito pelo uso dos aparelhos celulares dos estudantes. As imagens foram publicadas em uma rede social e compartilhada por todos os estudantes.

Os estudantes puderam trabalhar em grupos de até 4 alunos. Contudo, cada estudante recebeu uma cópia do roteiro para que pudesse manter registros individuais da produção feita em grupos. Dessa maneira, deveriam eleger um membro do grupo para realizar a entrega via formulário online, indicando nesta entrega, os integrantes do referido grupo. A entrega desta tarefa, mais especificamente da primeira e segunda questões, foi feita via formulário online, cujo link foi disponibilizado aos estudantes, com prazo para entrega estipulado pelo professor.

Como pode-se notar, as questões propostas tem caráter bastante objetivo, pretendendo-se com as mesmas apenas uma boa caracterização dos espectros observados. As discussões decorrentes da atividade experimental foram realizadas nas duas aulas seguintes, como previsto no plano de aulas.

4.6 AULA 6

Nesta aula os estudantes receberam o material referente a segunda parte do roteiro de atividades, o qual continha as questões 10 a 14. Cada estudante recebeu uma cópia do material. Contudo, foram orientados de que a entrega da atividade deveria ser realizada em grupos de até 4 integrantes. Nesta aula as questões foram apenas apresentadas e discutidas com o intuito de esclarecer melhor os objetivos pretendidos com a referida atividade e sanar eventuais dúvidas sobre as questões e como poderiam ser respondidas. A partir destas discussões, posteriormente, cada grupo deveria discutir e formular as suas repostas e postá-las em um formulário online especificamente elaborado para esta tarefa, cujo link para acesso foi disponibilizado aos estudantes, com prazo de entrega estipulado.

A medida que as questões foram analisadas, os estudantes formularam suas repostas em seus roteiros, individualmente. Eventualmente, um dos estudantes solicitava ler a sua resposta para certificar-se de estar correta. Diante dessas oportunidades, os demais estudantes eram convidados a contribuir, corrigindo ou acrescentando informações à resposta do colega. Sempre que necessário, as imagens das figuras 2, 3 e 4 eram observadas, pois foram projetadas no telão da sala. Esta dinâmica seguiu até o término da aula.

Antes de discutir as questões foi feita a análise das imagens dos espectros das lâmpadas incandescente, vapor de sódio e vapor de mercúrio. Esta análise permitiu discutir as cores que os objetos apresentam quando iluminados pelas lâmpadas ou pelo Sol, pois foi evidenciado que as cores dos espectros não são exatamente as mesmas. Foi evidenciado também que além de fontes distintas emitirem cores diferentes, em um dado espectro algumas cores são emitidas com mais intensidade do que outras. Além disso, puderam perceber que embora a emissão de luz pudesse ocorrer em apenas determinadas cores, a superposição das ondas luminosas correspondente a cada cor, cada qual com sua intensidade, contribui para compor a cor que percebemos quando olhamos diretamente para a fonte²⁵. Outro ponto observado foi a nítida discrepância entre os espectros discretos das lâmpadas de vapor de sódio e mercúrio e o espectro contínuo da lâmpada de filamento. Foi brevemente comentado que esta distinção será aprofundada

²⁵ Esse raciocínio foi retomado nas aulas 11 e 13, a partir da ideia de fóton, relacionando a intensidade da luz com a quantidade de fótons, ou seja, reinterpretando a emissão de luz a partir de uma visão corpuscular.

posteriormente e constituiu um grande problema para os físicos daquela época, e que posteriormente ficou conhecido como radiação de corpo negro. Após a discussão e análise das imagens dos espectros, seguiu-se para a discussão das questões do roteiro.

A questão 10 continha o seguinte enunciado: *Descreva no que o espectro da lâmpada de filamento incandescente difere dos espectros das lâmpadas de vapor de sódio e mercúrio. De acordo com as observações realizadas, que característica os difere de maneira mais evidente?* Os estudantes perceberam prontamente que a principal distinção decorre do fato do espectro da lâmpada de filamento incandescente ser contínuo, ao passo que os espectros das lâmpadas de vapor de sódio e de mercúrio serem discretos. Foi frisada a importância do fato de que em uma lâmpada a emissão ocorria a partir de um corpo sólido e aquecido, ao passo que nas outras duas lâmpadas a emissão decorria de vapor aquecido (sódio e mercúrio) e esta informação seria de grande relevância nas aulas futuras. Nesta oportunidade foi brevemente comentado sobre as questões 12, 13 e 14 do Quadro 2, que não puderam ser discutidas na aula 4. Os estudantes foram questionados sobre qual seria a importância dos astrônomos analisarem a luz do disco solar nos eclipses. A questão foi deixada em aberto para os estudantes pensarem, e a mesma foi retomada na terceira parte do roteiro da atividade experimental.

A questão 11 continha o seguinte enunciado: *Descreva que características são comuns entre os espectros das lâmpadas de vapor de sódio e mercúrio. De acordo com as observações, no que eles diferem?* Alguns estudantes prontamente responderam que os dois espectros eram discretos, sendo esta a característica comum entre eles. Também foram capazes de distinguir um espectro difere do outro pela quantidade de linhas. Perceberam que algumas cores eram distintas (estavam presentes em um dos espectros mas não no outro) e que as algumas cores, embora presentes nos dois espectros, apresentavam-se em diferentes intensidades. Por exemplo, as tonalidades na região do amarelo eram mais intensas na lâmpada de sódio e as tonalidades na região do violeta eram mais intensas na lâmpada de mercúrio. Um estudante questionou sobre como seria possível ter certeza se algumas cores dos espectros de sódio e mercúrio eram de fato as mesmas. Diante desta questão foi comentado que essa "certeza" não era possível de se ter a partir das imagens, as quais foram obtidas sob circunstâncias pouco controladas, em sala de aula e que para tanto seria necessário aferir a posição das linhas com um espectrômetro em condições apropriadas. Também foi ressaltado que a ausência desta "precisão" na atividade experimental não

comprometia a análise que estava sendo feita, pois a mesma era apenas qualitativa.

A questão 12 continha o seguinte enunciado: *Se fosse necessário classificar os espectros observados, quantos e em quais grupos você os classificaria?* O primeiro critério apontado por alguns estudantes foi classificar os espectros em contínuo e descontínuo. O segundo critério apontado por alguns estudantes foi classificar os espectros pela intensidade das cores presentes, no sentido que os espectros podem coincidir em algumas cores, mas não na intensidade destas cores. O terceiro critério foi sugerido por alguns estudantes em decorrência das discussões do segundo critério, o qual seria, classificar os espectros pelas cores presentes. Outro critério sugerido seria classificar os espectros discretos pelas distâncias entre as cores.

A questão 13 continha o seguinte enunciado: *Aproxime-se da lâmpada de filamento e observe-a. Você acha que há algum outro tipo de radiação além daquela que pode ser percebida pelos olhos?* Em caso afirmativo, explique como você pôde percebê-la e diga como ela é denominada. Durante a atividade experimental os estudantes foram convidados a aproximar a mão das lâmpadas. Alguns estudantes responderam rapidamente que sentiram o calor na pele. Foi então comentado que o calor não pode ser percebido pelos nossos olhos, como ocorreu com as cores. Um estudante foi capaz de associar esta radiação ao termo "infravermelho". Neste ponto a figura do espectro contínuo (Figura 2) foi utilizada para ilustrar as duas regiões, imediatamente anterior ao vermelho e imediatamente posterior ao violeta. Os estudantes foram questionados sobre como seria possível definir a região imediatamente após o violeta. Um estudante respondeu corretamente, denominando-a de ultravioleta. Foi discutido brevemente a respeito dos tipos de luz que não podem ser detectadas pelos nossos olhos. Também foi discutido que as radiações na região do infravermelho podem ser rapidamente percebidas pela pele e que as radiações na região do ultravioleta, embora pudessem ser percebidas pelo nosso corpo, esta percepção não é tão imediata. Um estudante colocou que os efeitos da radiação ultravioleta são prejudiciais. Então iniciou-se uma breve discussão sobre os protetores solares, salientando-se que o seu uso visa proteger a pele das radiações ultravioletas e não do calor, e que as "queimaduras" provocadas pela exposição ao Sol correspondem ao efeito decorrente da radiação ultravioleta, ou seja, mesmo em dias nublados deve-se usar o protetor solar, pois a incidência de radiação ultravioleta não é suficientemente atenuada pelas nuvens, ao passo que a radiação infravermelha sim. A seguir foi colocado aos estudantes que as

lâmpadas da sala de aula também emitem radiação ultravioleta. A seguir foram questionados por que neste caso não é necessário o uso de protetores solares. Um estudante respondeu corretamente que a radiação emitida não deveria ser muito forte. A partir de sua resposta, foi possível relacionar a intensidade das radiações com o brilho das cores dos espectros da Figura 3 e da Figura 4.

A questão 14 continha o seguinte enunciado: *O Sol emite vários tipos de radiações, dentre elas a luz visível e radiação infravermelha. O mesmo ocorre com a lâmpada de filamento incandescente. Como você explicaria o fato de precisarmos nos aproximar da lâmpada para perceber a sua emissão de luz infravermelha (calor) mas não necessitamos nos aproximar do Sol para sentirmos o seu "calor chegando"?* Um estudante respondeu que o Sol deveria emitir com muita intensidade já que está tão longe e mesmo assim podemos perceber facilmente o seu calor quando andamos na rua. Para encerrar a aula foi comentado brevemente sobre a eficiência das lâmpadas de filamento, ressaltando que a maior parte da energia é emitida na região do infravermelho, sendo portanto, pouco eficientes.

Ao término da aula os estudantes foram lembrados de que seria necessário registrar as respostas dos grupos para as questões discutidas nesta aula, utilizando o formulário online disponibilizado pelo professor.

4.7 AULA 7

Nesta aula os estudantes receberam o material referente a terceira parte do roteiro de atividades, o qual continha as questões 15 a 17. Cada estudante recebeu uma cópia do material. Contudo, foram informados de que a mesma deveria ser realizada em grupos de até 4 integrantes durante a aula, e posteriormente, cada grupo deveria postar suas respostas em um formulário online, cujo link foi disponibilizado pelo professor²⁶.

Antes de iniciar as atividades dois tópicos foram previamente discutidos. Optou-se pelo uso de duas simulações como recurso metodológico, de caráter mais discursivo, restrito ao uso pelo professor.

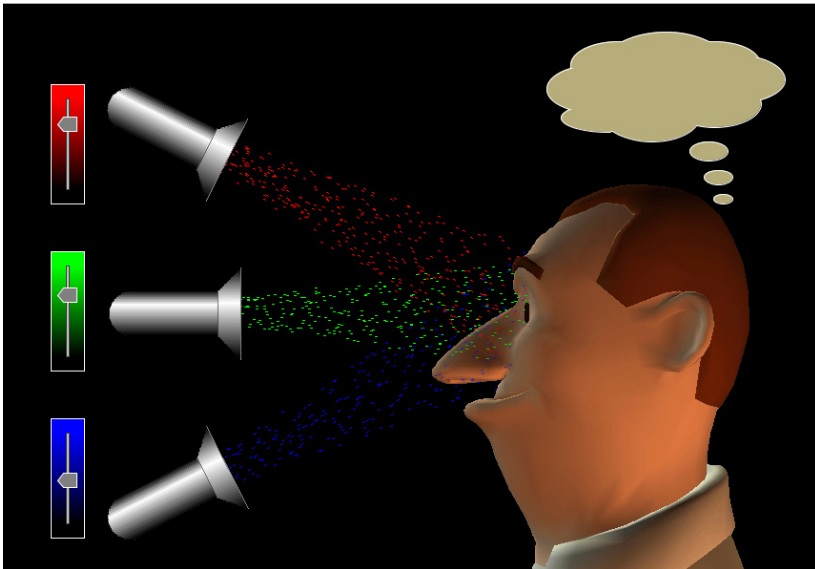
Para o primeiro tópico foi utilizada uma simulação do projeto Phet Colorado intitulada Visão e Cores, disponível em <https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/color-vision>²⁷.

²⁶ O roteiro da atividade prática está integralmente disponível no anexo A, junto ao programa da aula 5.

²⁷ Todas as salas de aula dispõem de computador, projetor e lousa digital para projeção.

Esta simulação foi utilizada com o objetivo de melhor caracterizar a percepção das cores por um observador. A simulação em questão permitiu discutir a composição de cores a partir da superposição das luzes monocromáticas vermelho, verde e azul, em diferentes intensidades. A Figura 6 ilustra a simulação em uso.

Figura 6 - Simulação Phet Colorado: superposição de luzes monocromáticas.



Fonte: <https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/color-vision>. Acesso em: 16/10/2015.

Primeiramente foram dadas algumas orientações acerca do funcionamento da simulação, apenas para que os estudantes pudessem compreender minimamente o que poderia ser simulado. Foi esclarecido que tratavam-se de três lanternas que emitiam luzes monocromáticas, ou seja, luzes com frequências bem definidas. Esta informação permitiu reforçar a relação entre a frequência de uma onda luminosa e a sua cor. A seguir os estudantes foram questionados a respeito dos controles disponíveis em cada lanterna. Foi perguntado o que eles achavam que seria modificado pelo uso daqueles controles. Alguns estudantes responderam prontamente que seria possível controlar a intensidade da luz. Daí seguiu-se uma breve discussão sobre tonalidade, sendo

colocado que a medida que a luz da lanterna vai ficando menos intensa, então a percepção do observador vai ficando mais escura. Esta situação foi simulada com a lanterna vermelha. A situação limite em que a intensidade da luz emitida por qualquer fonte tendesse a zero deveria então conduzir ao "preto". Os estudantes puderam perceber várias tonalidades de vermelho, a medida que a intensidade foi gradativamente reduzida.

Após alguns minutos uma pergunta já esperada finalmente surgiu. Um estudante perguntou o que era aquilo que estava saindo da lanterna. A ausência de qualquer comentário a esse respeito até aquele momento da aula foi proposital, pois esperava-se que os estudantes percebessem as pequenas partículas saindo das lanternas. Este questionamento permitiu discutir brevemente sobre a concepção corpuscular para a luz. É um ponto muito importante, e foi devidamente frisado aos estudantes, que naquele momento este aspecto corpuscular para interpretar a luz, proposto pela simulação, era impróprio, visto que até então estávamos considerando que a luz era um movimento ondulatório. Foram resgatados alguns tópicos vistos anteriormente, dentre os quais, a controvérsia entre Isaac Newton e Christiaan Huygens acerca da natureza da luz, bem como os resultados do experimento de Thomas Young, estabelecendo que a luz era um movimento ondulatório, mas que, frente a novos fatos, observados no início do século XX, foi necessário rever as concepções acerca da natureza da luz, a partir de trabalhos realizados por Albert Einstein. Assim, sem mencionar maiores detalhes, foi colocado que este tema voltaria a ser discutido em aulas posteriores, o que de fato está previsto no plano de aulas, e portanto não seria dado nenhum aprofundamento a esta questão naquele momento.

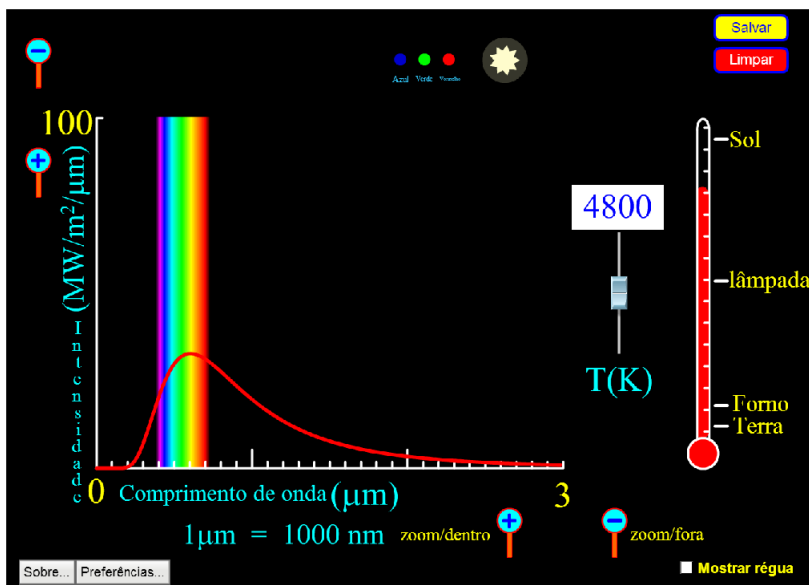
A seguir, foram simuladas adições de cores, em diferentes tonalidades, para que os estudantes percebessem que a luz que recebemos de um objeto pode ser resultado da emissão de luz de diferentes cores, em diferentes intensidades. Alguns estudantes associaram rapidamente o termo "mistura" para a situação simulada. Diante desta colocação foram feitas algumas considerações, alertando-os de que este termo apresenta certa imprecisão, no que diz respeito ao seu significado. Para melhor descrever a referida situação, os estudantes foram estimulados a resgatarem fenômenos ondulatórios. Assim, se a luz fosse interpretada como um movimento ondulatório, o que deveria ocorrer quando duas ou mais ondas se encontram em algum lugar no espaço? Prontamente vários estudantes resgataram o fenômeno da superposição, ficando assim estabelecido, que a "mistura" era na verdade a superposição das ondas luminosas de cada lanterna.

A partir destas colocações foram resgatadas as questões da primeira parte da atividade experimental. Os estudantes foram questionados novamente acerca da cor que perceberam nas lâmpadas quando olharam diretamente para elas. A lâmpada de sódio foi tomada como exemplo. Sua coloração era amarelada, quando vista diretamente, mas apresentava um conjunto de somente algumas cores, evidenciado pela análise de sua luz após passar pelo espectroscópio. Outro ponto evidenciado diz respeito a intensidade com a qual as cores presentes no espectro do sódio eram emitidas, ressaltando-se que a faixa amarelada do seu espectro apresentava um brilho mais intenso do que as faixas da região do violeta (Figura 3). Por outro lado, a percepção de cor que se teve ao olhar para a lâmpada de vapor de mercúrio apresentava-se uma tonalidade completamente diferente daquela percebida pela lâmpada de sódio. Foi enfatizado que o espectro da lâmpada de mercúrio (Figura 4) apresentou cores similares ao espectro da lâmpada de sódio, mas a faixa do amarelo era mais intensa no espectro da lâmpada de sódio do que no espectro da lâmpada de mercúrio. Por outro lado, a faixa do violeta era mais intensa no espectro da lâmpada de mercúrio do que no da lâmpada de sódio.

Após explorar a simulação e discutir os aspectos mais diretamente relacionados com a emissão dos espectros discretos das lâmpadas de vapor de sódio e mercúrio, a discussão foi conduzida para o problema dos corpos sólidos, por emitirem um espectro contínuo ao invés de um espectro discreto. Para iniciar as discussões foi colocado para os estudantes a seguinte questão: por que as lâmpadas, de filamento incandescente e vapor de sódio, apresentaram-se com a coloração amarelada se o espectro da primeira apresenta todas as cores (Figura 2) e o espectro da segunda somente algumas cores (Figura 3). Esta questão não foi respondida pelos estudantes. Então foi enfatizado que a cor percebida a partir de uma fonte está relacionada não apenas com as cores presentes em seu espectro mas também com que intensidade estas cores são emitidas. Esta colocação permitiu introduzir alguns conceitos relacionados ao espectro de corpo negro. Foi colocado que a análise da emissão de luz por objetos sólidos deu origem a um dos grandes problemas da Física do século XX e a seguir foi feita uma caracterização do problema da radiação do corpo negro. Para auxiliar esta caracterização foi utilizada uma simulação do projeto Phet Colorado intitulado Blackbody Spectrum, disponível em <https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/blackbody-spectrum>. Deve-se salientar que neste momento o objetivo foi apenas caracterizar o problema, sem aprofundar na solução do mesmo, a qual

levou a hipótese da quantização da energia por Max Planck. O objetivo foi apenas mostrar mais claramente como se dá a dependência das intensidades de radiação emitidas por um sólido aquecido em função de sua temperatura. Foi colocado para os estudantes que a solução para este problema envolve conceitos mais complexos e que por enquanto estaríamos interessados apenas em caracterizar alguns de seus aspectos. A Figura 7 ilustra a simulação em uso.

Figura 7 - Simulação Phet Colorado: radiação de corpo negro.



Fonte: <https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/blackbody-spectrum>. Acesso: 16/10/2015.

A primeira situação simulada foi a curva de emissão do Sol, à temperatura de 5.000 K. Foi enfatizado que no caso de corpos sólidos aquecidos a descrição física para a emissão é distinta da descrição para os espectros discretos produzidos por gases aquecidos e que nenhum destes mecanismos era conhecido à época de Kirchhoff e que dessa forma, os trabalhos científicos relacionados a estas questões eram puramente empíricos e que somente décadas depois foi possível elaborar descrições satisfatórias para estas observações e, como já mencionado, revolucionou a Física no início do século XX.

Pela observação direta da simulação foi destacado o pico de emissão do Sol, entre as regiões do amarelo e verde. Também foi observado pelo professor que embora houvesse um pico de intensidade, outras frequências também são emitidas, e que há grande quantidade de radiação na faixa do infravermelho, ou seja, há considerável emissão de calor, bem como também ocorre emissão na faixa ultravioleta, embora esta faixa seja mais estreita. Foi fortemente frisado que a emissão é contínua, ou seja, os sólidos tem esse comportamento, o qual os difere das substâncias na fase gasosa.

A segunda situação simulada foi à temperatura de 3.000 K, sendo esta praticamente a temperatura das lâmpadas de filamento incandescente. Foi possível verificar claramente como a curva se deslocou para a região do infravermelho, evidenciando que a maior parte do espectro emitido não poderia ser visto pelo espectroscópio. Outro ponto discutido foi a altura da curva, que nesta situação ficou tão próxima do eixo horizontal que aparentava ser praticamente horizontal, sendo necessário um pequeno ajuste na escala para tornar-se visível. Isto permitiu enfatizar que a emissão de radiação pelo Sol é bem mais intensa do que em uma lâmpada, fato este já discutido na segunda parte do roteiro da atividade experimental.

Por fim foi simulada a temperatura equivalente de um forno à 300 K. Esta situação exigiu novo ajuste na escala do eixo horizontal, pois ocorre, neste caso, grande deslocamento da curva na direção do infravermelho. Nesta situação foi possível observar através do gráfico que não ocorre nenhuma emissão na faixa do espectro visível e justamente por conta disto a radiação emitida pelo forno não pode ser vista por uma pessoa. Porém pode ser facilmente percebida através da pele, ao nos aproximarmos do forno, fato este já discutido na segunda parte do roteiro da atividade experimental.

Esta primeira parte da aula foi finalizada com a seguinte questão: *qual a relação entre a emissão de luz por objetos aquecidos e a emissão de luz por gases aquecidos com a constituição da matéria? de que forma estes assuntos se relacionam com o átomo?* estas questões foram colocadas para a turma apenas com o objetivo de encaminhar a segunda parte do plano de aulas, pois esta aula, justamente encerra a primeira parte do plano de aulas.

A seguir, os estudantes utilizaram o tempo restante da aula para iniciarem a tarefa, que constituiu-se das últimas três questões do roteiro da atividade experimental.

A questão 15 continha o seguinte enunciado: *No caso da luz emitida pela lâmpada de filamento incandescente, quando se olha pelo*

espectroscópio observa-se a presença de todas as cores, mas quando se olha diretamente para a lâmpada a mesma é percebida em uma tonalidade amarelada. Como você explicaria o fato desta fonte de luz parecer ter uma cor quando na verdade a luz que provém dela é formada por várias cores? Como esta questão foi brevemente discutida com o uso da simulação na primeira parte da aula, os estudantes foram capazes de respondê-la sem maiores dificuldades, justificando através da superposição das cores e pela predominância na intensidade de algumas cores, conforme analisado na simulação do corpo negro para a temperatura típica de uma lâmpada.

A questão 16 continha o seguinte enunciado: *A lâmpada de vapor de sódio apresenta-se em uma tonalidade amarelada, semelhante a lâmpada de filamento incandescente. Qual destas duas lâmpadas seria capaz de iluminar um tecido multicolorido reproduzindo mais adequadamente as cores deste tecido? Por que?* Nesta questão alguns estudantes apresentaram certa dificuldade em entender o que estava sendo questionado. Para auxiliá-los, foi disponibilizado na lousa as imagens dos espectros de cada lâmpada (Figura 2 e Figura 3). Ao relembrem o aspecto dos espectros foram capazes de rapidamente identificar que o espectro contínuo seria o mais adequado por apresentar todas as tonalidades de cor, ao passo que o espectro discreto, por apresentar apenas algumas cores, poderia não ser capaz de iluminar o referido corpo de maneira a reproduzir as mesmas tonalidades. Nesta questão foi necessário discutir com mais detalhes o significado do termo "adequadamente", presente na pergunta. Foi enfatizado que para saber a cor de um corpo uma opção seria expor este corpo a todas as frequências da luz visível.

A questão 17 continha o seguinte enunciado: *Como você explicaria o fato da lâmpada de sólido incandescente emitir muitas cores e as lâmpadas de vapor, de sódio e mercúrio, emitirem apenas algumas cores? Seria razoável supor que o estado físico (sólido ou gasoso) tem alguma relação com os tipos de espectro (contínuos e descontínuos)?* Esta questão foi cuidadosamente colocada para os estudantes no início da aula. Foi observado que neste caso específico estaríamos interessados em hipóteses para explicar o que está sendo perguntado, ou seja, as aulas até aqui trabalhadas não forneceram informações suficientes para responder a referida questão. No entanto, a formulação de hipóteses para descrever algo novo é uma condição típica da atividade científica. Um grupo em particular solicitou ajuda para responder a esta questão. Para auxiliar os estudantes a discussão foi conduzida da seguinte maneira: primeiramente foram enfatizadas as

observações feitas na atividade experimental, na qual um objeto sólido (a lâmpada incandescente) emitia um espectro contínuo ao passo que as lâmpadas de vapor de sódio e mercúrio emitiam um espectro discreto. A seguir foi descrita outra situação; se um pedaço de ferro no estado sólido for aquecido e irá emitir um espectro contínuo; se o ferro for vaporizado, ele irá emitir um espectro discreto. Frente a esta colocação os estudantes foram colocados diante de um fato novo, a saber, a mesma substância, no estado sólido e no estado de vapor, emitem espectros distintos. Diante deste fato novo, um estudante levantou a hipótese que de no estado sólido as partículas que constituem o corpo estão muito próximas e no estado gasoso estão livres, umas das outras. Para aprofundar a discussão, sua argumentação foi encorajada e uma nova questão foi colocada: *se o estado de agregação das partículas é relevante, como você explicaria que as partículas de sódio emitem um espectro diferente das partículas de mercúrio? se admitirmos que a matéria é constituída de partículas, será que estas partículas são todas iguais?* Frente as estas questões os estudantes deste grupo foram confrontados com o modelo de Dalton, o qual afirma que a matéria é constituída de partículas, mas não cogita a constituição destas partículas. Foi enfatizado que esta questão teria por objetivo apenas o exercício de ideias e que uma discussão mais aprofundada seria realizada nas próximas aulas.

Duas questões, levantadas em particular por dois estudantes, se destacaram. Um deles questionou o que ocorreria com a radiação que incide sobre um corpo totalmente negro. O estudante argumentou que sendo o corpo negro ele deveria absorver todas as cores, mas não compreendia para onde ia esta energia, já que a luz era uma forma de energia. Esta pergunta conduziu a uma breve discussão acerca do equilíbrio entre as taxas de absorção e emissão. Com poucos estímulos o estudante foi capaz de elaborar a explicação de por que os corpos escuros aquecem quando são iluminados; segundo ele devido ao fato de absorverem toda a luz visível que incide sobre eles e as devolver para o meio na forma de radiação infravermelha, ou seja, invisível, e que estas trocas poderiam estar relacionadas com o equilíbrio térmico do corpo com os outros objetos a sua volta, uma vez que todos os corpos deveriam emitir e absorver radiações o tempo todo. Diante deste quadro evitou-se maiores aprofundamentos.

Outro estudante questionou se não haveriam as linhas escuras de Fraunhofer também no espectro da lâmpada incandescente. Ele alegava que assim como não foi possível ver as linhas de Fraunhofer quando utilizaram o espectroscópio para analisar o espectro do Sol (Figura 5),

naquela situação poderia estar ocorrendo o mesmo. O seu ceticismo foi prontamente elogiado e diante da precariedade instrumental de nosso espectroscópio foi colocado que de fato não seria possível resolver esta questão. Contudo, seria possível avançar um pouco a partir do que já havíamos trabalhado nas aulas anteriores. Para tanto, alguns pontos foram retomados. O estudante foi questionado sobre como seria possível adicionar linhas escuras em um espectro contínuo. Ele foi capaz de mencionar o experimento realizado por Kirchhoff, ao fazer incidir a luz do Sol sobre a chama do vapor de sódio. A seguir o estudante mencionou a primeira lei de Kirchhoff e destacou que de fato, quando um corpo é aquecido, segundo a primeira lei de Kirchhoff, o mesmo emite um espectro contínuo e que se isso era uma lei, então possivelmente foi verificado pelo cientista que a formulou e esta lei se aplicava a situação em questão. Seguiu-se uma breve discussão sobre referida lei de Kirchhoff, no sentido de como seria possível afirmar que todo corpo aquecido tem determinado comportamento sem testar literalmente todos os corpos sólidos aquecidos. Este questionamento foi apenas uma maneira de introduzir uma breve discussão sobre o papel dos princípios na construção do conhecimento científico.

4.8 AULAS 8 E 9

Nestas aulas foi utilizado um texto contendo fragmentos históricos relacionados ao desenvolvimento dos modelos atômicos de J. J. Thomson e E. Rutherford. O texto foi adaptado pelo professor a partir de um artigo publicado na revista Química Nova, adicionando-se fragmentos de outras referências²⁸.

Na aula 8 o texto foi distribuído a todos os estudantes e os mesmos foram instruídos acerca da atividade, a qual seria feita em duas etapas, sendo uma delas realizada durante a aula e em grupos, e outra atividade, realizada individualmente, como tarefa para casa, a qual consistiu em responder a um conjunto de 7 questões, elaboradas pelo professor, sobre o texto utilizado nesta aula.

Na primeira turma em que a atividade foi realizada os estudantes foram instruídos a formarem os grupos e discutirem o texto enquanto formulavam as questões e as respostas. Esta estratégia didática apresentou alguns problemas na referida turma, pois alguns grupos se organizaram de maneira a distribuírem fragmentos do texto entre si, e

²⁸ O texto e as referências utilizadas estão integralmente disponíveis no anexo A, junto ao programa da aula 8.

dessa maneira, cada componente do grupo concentrou esforços em apenas uma parte do texto e portanto, alguns estudantes não realizaram a leitura completa do texto. A fim de evitar este mesmo problema na outra turma em que esta atividade foi realizada, a mesma foi proposta com algumas alterações. Neste caso os estudantes foram instruídos a realizarem uma leitura prévia, individualmente. Foram destinados cerca de 20 minutos para esta leitura preliminar. Também foram orientados a destacar partes do texto que não ficaram totalmente claras ou que julgassem necessário maiores esclarecimentos por parte do professor.

O uso de um texto como recurso metodológico já foi empregado na aula 4 e embora os estudantes tenham formulado boas perguntas naquela ocasião, os mesmos foram orientados acerca de pequenos descuidos anteriormente cometidos e que deveriam ser agora evitados, dentre os quais, a formulação de questões sem uma conexão mínima com a parte do texto a que se referiam. Outro ponto destacado foi a atenção aquilo que está sendo colocado pelo texto, no sentido de que deveriam ter cuidado com a formulação de questões que abordassem fatos ou conceitos, evitando distorções acerca do conteúdo do texto. Assim, mediante de alguma dúvida quanto a estes aspectos, deveriam consultar o professor a fim de evitar tais problemas.

No que diz respeito ao texto, ao longo da atividade, um estudante questionou o que era um acelerador de partículas. Prontamente, outro estudante relatou que tratava-se do tubo de Crookes. Diante deste questionamento o professor colocou que na aula seguinte a discussão sobre o tubo de Crookes seria retomada com maiores detalhamentos. Este questionamento chamou a atenção para uma fragilidade do texto, a saber, a ausência de imagens, o que possivelmente configurou certo obstáculo ao entendimento do que seria o tubo de Crookes. Outro estudante questionou sobre o movimento browniano²⁹. Uma rápida revisão permitiu ao estudante resgatar alguns aspectos do trabalho de Einstein sobre este problema e suas contribuições para a solução do mesmo. Contudo, durante as discussões sobre as observações dos grãos de pólen em suspensão no líquido, o estudante procurou relacionar o uso do microscópio como um dispositivo através do qual seria possível ver o átomo e ficou surpreso por saber que mesmo com o uso do microscópio não é possível vê-lo. Diante desta surpreendente revelação para o estudante, o professor chamou a sua atenção para os trabalhos de J. J. Thomson e E. Rutherford, os quais estavam justamente tentando

²⁹ O tópico referente ao movimento browniano já havia sido tratado no programa regular da disciplina, antes da intervenção didática

descrever algo não é acessível aos nossos sentidos. A seguir o estudante perguntou como foi possível dividir o átomo sendo que não é possível vê-lo nem mesmo com um microscópio. Diante deste novo questionamento o professor enfatizou que até hoje ninguém "viu" um átomo e mesmo assim, isto não impediu os cientistas de elaborarem modelos sobre como é o átomo. O estudante ficou bastante surpreso com estas constatações e questionou como isso foi possível. Neste ponto o professor orientou o estudante que voltasse a leitura do texto, pois encontraria ali algumas informações adicionais sobre estas questões. Diante desta colocação o estudante deflagrou uma última pergunta. Disse ele que não entendia por que ocorreu uma mudança brusca nos conteúdos estudados, pois agora estávamos falando de átomos. O estudante se referia ao estudo anterior, sobre os espectros de emissão dos elementos químicos. Frente a esta aparente falta de conexão o professor fez um breve questionamento sobre o fechamento da atividade prática sobre espectroscopia, resgatando a última pergunta do roteiro de atividades, a qual solicitava que os estudantes levantassem hipóteses para explicar por que o espectro de emissão do vapor de sódio apresentou-se diferente do espectro de emissão do vapor de mercúrio, ou seja, de maneira geral, por que os elementos químicos apresentam espectros de emissão distintos.

A discussão foi sendo conduzida de maneira que o estudante percebesse a possibilidade de relacionar a estrutura interna do átomo com as diferenças nos espectros de emissão, no sentido de que espectros diferentes talvez estivessem relacionados a átomos com estruturas internas diferentes e diante desta possibilidade o modelo de Dalton seria impróprio por considerar que o átomo teria a mesma forma para todas as substâncias.

O professor chamou a atenção do estudante para que o mesmo prestasse atenção as datas referentes aos fatos históricos presentes no texto. Foi relatado ao estudante que os estudos da espectroscopia avançaram e evoluíram rapidamente a partir de 1850 e que à época dos trabalhos de J. J. Thomson e E. Rutherford, a espectroscopia já havia produzido resultados experimentais muito precisos e que estas áreas de pesquisa aparentemente desconexas mostrar-se-iam conectadas mais à frente.

As discussões com o referido estudante sugeriram a necessidade de reforçar a conexão entre os estudos da espectroscopia e os modelos atômicos. Objetivando melhor evidenciar esta conexão foi adicionada à sequência didática uma última aula opcional, na qual foi prevista a apresentação do episódio 5 da série Cosmos, que relata os estudos sobre

a luz, desde os primeiros trabalhos até os estudos da espectroscopia, correlacionando a emissão e absorção de luz com a estrutura dos átomos.

Após a entrega das atividades, os trabalhos foram analisados e as questões de maior relevância foram destacadas para serem discutidas brevemente na aula seguinte, em ambas as turmas. As questões não foram classificadas por turma, ou seja, as mesmas questões foram apresentadas e discutidas em ambas as turmas. Nos trabalhos entregues pelos estudantes, cada questão selecionada foi destacada, permitindo a eles identificá-las ao receberem os trabalhos após a análise do professor. No Quadro 3 estão relacionadas as questões selecionadas. Abaixo de cada questão há uma breve justificativa para a seleção da mesma.

Quadro 3 - Questões elaboradas pelos estudantes e selecionadas para discussão, referentes ao texto A eterna busca do indivisível.

Questões selecionadas
<p>1) Sobre o conceito de átomo, existiam cientistas contrários a sua tese?</p> <p><i>[evidenciar a polarização de ideias na construção do conhecimento científico, entre os atomistas e os não atomistas]</i></p>
<p>2) Como Einstein, juntamente com as confirmações experimentais de suas ideias, contribuiu para validar a concepção atomista da matéria?</p> <p><i>[discutir o papel da descrição do movimento browniano feita por A. Einstein, bem como os experimentos decorrentes dele, evidenciando a importância desta contribuição para consolidar a teoria atomista da matéria]</i></p>
<p>3) O que significa dizer que a matéria é neutra e estável?</p> <p><i>[ênfasis a propriedade da neutralidade da matéria (no contexto das cargas elétricas constituintes da mesma) visando melhor estabelecer a ideia de estabilidade]</i></p>
<p>4) Qual foi a primeira evidência quantitativa a favor dos átomos de eletricidade? Qual foi um ponto importante a ser destacado que se refere a natureza discreta da carga elétrica?</p> <p><i>[discutir a pluralidade do conceito de carga elétrica, no sentido de que este conceito manifestava-se também em outras áreas da]</i></p>

<i>Física e da Química]</i>
<p>5) Quais os três problemas bastante contundentes que deveriam ser explicados por um pretense modelo atômico?</p> <p><i>[ênfatizar as três situações que permeavam as discussões àquela época, as quais remetiam a concepção atomista da matéria: as ligações químicas e a distribuição dos elementos na tabela periódica; os processos de eletrização; a estabilidade do átomo]</i></p>
<p>6) Por que os trabalhos de Thomson sobre os raios catódicos se destacaram sobre os outros?</p> <p><i>[discutir os progressos obtidos por J. J. Thomson em seus experimentos sobre os raios catódicos]</i></p>
<p>7) Como Thomson explicou que o átomo não é indivisível?</p> <p><i>[discutir as implicações da descoberta de Thomson acerca do elétron e a maneira como isso impactou na concepção de átomo vigente à sua época]</i></p>
<p>8) Os trabalhos de Thomson, com os raios catódicos, implicavam que a maior parte da massa do átomo estaria associada a sua carga positiva. Qual foi o problema que os cientistas encontraram com relação a esta questão?</p> <p><i>[explorar os aspectos experimentais que influenciaram a concepção de J. J. Thomson acerca do átomo]</i></p>
<p>9) Quais e quantos raios Rutherford classificou?</p> <p><i>[ênfatizar os trabalhos de E. Rutherford sobre a radiação]</i></p>
<p>10) Qual foi a contribuição dos estudos da radioatividade no desenvolvimento dos modelos atômicos?</p> <p><i>[evidenciar as contribuições dos estudos sobre a radioatividade na elaboração dos modelos atômicos]</i></p>
<p>11) No que consistiu o experimento de Geiger-Marsden e qual foi seu incrível resultado?</p> <p><i>[discutir o experimento do espalhamento das partículas alpha e ênfatizar os trabalhos de E. Rutherford que culminaram com a concepção de átomo nuclear]</i></p>
<p>12) Qual foi a fragilidade do modelo proposto por Rutherford?</p> <p><i>[discutir o problema da instabilidade no modelo proposto por E.</i></p>

<i>Rutherford]</i>
13) Por que o modelo proposto por Rutherford não era capaz de conferir estabilidade ao átomo? <i>[discutir e enfatizar as previsões da teoria eletromagnética clássica para o modelo de E. Rutherford]</i>
14) Segundo Rutherford por que a teoria de Thomson de massa positiva distribuída por todo o átomo estava errada? <i>[enfatizar a necessidade de uma concentração de carga positiva numa pequena região central, para assim ser capaz de produzir as deflexões acentuadas observadas no experimento de Geiger-Marsden, levando a concepção de átomo nuclear]</i>
15) Por que o modelo de Rutherford não foi aceito pela comunidade científica? <i>[discutir o aspecto da validação de uma ideia frente à comunidade científica, as suas fragilidades e a consequente necessidade de aprimoramentos]</i>

Na aula seguinte (aula 9) foi feita a discussão das questões formuladas pelos estudantes na aula anterior, organizados em grupos de 2 a 4 componentes. As questões elaboradas foram previamente avaliadas pelo professor e após a correção desta atividade, algumas questões foram selecionadas para discussão (Quadro 3). A sequência adotada para apresentação das questões em slides (Power Point) seguiu critérios que permitissem conduzir as discussões em quatro blocos: sobre a controvérsia atomista; sobre os trabalhos de J. J. Thomson; sobre os trabalhos de E. Rutherford; e por fim um bloco para discutir o papel das evidências experimentais, favoráveis e desfavoráveis, frente aos modelos atômicos de J. J. Thomson e E. Rutherford.

O primeiro bloco foi formado pelas questões 1 e 2. Estas questões tiveram por objetivo apenas enfatizar que a proposta atomista não era amplamente aceita entre os cientistas e necessitou de evidências para se estabelecer como consenso na comunidade científica.

O segundo bloco foi formado pelas questões 3 a 5, que permitiram abordar minimamente algumas dificuldades encontradas pelos cientistas em explicar a classificação periódica dos elementos, os processos de eletrização e a questão da estabilidade da matéria. O objetivo foi mostrar aos estudantes uma conexão entre diferentes ramos do conhecimento e como problemas aparentemente desconexos podem

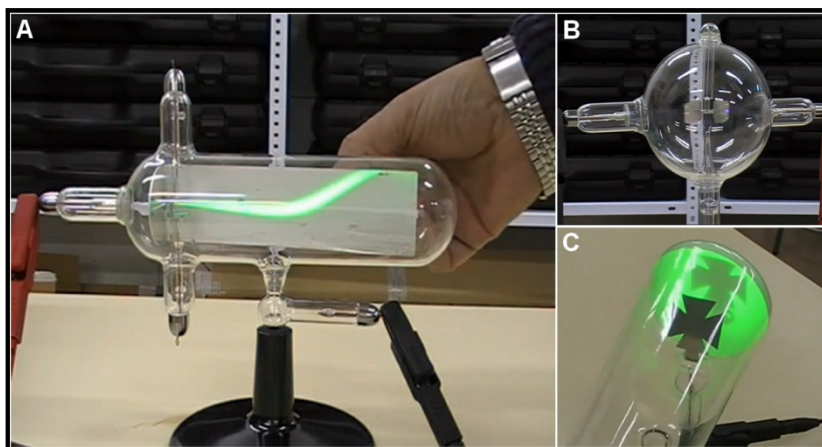
estar correlacionados. Os estudantes mostraram aparente dificuldade em entender o significado dos processos de eletrização, e portanto, de que forma estes processos estariam envolvidos com a questão da estrutura do átomo. Possivelmente esta dificuldade foi decorrente do fato de que estes estudos não são tradicionalmente abordados nesta série. Foi notório neste ponto a necessidade de uma atividade prática que permitisse aos estudantes algum contato com os fenômenos da eletrização.

O terceiro bloco foi formado pelas questões 6 a 8, que tinham como objetivo enfatizar o papel do desenvolvimento tecnológico como meio necessário para que o conhecimento científico possa avançar, a partir da construção de novos dispositivos, neste caso das tecnologias de vidro e vácuo, as quais viabilizaram a construção das ampolas de Crookes. Também objetivou-se explorar as modificações no experimento introduzidas por J. J. Thomson, a partir das quais lhe foi possível caracterizar os raios catódicos e conseqüentemente inferir sobre a constituição do átomo. Para melhor evidenciar a forma pela qual J. J. Thomson pôde extrair conhecimentos sobre os raios catódicos foram utilizados dois vídeos. Em um deles, o apresentador relatava brevemente um pouco da história da descoberta do elétron e as implicações desta descoberta na elaboração do modelo de J. J. Thomson. O segundo vídeo era uma filmagem de uma ampola de Crookes onde eram mostradas três montagens, as quais permitiram a J. J. Thomson caracterizar algumas das propriedades dos raios catódicos. A Figura 8 ilustra três momentos desse vídeo. Na Figura 8.A, deflexão por campos magnéticos. Na Figura 8.B, transferência de momento linear. Na Figura 8.C, propagação retilínea.

O modelo atômico de J. J. Thomson é assunto do currículo regular dos estudantes já na primeiro ano do EM, na disciplina de Química. Possivelmente esta familiaridade com o conteúdo lhes tenha permitido elencar com relativa facilidade as propriedades dos raios catódicos. Contudo, ao assistirem o vídeo do experimento, foi notória a dificuldade encontrada em correlacionar as imagens da Figura 8.A, Figura 8.B e Figura 8.C, com as propriedades dos raios catódicos que haviam manifestado conhecimento antes de assistirem o vídeo. Esta constatação causou certa preocupação, porém, para este momento da aula objetivou-se apenas enfatizar que a caracterização dos raios catódicos permitiu a J. J. Thomson questionar a indivisibilidade do átomo bem como propor um modelo para o mesmo, respaldado por evidências experimentais. Diante disto, não foi realizado nenhum aprofundamento maior sobre o experimento dos raios catódicos. Por

outro lado, ficou bastante evidente que uma atividade experimental com o uso de um tubo de Crookes permitiria melhor explorar a caracterização dos raios catódicos. Outro ponto relevante diz respeito ao envolvimento dos estudantes. Neste momento da aula alguns deles já apresentavam certo desinteresse pelas discussões.

Figura 8 - Vídeo ilustrando o experimento com raios catódicos em um tubo de Crookes. Em A, deflexão por campo magnético. Em B, transferência de momento linear. Em C, propagação retilínea.



Fonte: Extraído do vídeo disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=0cUOrQcY1pg>. Acesso em: 23/10/2015.

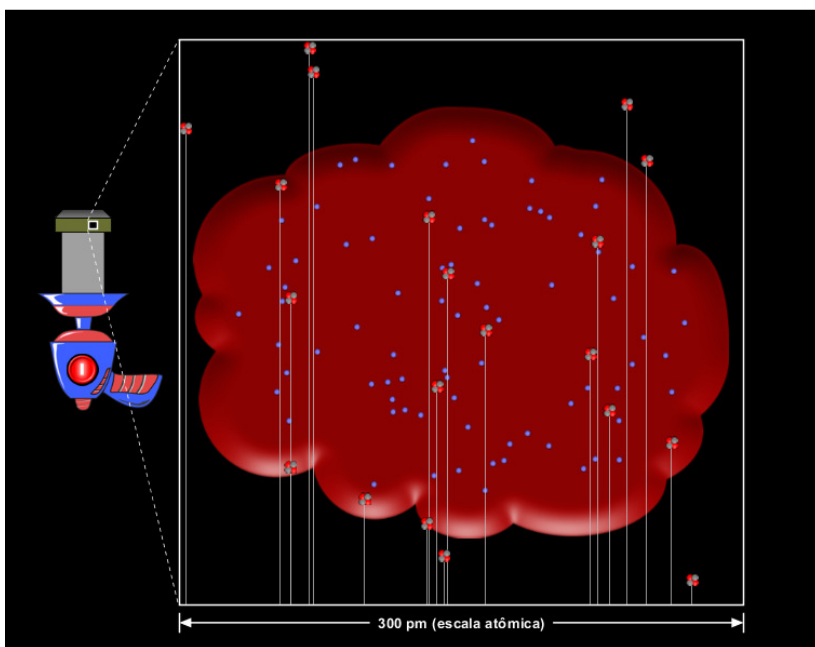
O quarto bloco foi formado pelas questões 9 a 11, que tinham como objetivo a discussão das contribuições dos estudos da Radioatividade na elaboração dos modelos atômicos, bem como discutir os resultados do experimento de Geiger-Marsden interpretados por E. Rutherford. Após discutir brevemente as questões os estudantes assistiram a um breve vídeo no formato de documentário, no qual o apresentador narrou rapidamente os trabalhos de Geiger-Marsden, orientados por E. Rutherford, bem como a sua interpretação para os resultados encontrados. No vídeo, o narrador visitou a sala onde E. Rutherford trabalhou e utilizou um contador Geiger para mostrar que a gaveta da mesa onde E. Rutherford guardava suas amostras radioativas ainda apresentava atividade, devido aos vestígios de material radioativo naquele local. Alguns estudantes ficaram impressionados com a fala do

narrador, pois este enfatizou que aquela atividade radioativa ainda persistia mesmo passados mais de 100 anos. Mediante esta passagem do vídeo, foi brevemente mencionada a questão da vida média dos elementos radioativos. Após o término do vídeo foi novamente enfatizado o papel dos experimentos na formulação e validação de hipóteses na ciência. No caso específico dos modelos atômicos, foi enfatizado que a interpretação dada por E. Rutherford implicava em um átomo nuclear e esta evidência experimental colocava em xeque o modelo de J. J. Thomson. Contudo, a disposição dos elétrons em torno do núcleo, sugerida por E. Rutherford, não foi aceita pela comunidade científica, pois esta suposição comprometia a estabilidade do átomo. A questão da emissão de radiação por partículas aceleradas constituiu um obstáculo à compreensão dos estudantes. De certa forma ficou bem estabelecido que o modelo de E. Rutherford não conferia estabilidade ao átomo, mas os estudantes mostravam claramente não entender qual era o problema em ter elétrons girando em torno do núcleo, ou seja, por que este movimento faria o elétron perder energia. Contudo, um aprofundamento desta questão claramente fugiria ao escopo da proposta para esta aula e diante disto, a emissão de radiação por cargas aceleradas foi apenas superficialmente comentada.

Para melhor evidenciar as implicações dos resultados do experimento de Geiger-Marsden foi utilizada uma simulação do projeto Phet Colorado para contrapor os modelos de J. J. Thomson e E. Rutherford. A simulação em questão permite comparar os dois modelos, de J. J. Thomson e E. Rutherford. A Figura 9 ilustra o instantâneo da simulação utilizada para ilustrar as previsões do modelo de Thomson para o experimento de Geiger-Marsden. A **Erro! Fonte de referência não encontrada.** ilustra o instantâneo da simulação utilizada para ilustrar a interpretação dada por E. Rutherford, propondo o átomo nuclear. É importante salientar que o uso das simulações foi feito pelo professor em caráter exclusivamente demonstrativo. Contudo, mesmo sendo empregada uma metodologia mais expositiva o uso das referidas simulações permitiu melhor ilustrar alguns pontos mencionados no texto. Um dos pontos enfatizados diz respeito a predição do modelo de Thomson, segundo a qual as partículas alpha deveria passar através da estrutura atômica, visto que neste modelo a carga positiva está distribuída por uma ampla região, tendo as pequenas cargas negativas incrustados ao longo da região positiva. Ao apresentar a parte da simulação que diz respeito ao experimento de Geiger-Marsden (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**) foi necessário enfatizar alguns aspectos que julgou-se impróprios para a ocasião. Um destes aspectos

diz respeito ao tamanho da órbita do elétrico em torno do núcleo quando comparado ao tamanho do núcleo, pois a ilustração está fora de escala. Outro ponto bastante relevante diz respeito a composição do núcleo, que na ilustração (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**) apresenta-se composto por prótons e nêutrons. Embora os estudantes já tenham este conhecimento, julgou-se importante enfatizar que os nêutrons somente foram descobertos décadas depois, por volta de 1930. Este aspecto foi considerado importante, pois o experimento de Geiger-Marsden não foi conclusivo a esse respeito.

Figura 9 - Simulação Phet Colorado: Espalhamento de Rutherford - átomo Pudim de Passas.

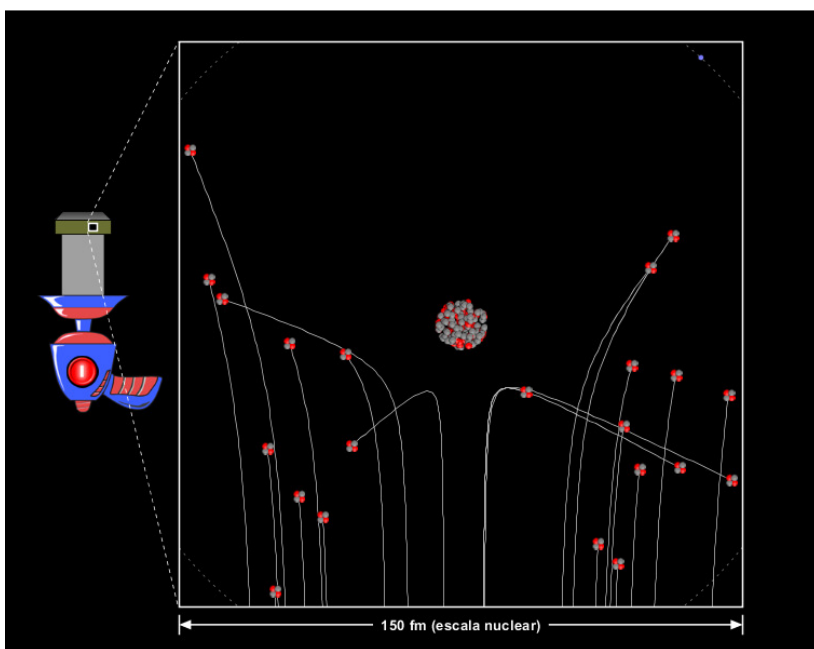


Fonte: < https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/rutherford-scattering>. Acesso: 24/10/2015.

O uso da simulação para contrapor os modelos de J. J. Thomson e E. Rutherford revelou certa dificuldade por parte de alguns estudantes em compreender dois pontos. Primeiramente não ficou tão evidente o motivo pelo qual as partículas alfa deveriam passar através do átomo,

no caso do modelo de J. J. Thomson. Alguns estudantes não compreenderam por que a região positiva do átomo de Thomson não repelia as partículas alpha. Neste ponto foi necessário alertar os estudantes que embora a simulação (Figura 9) indicasse que as partículas alpha não sofriam qualquer desvio (como ilustrado pelo rastro das partículas na Figura 9), esta característica não correspondia a realidade das previsões do referido modelo, as quais indicavam pequenos desvios nas trajetórias das partículas.

Figura 10 - Simulação Phet Colorado: Espalhamento de E. Rutherford - átomo de Rutherford.



Fonte: < https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/rutherford-scattering>. Acesso: 24/10/2015.

Apesar dessa colocação, ainda assim, para alguns estudantes não ficou claro por que o átomo teria que ter um núcleo com as cargas positivas concentradas nessa região para poder repelir as partículas alpha. É importante ressaltar que embora soubessem que cargas positivas se repelem os estudantes desconheciam maiores detalhes da

interação Coulombiana, para a qual, a distribuição de cargas ao longo de uma região maior ou menor afeta drasticamente a intensidade da interação, repulsiva, para o caso das partículas alpha e o núcleo positivo.

Um estudante observou que as partículas alpha da simulação (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**) não tocavam o núcleo. Diante de sua colocação, o professor perguntou o que deveria ocorrer para que as partículas alpha pudessem colidir com o núcleo, enfatizando que a referida questão ficaria em aberto e que na aula seguinte a mesma seria retomada. Retomando a observação do referido estudante, foi enfatizado que o trabalho de E. Rutherford levou em conta as deflexões das trajetórias das partículas desviadas, sendo possível apenas estimar o tamanho máximo da região de interação entre as partículas alpha e as cargas positivas, de maneira a produzirem tais deflexões.

Após esta aula ficou bastante evidente que as simulações utilizadas foram capazes de ilustrar alguns pontos bastante relevantes para a compreensão dos estudantes. Porém, o uso das mesmas acabou impondo outros obstáculos, tais como a questão da distribuição de cargas. Seria interessante que a simulação permitisse alterar a densidade de cargas pela redução das dimensões da região na qual a mesma é distribuída. Outro aspecto que julgou-se desejável seria a possibilidade de omitir a estrutura do núcleo, ou seja, a possibilidade de representar o núcleo apenas como uma concentração de carga positiva em uma região diminuta, visto que historicamente, a descoberta do nêutron ocorreu cerca de duas décadas após os trabalhos de E. Rutherford, como já mencionado.

4.9 AULA 10

Nesta aula foi feita uma breve exposição sobre o problema da radiação de corpo negro, com o objetivo de introduzir e contextualizar o conceito de quantização de energia, bem como estabelecer o marco histórico para o início da Física Moderna. Outro ponto importante que deve ser enfatizado é que as aulas 10 e 11 foram planejadas com um objetivo em comum, qual foi evidenciar a necessidade de uma nova teoria que fosse capaz de descrever os novos fenômenos, dado que as teorias clássicas daquela época não eram bem sucedidas quando empregadas na descrição de fenômenos em escala microscópica, como era o caso do fenômeno da radiação de corpo negro e do efeito fotoelétrico.

Para esta aula, estava previsto um texto que abordaria os trabalhos de G. Kirchhoff, sobre corpos aquecidos, perpassando por M.

Planck e a radiação de corpo negro, até os trabalhos de A. Einstein, sobre o efeito fotoelétrico. Contudo, esta estratégia didática com uso de textos, já empregado em duas outras aulas, mostrou certo desgaste, pois os estudantes indicavam certo "cansaço" com o emprego repetitivo deste recurso. Assim sendo, o plano de aulas para as aulas 10 e 11 foi modificado. A proposta inicial era discutir brevemente os fenômenos da radiação de corpo negro e efeito fotoelétrico em uma aula (aula 10) e utilizar o texto como recurso metodológico na aula seguinte (aula 11). A modificação realizada no plano de aulas reservou a aula 10 exclusivamente para a abordagem do fenômeno da radiação de corpo negro a aula 11 foi destinada integralmente para abordar o efeito fotoelétrico. Com esta alteração, o texto foi fornecido aos estudantes como recurso complementar³⁰. A modificação realizada mostrou-se acertada, visto que os dois fenômenos considerados puderam ser melhor explorados.

Para abordar o fenômeno da radiação de corpo negro foram priorizados os aspectos históricos, enfatizando as dificuldades enfrentadas pelos cientistas frente a tentativa de descrever o problema com o emprego das teorias clássicas vigentes à época. Não houve a pretensão de aprofundar o estudo e a descrição do fenômeno.

Inicialmente foi feita uma breve introdução sobre os trabalhos de G. Kirchhoff, com a finalidade de localizar historicamente a origem dos estudos sobre a radiação de corpo negro. A seguir, foi brevemente mencionado que a solução para o problema foi sugerida em 1900, sendo esta data considerada como marco inicial do nascimento da Mecânica Quântica, visto que a solução proposta por M. Planck era incompatível com a Física daquela época, e que nas décadas seguintes outros fenômenos também evidenciaram falhas nas teorias físicas vigentes.

A seguir foi enfatizado que o uso das teorias vigentes naquela época conduzia à previsões que não eram confirmadas pelos experimentos realizados. Diante desta discrepância surgiu a necessidade de formular novas hipóteses que não encontravam suporte nas teorias vigentes e dessa forma era necessário romper com essas teorias e propor novas ideias. Foi comentado que a Mecânica Quântica foi desenvolvida a partir de um esforço conjunto de vários cientistas e que até os dias de hoje ela vem resistindo aos testes experimentais.

Para melhor caracterizar o fenômeno, foi brevemente recapitulado a diferença entre os espectros discretos e contínuos. Sobre

³⁰ O texto e as referências utilizadas estão integralmente disponíveis no anexo A, junto ao programa da aula 10.

os espectros contínuos, o professor lembrou os estudantes de que a obtenção destes se dá a partir da análise de gases aquecidos, ao passo que o espectro contínuo decorre de sólidos aquecidos. Como exemplo foi citado que um pedaço de ferro no estado sólido quando aquecido emite um espectro contínuo, ocorrendo o mesmo para qualquer outro objeto sólido, feito de qualquer outro elemento, como o cobre, por exemplo. Contudo, se estes materiais fossem vaporizados, neste estado os espectros emitidos pelas duas substâncias seriam discretos e drasticamente distintos nas cores emitidas. Estes fatos geram o seguinte questionamento: por que corpos sólidos emitem o mesmo espectro contínuo, independentemente de sua composição química ao passo que no estado gasoso, diferentes elementos emitem espectros discretos e diferentes. Diante deste questionamento, alguns estudantes foram capazes de resgatar as discussões realizadas em aulas anteriores, atribuindo a emissão de espectros discretos ao estado gasoso, cuja constituição é formada por átomos praticamente isolados, ao passo que nos sólidos os átomos encontram-se agregados. Deste ponto em diante foi estabelecido que seria exposto a busca dos cientistas pela descrição do espectro contínuo emitido por corpos aquecidos, e que a descrição relacionada a emissão de espectros discretos ocorreria em aulas seguintes.

Como estratégia didática, optou-se por discutir inicialmente as propriedades do corpo negro ideal. Para tanto foi destacado que os cientistas estavam interessados apenas no fenômeno da absorção da radiação eletromagnética. Foi enfatizado que, de maneira geral, quando a luz incide sobre um corpo ocorrem três fenômenos, os quais foram questionados pelo professor. Alguns estudantes responderam que poderia ocorrer reflexão; outros complementaram que também poderia ocorrer refração e que a absorção também ocorreria. Diante destas respostas o foi enfatizado que o fenômeno em questão exigiria a análise de um corpo em que não ocorresse nenhuma reflexão de luz em sua superfície, bem como nenhuma luz poderia passar através dele, ou seja, que o referido corpo deveria ser totalmente opaco. Estas condições garantiriam que tal corpo absorveria integralmente toda a radiação que incidisse sobre ele. Um determinado estudante inferiu que tal corpo não existiria. Esta colocação foi prontamente explorada, sendo enfatizado que o estudante estava correto em sua afirmação. De maneira complementar, o professor acrescentou que este processo diz respeito a construção de um modelo para descrever o problema e nesta etapa inicial, procura-se construir uma situação ideal, sobre qual se possa aplicar as teorias pertinentes para descrever o problema. Uma vez

estabelecidas as condições do modelo, as situações reais são tratadas por aproximações com a situação ideal. A seguir, foi colocado que as teorias a serem empregadas na descrição deste corpo seriam a termodinâmica e o eletromagnetismo, visto que um corpo que absorve energia terá sua temperatura elevada e que a energia aqui considerada é a luz. Em seguida o professor perguntou como seria o aspecto de um corpo que fosse capaz de absorver toda a radiação (luz) que incidisse sobre ele, sem refletir ou refratar nenhuma fração da radiação incidente. Após alguns instantes dois estudantes responderam que tal corpo deveria ser percebido "na cor branca". Diante desta colocação, o professor pediu para que explicassem o por quê. Nesta ocasião vários estudantes responderam que se esse corpo absorvesse toda a luz incidente sobre ele, então ele deveria "devolver" todas as cores. Diante destas justificativas foi possível contrapor algumas questões, as quais foram utilizadas para criar uma situação de conflito. Os estudantes foram instruídos a resgatarem a simulação sobre as cores dos objetos. Foram lembrados de que a cor de um corpo depende de quais frequências ele emite (cores) bem como a intensidade com que cada cor é emitida. Além disso foram lembrados da condição inicialmente estabelecida, a qual estipulava que o corpo absorveria "toda" a radiação incidente. Após certa hesitação, um estudante indicou que o corpo deveria parecer na "cor preta". Neste ponto outra questão foi colocada: o que ocorreria com um corpo que absorve toda a radiação que incide sobre ele? O mesmo estudante respondeu prontamente: "ele vai ficando quente". Então outra pergunta foi colocada para discussão: "ele aquecerá pra sempre?" Alguns estudantes responderam que não, mas não conseguiram assimilar como seria possível cessar o aquecimento mesmo que o corpo continuasse a receber radiação. Então o professor interveio, afirmando que na situação em que a temperatura já não aumenta nem diminui, o corpo atingiu o equilíbrio térmico e nesta condição, a quantidade de radiação absorvida é igual a quantidade de radiação emitida, e que esta radiação emitida, quando analisada por um espectrômetro, permitia identificar quais radiações eram emitidas e em que intensidade cada uma delas era emitida.

A partir deste ponto foi discutido que, diante das considerações até aqui estabelecidas, os cientistas tentaram descrever matematicamente o espectro das radiações emitidas e as suas previsões mostravam que um corpo negro, aquecido a certa temperatura e em equilíbrio térmico, deveria emitir radiações de diversas frequências, na região do infravermelho, na região do visível e na região do ultravioleta, mas que, quanto maior fosse a temperatura do corpo, as radiações mais

intensamente emitidas tenderiam para a faixa do ultravioleta. Esta afirmação foi representada graficamente no quadro, através da curva de intensidade versus frequência, sem maiores detalhes, apenas para enfatizar o aspecto da curva teórica. A seguir, foi apresentado a curva correspondente aos dados experimentais.

A comparação entre as duas curvas foi brevemente explorada, enfatizando que a uma determinada temperatura, as previsões indicavam que um corpo negro deveria emitir intensamente na região do ultravioleta. Contudo, os dados experimentais mostravam que o corpo emitia muito intensamente na região do visível e praticamente nenhuma intensidade na região do ultravioleta. Foi comentado que a descrição teórica concordava razoavelmente bem para as radiações de baixa frequência emitidas, mas que discordavam drasticamente na região do ultravioleta e que esta falha da descrição ficou conhecida como "catástrofe do ultravioleta". Para melhor contextualizar o problema do corpo negro o professor resgatou parte da atividade experimental realizada na aula 5, na qual a radiação emitida pelo filamento de uma lâmpada incandescente foi analisado pelos estudantes com o uso do espectroscópio, situação na qual todos presenciaram a emissão de um espectro contínuo. Contudo, em circunstâncias reais, o instrumento utilizado em laboratórios permite analisar as intensidades de cada radiação emitida, inclusive nas faixas do ultravioleta e do infravermelho. Foi enfatizado que naquela época os cientistas constataram que as medidas evidenciavam que um corpo aquecido a uma dada temperatura emitia várias frequências, mas que havia uma determinada frequência a qual era emitida com mais intensidade que as demais e a grande pergunta a ser respondida era: *por que, a uma dada temperatura, os sólidos aquecidos emitiam com mais intensidade uma determinada frequência?*

A seguir foram apresentadas as ideias de M. Planck, o qual propôs uma solução para ajustar a curva teórica, sugerindo para isto uma hipótese que contrariava as teorias físicas daquela época. Embora houvesse encontrado uma maneira de ajustar a curva, a sua solução para o problema não encontrava suporte em nenhuma teoria física. Suas ideias implicavam em uma suposição bastante audaciosa, a qual ele mesmo relutou em aceitar (foi colocado para os estudantes que os recursos matemáticos e conceituais por trás destas ideias estariam fora do escopo desta aula). Para descrever corretamente o problema da radiação de corpo negro, M. Planck sugeriu que a matéria emitiria com maior intensidade uma determinada frequência que dependeria da temperatura a qual o corpo negro estivesse submetido. Esta condição

exigiu que fosse introduzida uma constante física na descrição matemática do problema, a qual passou ser denominada de constante de Planck. Também foi enfatizado que a hipótese sugerida por M. Planck, para a qual não havia suporte em nenhuma teoria física disponível, não foi prontamente aceita pela comunidade científica, pois os cientistas daquela época acreditavam fortemente que a emissão de radiação pela matéria se dava de maneira contínua e isto implicava em uma visão exatamente oposta as ideias que estavam sendo propostas por M. Planck.

A seguir foi utilizada uma simulação para ilustrar a evolução da curva de emissão de um corpo a medida que vai sendo aquecido³¹. A simulação permite acompanhar a evolução da curva de emissão de um corpo que tem sua temperatura aumentada gradativamente, bem como permite visualizar as mudanças de tonalidade em sua coloração. A Figura 11 ilustra uma sequência de imagens, tomadas em diferentes momentos, no decorrer da evolução da simulação. No quadro à esquerda é exibido um vídeo onde um prego de metal é submetido a passagem de uma corrente elétrica e, devido ao efeito joule, sofre um aquecimento gradativo. À direita é possível acompanhar a evolução da curva de emissão (intensidade versus comprimento de onda). A curva é apresentada em duas escalas: uma em miniatura, ao centro na posição superior e outra, à direita, a qual apresenta uma escala maior para os comprimentos de onda, que destaca a região do visível mas não permite visualizar o máximo da curva de emissão.

O tempo total da simulação é cerca de 43 segundos. O corpo inicia à temperatura ambiente (cerca de 300 K) e aquece por 23 segundos, até uma temperatura em torno de 1.780 K, quando ocorre o rompimento do material, interrompendo o circuito. A partir daí, esfria até atingir novamente a temperatura ambiente. Durante a simulação é possível interrompe-la acionando o botão "pause" (Figura 11.B). Foi enfatizado que o aspecto da curva observado na simulação correspondia a previsão experimental, a qual indicava que para cada temperatura havia uma frequência mais intensamente emitida.

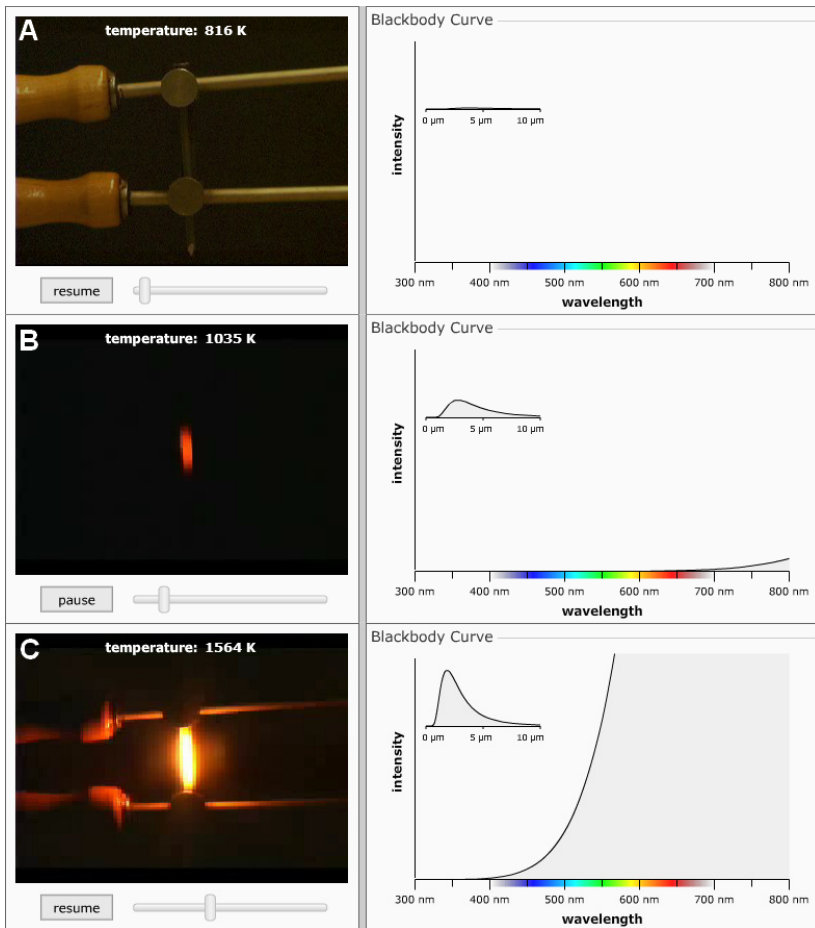
Após apresentar a simulação os estudantes assistiram a um vídeo³² onde um pequeno pedaço de cobre é aquecido por um aquecedor de indução até fundir-se completamente. O objetivo foi apenas contextualizar situações reais que se aproximam da situação do corpo

³¹ A simulação Melted Nail Demonstration foi desenvolvida pelo projeto Nebraska Astronomy Applet Project (NAAP). Ela roda diretamente nos navegadores de internet mas pode ser copiada e utilizada no computador. Para tanto, deve ser efetuado o download gratuito a partir do sítio do projeto, <<http://astro.unl.edu/classaction/animations/light/meltednail.html>>.

³² A referência para o vídeo está disponíveis no anexo A, junto ao programa da aula 10.

negro. A Figura 12 ilustra uma sequência de quatro cenas extraídas do vídeo utilizado.

Figura 11 - Simulação NAAP - Demonstração do prego derretido (tradução livre).

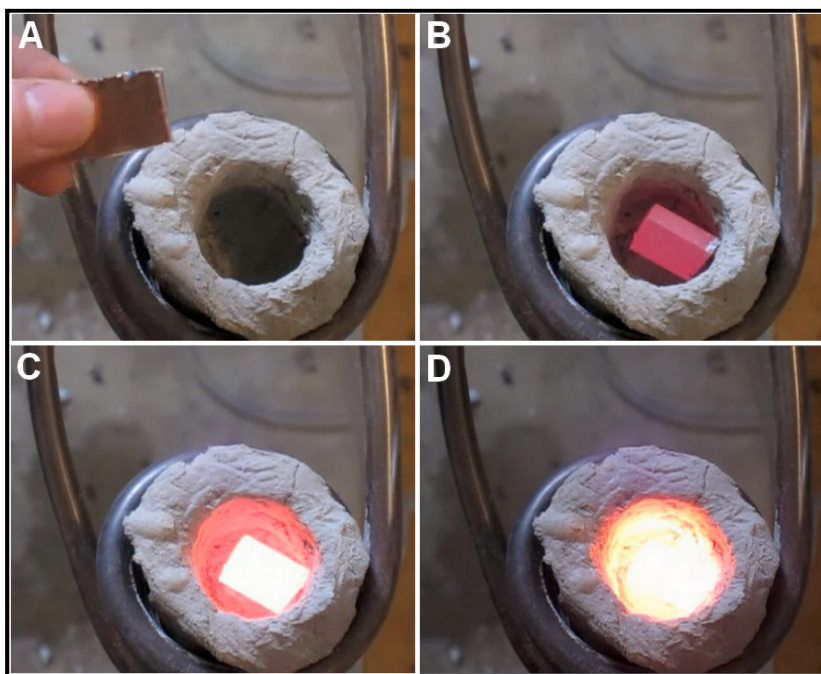


Fonte: Elaborado pelo autor a partir de impressões de tela do computador no qual a simulação estava em uso.

Ao longo desta aula tornou-se perceptível que os estudantes não estavam entendendo por que a hipótese de M. Planck foi tão impactante

em sua época. Contudo, esta situação foi prevista durante o planejamento e não estava entre os objetivos pretendidos que os estudantes atingissem este nível de entendimento. O problema da radiação de corpo negro envolve aspectos bastante profundos, tanto do ponto de vista físico-matemático quanto do ponto de vista epistemológico. Diante dos objetivos pretendidos, estes aspectos não implicaram em obstáculos ao aprendizado, ao contrário, cumpriram o importante papel de contextualizar alguns aspectos das ideias de quantização que permeiam o modelo atômico de N. Bohr.

Figura 12 - Pedaço de cobre sendo aquecido.



Fonte: Elaborado pelo autor. Extraído do vídeo disponível em https://www.youtube.com/watch?v=zw_SrGU2iYs. Acesso em: 22/10/2015.

Apesar deste obstáculo previsivelmente esperado ter se concretizado, ao término da aula um estudante se aproximou e expôs sua angústia em não entender por que a curva de emissão apresentava um máximo em uma determinada frequência. Dizia ele que lhe fazia mais

sentido "aquela outra curva" na qual a frequência emitida aumentava continuamente a medida que a temperatura do corpo aumentava, pois segundo ele, "quanto maior a temperatura mais energia estaria envolvida e as radiações de maior frequência eram mais energéticas". Percebe-se que esta constatação do estudante apresentou certa sincronia com as ideias da Física Clássica e o professor chamou-lhe a atenção para este aspecto, dizendo-lhe que, sob certos aspectos, os cientistas da época tinham uma percepção similar a dele, ou seja, eles também não conseguiam compreender por que a curva de emissão apresentava um máximo em uma determinada frequência.

Foi então novamente enfatizado para o referido estudante que o entendimento das ideias propostas por M. Planck não eram de fácil assimilação, bem como o entendimento do problema do corpo negro, mas que seria suficiente para os objetivos pretendidos, conhecer este episódio, o qual fez surgir a hipótese da quantização da energia, sendo por este motivo, considerado como o marco inicial da mecânica quântica.

4.10 AULA 11

Nesta aula foi feita uma breve exposição sobre o problema do efeito fotoelétrico, com o objetivo de introduzir e contextualizar o conceito de quantum de luz (fótons). Além disso, também foi possível mais uma vez evidenciar falhas da Física Clássica em descrever fenômenos em nível microscópico, neste caso, emissão e absorção de luz pela matéria. O conceito de fótons será amplamente utilizado na descrição do modelo atômico de Bohr, bem como a relação entre energia e frequência do fóton.

A aula iniciou com um breve comentário sobre o problema da radiação do corpo negro, visto na aula anterior, enfatizando que as teorias aplicadas na descrição do fenômeno (a termodinâmica e o eletromagnetismo) eram teorias até então muito bem sucedidas, mas que as previsões feitas para o fenômeno da radiação de corpo negro não estavam em concordância com os dados experimentais acerca daquele fenômeno, e diante disto, M. Planck sugeriu uma hipótese a qual não encontrava suporte em nenhuma teoria física. Assim também ocorreu com o fenômeno do efeito fotoelétrico, para o qual não havia uma descrição satisfatória.

Inicialmente foi descrito o efeito fotoelétrico, pelo qual a incidência de luz sobre alguns metais pode levar a emissão de elétrons pelo metal. Neste caso, é necessário empregar a teoria eletromagnética,

dada a natureza do fenômeno. As previsões da teoria eletromagnética apresentavam divergências em relação as observações experimentais, algumas das quais foram listadas e comentadas.

Primeiramente colocou-se que o tempo previsto para que a radiação luminosa fosse capaz de entregar energia suficiente para arrancar os elétrons de uma placa de metálica poderia ser da ordem de minutos. Contudo, o fenômeno indicava que a emissão de elétrons, quando ocorria, era praticamente instantânea.

O segundo ponto discutido foi a frequência da luz utilizada. De acordo com a teoria eletromagnética, qualquer frequência de luz seria capaz de "arrancar" elétrons, contudo, para radiações de menor energia (menor frequência) seria necessário iluminar por mais tempo. Porém, o fenômeno indicava que somente ocorria emissão de elétrons pelo metal a partir de determinada frequência.

Por fim, a questão da intensidade da radiação incidente sobre o material. Segundo as previsões da teoria eletromagnética, para uma dada frequência, a qual fosse capaz de arrancar elétrons do metal, aumentando a intensidade da luz os elétrons deveriam sair do metal com maior energia cinética, porém, o que se observava era um aumento na quantidade de elétrons emitidos.

Após relacionar estes três pontos falhos das previsões da teoria eletromagnética um estudante perguntou se "foi aí que descobriu que a luz também era partícula?" Possivelmente esta pergunta está relacionada com o fato de que os estudantes tenham feito um trabalho sobre a controvérsia Newton x Huygens, acerca da natureza corpuscular ou ondulatória da luz, antes do início da aplicação desta sequência didática. O professor colocou para o estudante que ele estava correto e que brevemente este ponto seria abordado.

Após a descrição dos problemas relacionados as previsões clássicas acerca do efeito fotoelétrico, foi brevemente comentado que à época haviam algumas descrições concorrentes para explicar o fenômeno. Houve bastante ênfase ao fato de que a teoria eletromagnética era extremamente bem sucedida até então, mas que agora apresentava problemas para descrever fenômenos de emissão e absorção de luz pela matéria, em escala microscópica.

Frente a estas colocações, seguiu-se para a hipótese de A. Einstein sobre o quantum de luz, sugerida por ele em 1905. Neste bloco da aula foram expostas as ideias de A. Einstein a respeito do quantum de luz (o fóton), bem como a maneira como ele incorporou as ideias de M. Planck, sobre a quantização da energia. Daí, seguiu-se para a equação da energia do fóton, $E = h \cdot f$, a qual foi apresentada aos estudantes

diretamente na lousa sem maiores detalhamentos, sendo descrito o papel da cada um dos termos que ela relaciona, dando ênfase a presença da constante de Planck na equação. A seguir, as falhas da teoria eletromagnética, apresentadas anteriormente foram rediscutidas a partir da hipótese de A. Einstein da quantização da luz. Assumindo que a luz é formada por pacotes de energia, é relativamente plausível justificar o porquê de os elétrons serem ejetados quase que instantaneamente da placa metálica, após iniciada a incidência de luz sobre o metal, ou seja, um fóton de luz transfere toda sua energia para um único elétron. Da mesma forma, por meio da relação de A. Einstein para a energia dos fótons de luz, foi possível explicar por que somente a partir de determinadas frequências é que os elétrons podem ser arrancados do metal. Sabia-se que, dependendo do metal, os elétrons somente eram ejetados fazendo-se incidir luz com frequências acima de determinados valores. Por fim, foi feita a relação da intensidade da luz com a quantidade de fótons, ou seja, um feixe de luz mais intenso consistiria de um feixe composto por uma quantidade maior de fótons, o que explicaria o porquê do aumento do número de elétrons ejetados quando se aumentava a intensidade da luz incidente sobre o metal.

Foi enfatizado que a proposta de A. Einstein para descrever o fenômeno fotoelétrico consistiu em assumir que na absorção de luz pelo metal, a mesma não poderia ser interpretada como uma onda, mas sim, dever-se-ia interpretá-la como uma partícula, a qual transportava certa quantidade de energia. Também foi colocado que as ideias de A. Einstein, assim como as ideias de M. Planck, não foram prontamente aceitas pela comunidade científica, sendo frisado que estes dois cientistas foram laureados com o prêmio Nobel apenas em 1919 e 1918, respectivamente.

Buscando uma melhor compreensão por parte dos estudantes, optou-se por utilizar a simulação do Phet Colorado para o efeito fotoelétrico, apenas como um recurso didático a ser empregado pelo professor. Antes de iniciar a apresentação da simulação, um estudante perguntou se "esse pacote de energia seria como se fosse 'uma dúzia de energia'? Percebe-se que a analogia do estudante é bastante interessante, pois revela que ele parece ter entendido o conceito de quantum de energia como sendo uma certa quantidade de energia bem definida. Porém, foi necessário esclarecer que diferentemente de uma dúzia, a qual possui sempre doze unidades de alguma coisa, um fóton de luz possui uma quantidade de energia que depende da frequência da onda associada ao fóton, ou seja, a ideia da quantização da luz de A. Einstein diz respeito a porções finitas de energia luminosa, mas não de um único

valor de energia. Foi enfatizado que uma interpretação ondulatória para a luz implicaria em uma absorção contínua de energia, ao passo que a proposta do quantum de luz pressupõem a absorção discreta de luz, ou seja, a absorção de toda a energia associada ao quantum de luz.

Um outro estudante perguntou se A. Einstein considerava a luz como onda ou como partícula. Esta pergunta permitiu comentar brevemente sobre a dualidade onda-partícula. O professor fez um breve comentário acerca da visão moderna que se tem da luz, enfatizando que as duas visões, tanto a ondulatória quanto a corpuscular, são necessárias para se ter uma descrição completa dos fenômenos luminosos. Alguns aspectos já estudados anteriormente foram resgatados. Foi enfatizado que para descrever fenômenos como refração e difração, interpretar a luz como uma onda é apropriado, ao passo que interpretar o efeito fotoelétrico requer a visão corpuscular. Curiosamente, nenhum estudante teve perspicácia de questionar se haveria outro fenômeno, além do efeito fotoelétrico, para o qual fosse necessário interpretar a luz como sendo constituída de fótons. Embora tenha sido interessante presenciar estas possibilidades, os objetivos para esta aula não incluíam maiores aprofundamentos sobre o efeito fotoelétrico e nem a contemplação de outros tópicos correlatos.

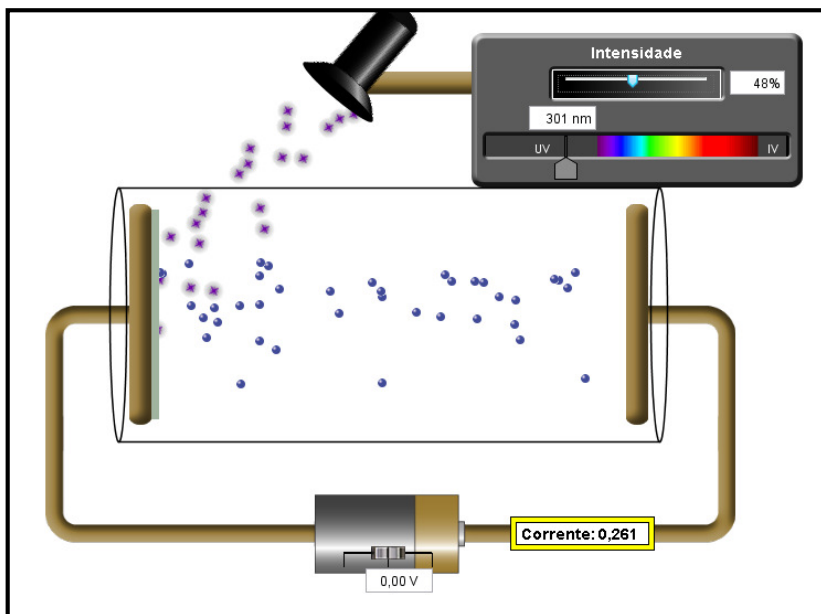
O uso da simulação (Figura 13) sobre o efeito fotoelétrico restringiu-se a mostrar aos estudantes que a incidência de luz sobre um cátodo metálico pode extrair elétrons do metal. Pela variação da frequência da luz incidente foi possível ilustrar o aumento da energia cinética dos elétrons ejetados. Pela variação da intensidade, foi possível ilustrar o aumento da quantidade de fótons emitidos e o respectivo aumento na quantidade de elétrons ejetados.

Durante o uso da simulação, já ao final da exposição do professor, um estudante perguntou qual era o significado do termo "Sódio" que estava indicado no painel de controle da simulação. Este questionamento possibilitou discutir brevemente a questão da frequência mínima necessária para extrair os elétrons dos metais, a qual depende do material sobre o qual a luz incide. Contudo evitou-se mencionar os conceitos sobre função trabalho, pois o objetivo desta aula não era aprofundar o estudo do efeito fotoelétrico, mas apenas contextualizar a equação de A. Einstein acerca da energia dos fótons, a qual será empregada no modelo atômico de Bohr.

Outro estudante perguntou o por quê da pilha e qual era o significado do termo "Corrente" que aparece ao lado direito da pilha. O estudante foi prontamente informado de que estes aspectos envolveriam um maior aprofundamento sobre o fenômeno do efeito fotoelétrico, além

de implicarem em conceitos relacionados a eletricidade, os quais estavam além do escopo desta aula.

Figura 13 - Simulação Phet Colorado - Efeito Fotoelétrico.



Fonte: <https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/photoelectric>. Acesso: 04/11/2015.

4.11 AULA 12

O principal objetivo desta aula foi caracterizar o modelo atômico de Bohr para o átomo de hidrogênio, bem como os mecanismos de emissão e absorção de luz pelo elétron. Para tanto, o quadro teórico-experimental referente a época em que Bohr propôs o seu modelo foi minimamente reconstruído, a partir das aulas 9, 10 e 11, ou seja, levando em conta os trabalhos de J. J. Thomson e de E. Rutherford e a partir das ideias da quantização da energia (M. Planck), das ideias do quantum de luz (A. Einstein). Foram também considerados os dados experimentais produzidos pela espectroscopia referente ao espectro do átomo de hidrogênio.

A primeira parte da aula foi dedicada a rever os modelos de J. J. Thomson e E. Rutherford. Brevemente foram destacados os principais aspectos de cada modelo, vistos na aula 9. A questão da estabilidade do átomo do modelo de J. J. Thomson foi brevemente relatada como uma característica que deu fôlego a este modelo. Na sequência foi feito um contraponto com os resultados fornecidos pelo experimento de Geiger-Marsden e a interpretação de E. Rutherford, indicando que o átomo era nuclear, evidenciando assim uma falha no modelo de J. J. Thomson. Apesar dessa grande contribuição, o átomo nuclear de E. Rutherford apresentava o problema de ser instável, segundo a teoria eletromagnética. Nesta parte da aula um estudante perguntou se não haviam "cálculos nessa matéria". Notou-se que os estudantes ainda têm esta expectativa, evidentemente justificada, para com as aulas de Física. Foi então comentado que os trabalhos destes dois cientistas envolvem, sim, muitos cálculos e que o nível de profundidade matemática necessário para uma boa compreensão estaria além das possibilidades do ensino médio. Contudo, foi colocado que estávamos optando por enfatizar outros aspectos igualmente importantes sobre a Física, tais como forma como os resultados experimentais impactam na produção do conhecimento científico e o papel do cientista, em interpretar os experimentos, além de construir idealizações acerca dos fenômenos, como em nosso caso específico, sobre o átomo.

Seguindo com a aula, em um momento posterior foi perguntado para os estudantes por que o modelo de E. Rutherford não era aceitável. Após algumas discussões, quatro estudantes concluíram que o elétron orbitando em torno do núcleo atômico deveria emitir radiação e então "cairia" sobre o núcleo, levando a instabilidade do átomo. Esta resposta permitiu encadear algumas ideias. Foi mencionado que a teoria eletromagnética previa a instabilidade do átomo de E. Rutherford, não descrevia corretamente a radiação de corpo negro e o efeito fotoelétrico. A seguir os estudantes foram questionados acerca de que condição era comum as respectivas falhas da teoria eletromagnética. Os estudantes permaneceram em silêncio. Novamente foram estimulados com a seguinte questão: *a teoria eletromagnética era uma excelente teoria; empregada com êxito até então; era a mais bem sucedida teoria física àquela época; de repente começou a apresentar problemas; em que condições isso começa a ocorrer? todas essas situações onde ela não se ajusta bem tem uma característica em comum.* Após alguns instantes, sem obter a resposta da classe, foi mencionado que "a teoria eletromagnética começou a apresentar problemas quando os cientistas tentaram empregá-la na descrição de problemas em escala

microscópica". Esta colocação permitiu introduzir uma característica muito importante acerca do modelo atômico de Bohr. Foi então enfatizado que N. Bohr formulou seu modelo empregando a física clássica para descrever o movimento do elétron, mas teve que postular, ou seja, assumir que a emissão e absorção de radiação não seria explicada pela teoria eletromagnética. Este momento da aula foi muito interessante por permitir enfatizar que o modelo de Bohr não era inteiramente descrito pelas teorias físicas e esta ausência de uma descrição teórica contribuiu para a formulação da mecânica quântica.

A partir destas discussões, foi possível empregar as ideias da quantização da energia de M. Planck e do quantum de luz de A. Einstein. Foi empregada uma estratégia didática similar, no sentido de evidenciar que as propostas, tanto da quantização da energia no problema da radiação de corpo negro, quanto na hipótese dos fótons no problema do efeito fotoelétrico, eram ideias que não encontravam respaldo em nenhuma teoria física vigente, mas que, apesar desta fragilidade, eram capazes de descrever corretamente os respectivos fenômenos, estando inclusive, respaldadas por resultados experimentais, sendo então enfatizado, que estes dois eventos foram muito importantes à sua época, por evidenciar a necessidade de uma nova teoria física.

Após estas colocações foram enfatizadas as contribuições da espectroscopia. Foi colocado que esta atividade experimental, à época de Bohr, já havia produzido muitos dados sobre os elementos químicos, em especial sobre o átomo de hidrogênio. Foram citadas as séries de Balmer (espectro visível), Lyman (espectro ultravioleta) e Paschem (espectro infravermelho). Objetivou-se aqui enfatizar dois aspectos. Um deles foi resgatar a atividade experimental realizada na aula 5, onde os estudantes observaram os espectros, contínuo e discreto, além de evidenciar que até a época de Bohr ainda não se sabia como e por que os espectros dos elementos químicos era discreto, além de ser único para cada elemento.

Por fim, iniciou-se a descrição do modelo atômico de Bohr para o átomo de hidrogênio. O primeiro aspecto a destacar foi o por quê de Bohr ter escolhido o átomo de hidrogênio para elaborar o seu modelo. Foi colocado que tal escolha deve-se a simplicidade deste elemento, em possuir apenas uma carga positiva no núcleo e um elétron orbitando este núcleo. Foi enfatizado que o grande desafio de N. Bohr era estabilizar o átomo de E. Rutherford. Além disso, N. Bohr considerou as ideias de M. Planck e A. Einstein. A seguir, foi feita uma breve explanação sobre como N. Bohr incorporou estas ideias em seu modelo.

Primeiramente, N. Bohr assumiu o modelo de E. Rutherford, ou seja, que o átomo é nuclear e o elétron gira em torno do núcleo. Porém, a grande ideia de Bohr foi incorporar a hipótese de Planck em seu modelo. Foi enfatizado que isto leva a assumir que em torno do núcleo haveriam apenas determinadas órbitas que o elétron poderia ocupar. Estas órbitas foram determinadas empregando teorias físicas clássicas³³, ou seja, houve um desenvolvimento matemático, mas que aqui seria omitido. Cada uma destas órbitas correspondia a uma certa energia de ligação entre o elétron e o núcleo, igualmente determinadas pelo emprego de teorias clássicas.

A seguir, foi explicado que o mecanismo de emissão e absorção de radiação pelo elétron, segundo o modelo de Bohr, dava-se de acordo com a hipótese do quantum de luz de A. Einstein, ou seja, os elétrons podem absorver ou emitir energia a partir da absorção e emissão de fótons, e este mecanismo faria o elétron saltar de uma órbita para outra. Neste ponto foi enfatizado que N. Bohr não explicava como ocorria a transição de uma órbita para outra, no sentido de que não se sabia como o elétron passava de uma órbita para outra. Este ponto foi muito importante, pois introduziu o conceito de "salto quântico" e permitiu evidenciar N. Bohr não utiliza a teoria eletromagnética para descrever a interação do elétron com a radiação.

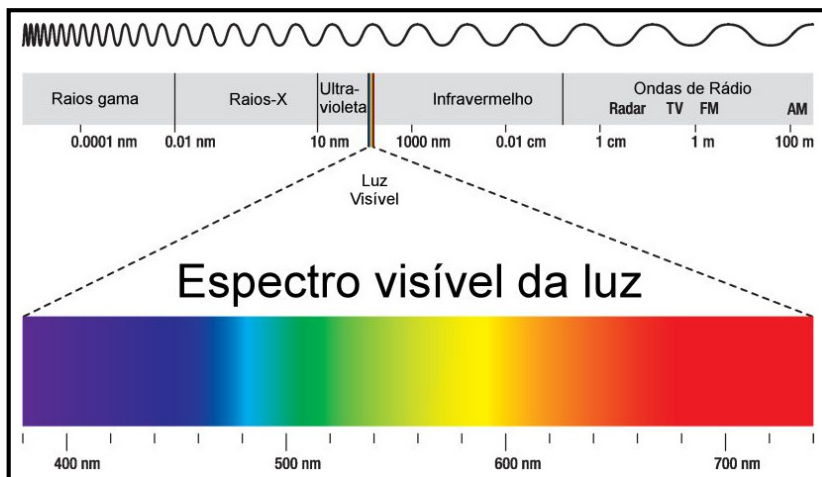
Diante destas colocações foi possível classificar o modelo atômico de Bohr como um modelo semiclássico, ou seja, que incorporava ideias de teorias físicas bem estabelecidas, mas que apresentava aspectos não explicados por nenhuma teoria física vigente à sua época. Neste ponto, foi possível melhor esclarecer o significado do termo "postulado", ou seja, foi necessário que N. Bohr postulasse algumas características em seu modelo, mas que estes postulados conduziram a um modelo consistente com os dados experimentais.

Antes de seguir para o próximo momento da aula foram retomados alguns pontos considerados importantes. Utilizando uma apresentação em PowerPoint, algumas imagens foram brevemente discutidas. Primeiramente foi apresentada uma imagem do espectro eletromagnético (Figura 14). Foram destacadas três regiões: a região do visível, a região do ultravioleta e a região do infravermelho.

³³ Foi mencionado para os estudantes que N. Bohr empregou as Leis de Newton, para o movimento circular, e a Lei de Coulomb, para descrever a atração elétrica entre as cargas. Nota-se que os estudantes ainda não conhecem a Lei de Coulomb, mas o objetivo aqui foi apenas evidenciar o uso da Física Clássica para descrever as órbitas dos elétrons no modelo de Bohr para o átomo de hidrogênio.

Objetivou-se apenas resgatar e caracterizar as radiações por seus comprimentos de onda e frequências, fazendo a correlação desta última com a energia dos fótons, através da relação de A. Einstein, $E = h \cdot f$.

Figura 14 - Espectro eletromagnético.

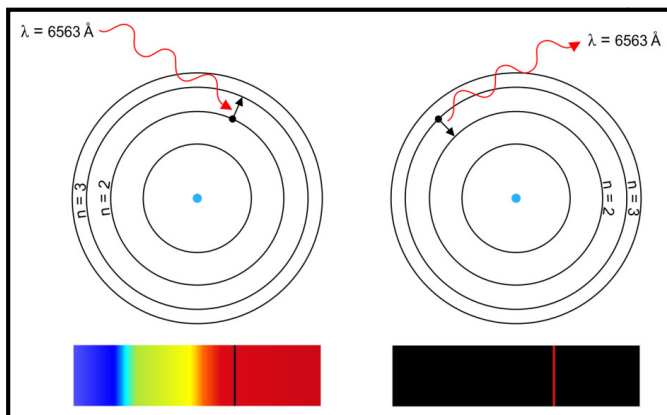


Fonte: <<http://www.infoescola.com/fisica/espectro-eletromagnetico/>>. Acesso em: 03/11/2015.

No momento seguinte foi apresentada uma imagem para ilustrar o mecanismo de absorção e emissão de fótons proposto por Bohr em seu modelo (Figura 15), onde buscou-se apenas enfatizar que a absorção e emissão de fótons está diretamente relacionado com as transições do elétron entre os diferentes níveis de energia e que esta diferença de energia deveria ser exatamente igual a energia do fóton associado aquela transição.

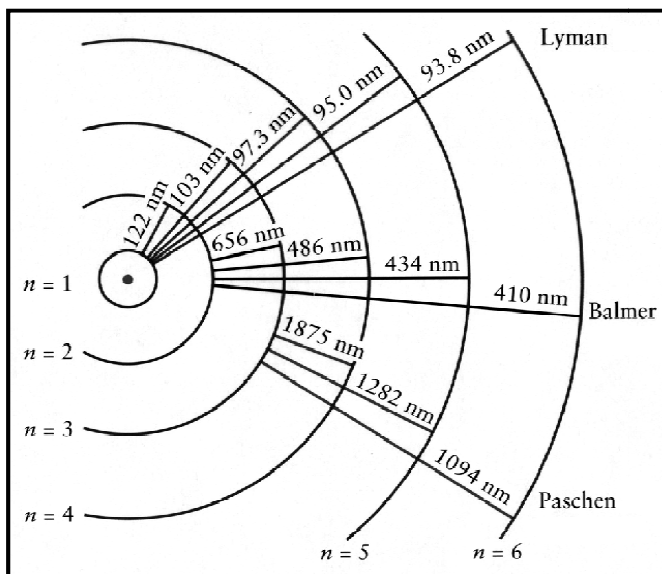
Também buscou-se relacionar a absorção de fótons com as linhas escuras no espectro de absorção dos elementos químicos, bem como a emissão de fótons com as linhas coloridas no espectro de emissão. A seguir foi apresentada uma imagem para ilustrar as séries de Paschem, Balmer e Lyman, evidenciando as transições entre níveis aos quais estas emissões ocorrem (Figura 16).

Figura 15 - Salto quântico. Absorção e emissão de fótons.



Fonte: <http://www.if.ufrgs.br/fis02001/aulas/aula_espec.htm>. Acesso em: 03/11/2015.

Figura 16 - Átomo de hidrogênio. Séries de Lyman, Balmer e Paschen.



Fonte: <http://crab0.astr.nthu.edu.tw/~hchang/gal/f0503-H_Trans.JPG>. Acesso em: 03/11/2015.

As transições relacionadas a cada uma das séries foi brevemente comentada. Em especial, as transições referentes à série de Balmer foram relacionadas com a emissão de luz visível. Embora não tenham sido apresentados os valores dos níveis de energia, o professor mencionou que as transições dos níveis 6, 5, 4 e 3 para o nível 2 emitiam fótons com energias correspondentes à frequências na faixa do espectro visível. Foi solicitado que os estudantes predissessem quantas faixas coloridas o espectro do hidrogênio deveria apresentar. Alguns estudantes ficaram um pouco confusos, ao passo que outros estudantes responderam corretamente que deveriam haver quatro raias coloridas. Novamente foi enfatizado que estes pontos seriam retomados futuramente, e que por enquanto, tratava-se apenas de uma breve explanação para introduzir os referidos conceitos. Para finalizar este momento da aula, foi apresentada uma imagem para ilustrar o espectro de uma lâmpada de hidrogênio, sobre a qual foram indicadas as quatro linhas de emissão, referentes à série de Balmer (Figura 17).

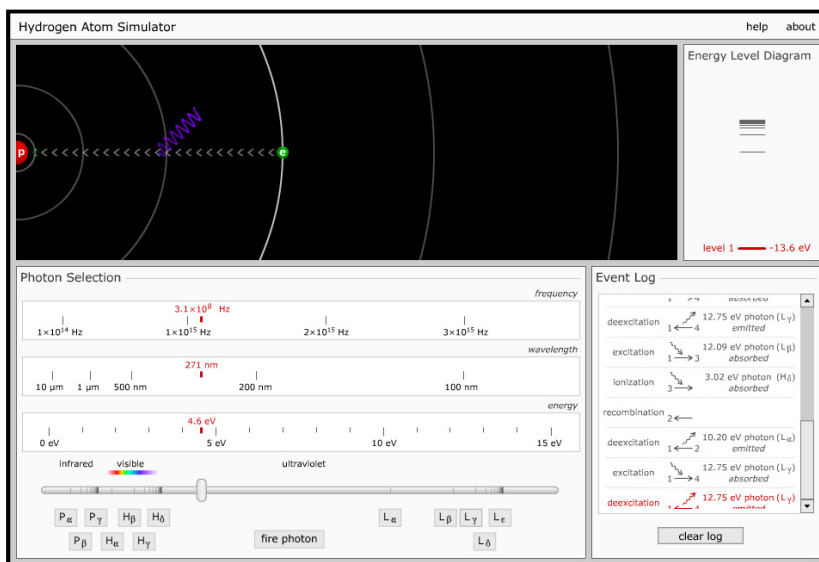
Figura 17 - Espectro discreto de uma lâmpada de hidrogênio.



Fonte: Elaborado pelo autor a partir da impressão de tela obtida em <http://slideplayer.com.br/slide/46897/>, disponível no formato Slide Player, página 10/44 da apresentação de slides. Acesso em: 03/11/2015.

O próximo momento da aula foi dedicado a enfatizar o caráter da quantização na emissão e absorção de fótons nos saltos quânticos. Para tanto o professor utilizou uma simulação. É importante mencionar que para esta aula não estava previsto nenhum aprofundamento no modelo atômico de Bohr, mas sim, apenas descrever as suas principais características e as influências teórico-experimentais à que estava submetido. O aprofundamento neste modelo foi planejado para a aula seguinte, na qual foi explorado com maiores detalhes os aspectos relacionados ao espectro do átomo de hidrogênio. A simulação (Figura 18) foi utilizada como um recurso metodológico³⁴, exclusivamente pelo professor, para melhor ilustrar a absorção e emissão de luz no átomo de hidrogênio.

Figura 18 - Simulação NAAP - Simulado do átomo de hidrogênio (tradução livre).



Fonte: < <http://astro.unl.edu/classaction/animations/light/hydrogenatom.html>>. Acesso em: 06/11/2015.

³⁴ A simulação foi desenvolvida pelo projeto Nebraska Astronomy Applet Project (NAAP). Ela roda diretamente nos navegadores de internet mas pode ser copiada e utilizada no computador. Para tanto, deve ser efetuado o download gratuito a partir do sítio do projeto, <<http://astro.unl.edu/classaction/animations/light/hydrogenatom.html>>.

A simulação permite disparar fótons com energia equivalente as linhas das séries de Paschem, Balmer e Lyman. Na parte superior, a esquerda da tela, tem-se a representação do núcleo em vermelho e as seis primeiras órbitas do átomo de hidrogênio. O elétron é representado pela pequena esfera verde, no estado fundamental. Na parte superior direita, encontra-se uma representação dos níveis de energia, destacado em vermelho o nível que o elétron ocupa no momento. Na Figura 18 está ilustrado o momento em que o elétron decai do nível 4 de energia para o estado fundamental, emitindo um fóton de radiação ultravioleta.

Antes de iniciar o uso da simulação os estudantes foram instruídos a não se preocuparem com os valores numéricos apresentados pela simulação, sobre os quais iríamos nos aprofundar somente na aula seguinte. Além disso, foram alertados para alguns aspectos importantes, não contemplados pela simulação, tais como a questão da escala, ou seja, os tamanhos relativos entre o núcleo, o elétrons, as órbitas, bem como a própria representação do fóton. Enfim, que a simulação apresentava apenas imagens meramente ilustrativas, mas que o mecanismo de emissão e absorção poderia ser ilustrado levando-se em conta estas considerações.

Foram simulados todos os fótons capazes de provocar as transições do elétron entre os níveis, ou seja, aqueles fótons com energia equivalente as séries de Paschem, Balmer e Lyman. A simulação permite selecionar a energia do fóton através de um controle deslizante, o que possibilita ilustrar que não são absorvidos fótons com qualquer energia, bem como é possível ionizar o átomo a partir da absorção de fótons acima de determinada energia. Não foram mencionados os valores da energia dos fótons envolvidos, nem mesmo a sua relação com a diferença entre os níveis de energia, pois os aspectos mais detalhados acerca das transições foi previsto para a aula seguinte.

Por fim, as transições ocorridas pela absorção e emissão de fótons de luz com determinadas energias foi brevemente relacionada com os espectros discretos dos elementos químicos. Alguns estudantes mostraram-se um pouco confusos com esta relação. Contudo, foi reforçado pelo professor que estes pontos seriam retomados na aula seguinte, com maiores detalhes.

Ao longo desta aula alguns tópicos interessantes se manifestaram, estimulados pelas explanações do professor. Em um determinado momento, ao discutir as aplicações da espectroscopia, foi possível falar sobre a expansão do universo, evidenciada pelo desvio para o vermelho no espectro de algumas estrelas. Alguns estudantes mostraram-se muito curiosos sobre estas questões, as quais foram brevemente comentadas.

Em outro momento um estudante perguntou se atualmente ainda havia alguma teoria de Einstein que estava sendo testada. Novamente foram destinados alguns comentários sobre a referida questão.

Ao longo da aula foi comentado que o modelo de Bohr foi desenvolvido para o átomo de hidrogênio e que ao se tentar estender este modelo para outros átomos ocorriam enormes dificuldades. Este comentário estimulou um estudante a procurar por modelos que sucederam o modelo de Bohr e nas duas aulas seguintes ele trouxe algumas informações sobre os trabalhos de A. Sommerfeld, mostrando-se bastante interessado, chegando a realizar vários questionamentos sobre os trabalhos de Sommerfeld, relacionados à descrição do átomo.

Um outro episódio interessante ocorreu após o término da aula, quando o mesmo estudante se aproximou e compartilhou sua angústia. Ele afirmou enfaticamente que não acreditava em nada daquilo que Bohr havia feito, pois era tudo "invenção da cabeça dele". Seguiu-se uma pequena discussão por cerca de 5 minutos³⁵. O estudante argumentou muito bem, embasando sua posição ao citar o erro de A. Einstein ao propor a constante cosmológica. Diante deste ceticismo do estudante o professor elogiou a postura questionadora e enfatizou que essa postura era a mesma que Bohr e outros cientistas enfrentaram por parte da comunidade científica, sempre que alguma inovação foi por eles proposta. Foi devidamente salientado que no caso do modelo atômico de Bohr, não havia nenhuma teoria que desse suporte para as transições eletrônicas, ao contrário, Bohr estaria justamente rompendo com a teoria eletromagnética clássica ao postular os saltos quânticos. Contudo, o modelo proposto, mesmo sem amparo teórico, apresentava ampla concordância com os resultados experimentais da espectroscopia, além de incorporar as hipóteses da quantização da energia e dos fótons, estimulando o desenvolvimento de uma nova teoria, levando ao que hoje conhecemos como Mecânica Quântica.

4.12 AULA 13

Para esta aula estava previsto o uso de um roteiro de atividades a ser utilizado em conjunto com a simulação Phet Colorado sobre o Átomo de Hidrogênio. O roteiro³⁶ foi desenvolvido para ser utilizado em conjunto com a referida simulação. Inicialmente, a intenção era conduzir

³⁵ O áudio das aulas foi registrado, como informado no TCLE.

³⁶ O roteiro para esta atividade e a referência para a simulação utilizada estão integralmente disponíveis no anexo A, junto ao programa da aula 13.

os estudantes ao laboratório de informática para que pudessem, reunidos em duplas, explorar a simulação enquanto respondiam as questões do roteiro. Contudo, não foi possível dispor do laboratório com as condições necessárias à execução da atividade, uma vez que não haveriam computadores suficientes para organizar os estudantes em duplas. Julgou-se que grupos com um número maior de integrantes poderia comprometer o uso da simulação. Diante desta situação, a aula foi replanejada e desmembrada em duas aulas. Na primeira aula, a simulação foi utilizada pelo professor com a finalidade de ilustrar os conceitos abordados pelas questões do roteiro de atividades. Neste novo formato, cada estudante trabalhou individualmente com o seu roteiro ao longo das duas aulas.

Após esta aula os estudantes levaram o roteiro de atividades como tarefa, para que então, na aula seguinte, pudessem expor as suas dúvidas. Na aula seguinte, novamente a simulação foi utilizada pelo professor como recurso auxiliar para a compreensão dos estudantes, frente as dúvidas que os mesmos colocavam para a classe.

Na primeira parte da primeira aula os estudantes foram orientados sobre quais materiais seriam objeto da avaliação final, os quais poderiam ser consultados durante a realização da avaliação³⁷. A seguir, o professor realizou a leitura da primeira parte do roteiro. Durante a leitura foram feitas várias observações, resgatando os conteúdos vistos nas últimas três aulas (10, 11 e 12).

A relação para o cálculo da energia dos níveis de energia para o átomo de hidrogênio foi apresentada. Embora não tenha sido tratada a dedução da referida equação, foi devidamente enfatizado que todo o desenvolvimento matemático para se chegar até a referida expressão foi cuidadosamente realizado por N. Bohr. A primeira atividade realizada pelos estudantes foi aplicar esta equação para determinar as energias dos primeiros 6 níveis de energia. A Figura 19 ilustra o quadro devidamente preenchido.

O roteiro de atividades apresentava uma ilustração do átomo com o núcleo circundado pelas 6 primeiras órbitas. Foi enfatizado que a figura era meramente ilustrativa e que a mesma não apresentava em escala correta a relação das distâncias entre as órbitas, bem como as distâncias das órbitas até o núcleo, uma vez que não seria possível elaborar uma imagem em escala fiel à estas distâncias. Neste caso, a

³⁷ É importante salientar que a prática de realizar as provas de Física com consulta já era empregada anteriormente à intervenção didática, sendo portanto, uma prática comum com a qual os estudantes estavam habituados.

predominância do espaço vazio nas regiões internas ao átomo foi salientada. Após preenchimento da tabela na questão 1 (Figura 19) os estudantes foram instruídos a indicarem a energia de cada um dos níveis no diagrama de energias, como indicado na Figura 20.

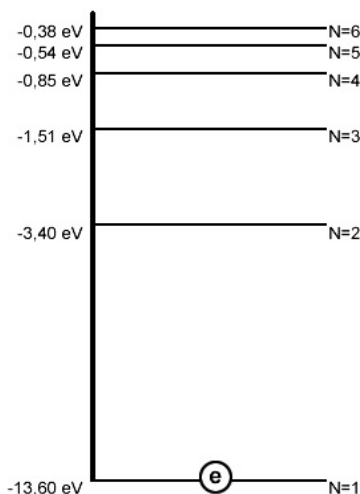
Figura 19 - Quadro referente aos níveis de energia das 6 primeiras órbitas do átomo de hidrogênio.

Energia (eV)	Energia (eV)
$E_1 = -13,6$	$E_4 = -0,85$
$E_2 = -3,40$	$E_5 = -0,54$
$E_3 = -1,51$	$E_6 = -0,38$

Fonte: elaborado pelo autor.

Na segunda questão do roteiro os estudantes deveriam determinar todas as transições possíveis entre os 6 primeiros níveis de energia.

Figura 20 - Níveis de energia para o átomo de hidrogênio até a 6ª órbita.



Fonte: elaborado pelo autor.

Com a finalidade de auxiliar os estudantes, o professor os estimulou a deduzir as possíveis transições, partindo do estado fundamental, perguntando para que outros níveis o elétron poderia

saltar. As possíveis transições foram listadas na lousa com o auxílio dos estudantes, e a seguir, considerando que o elétron estivesse no nível 2 de energia, o mesmo procedimento foi aplicado, obtendo um novo conjunto de possíveis transições. Neste ponto foi destacado que estando no nível 2, o elétron poderia voltar para o nível 1. Esta situação oportunizou discutir a diferença entre absorver e emitir um fóton de luz, bem como enfatizar que a transição de nível 1 para o nível 2 é equivalente, em energia, a transição do nível 2 para o nível 1. A diferença, contudo, reside no fato de que para ocupar níveis maiores de energia o elétron deveria absorver energia (um quantum de luz), ao passo que "descer" para níveis inferiores implicaria em emissão de energia (um quantum de luz).

Vários estudantes perguntaram quanto de energia deveria ter um quantum de luz para fazer elétron saltar de um nível para outro, sendo então colocado pelo professor que estaria envolvida a quantidade exata de energia referente a diferença entre os níveis de energia envolvidos na transição em questão. Salientou que seria justamente com tal objetivo que as energias dos níveis foram calculadas anteriormente e que agora deveríamos calcular a diferença de energia entre os níveis de todas as transições possíveis. Após calcular as diferenças de energia entre os níveis envolvidos em cada uma das transições identificadas, os resultados foram organizados em ordem crescente de energia, como ilustrado na Figura 21. Nesta figura há, na primeira coluna, uma referência de valores de energia para os extremos do espectro visível, o que permitiu identificar a faixa do espectro correspondente aos fótons envolvidos em cada uma das transições identificadas.

Propositalmente, a simulação do átomo de hidrogênio somente estava prevista para ser acionada após a resolução das 5 primeiras questões, as quais diziam respeito a mapear todas as possíveis transições entre os 6 primeiros níveis, as diferenças de energia entre estes níveis, as discussões sobre a quantidade exata de energia que deve ter um fóton para ser absorvido pelo elétron, bem como a simbologia a ser utilizada para representar a passagem do elétron de um nível para outro.

A seguir o roteiro solicitava que os estudantes identificassem qual fóton deveria ser absorvido pelo elétron para que ele pudesse saltar do estado fundamental para a órbita 2. Surgiram várias perguntas que permitiram discutir enfaticamente o caráter da quantização no referido modelo atômico. Um estudante perguntou se poderia haver a absorção de vários fótons com energia menor até atingir a energia necessária para "pular" para o segundo estado. Esta pergunta permitiu discutir o caráter da quantização bem como a possibilidade de interação do elétron com

apenas um fóton por vez. Outro estudante perguntou o que ocorreria se um fóton com energia diferente daquelas listadas na tabela (Figura 21) incidisse sobre o elétron. A partir desta questão o professor pode novamente enfatizar o caráter da quantização da energia nos processos de emissão e absorção de fótons pelos elétrons.

Figura 21 - Possíveis transições entre os primeiros 6 níveis de energia para o átomo de hidrogênio.

Faixa do espectro	Transição entre níveis	Energia associada (eV)
Infravermelho	6 → 5	0,16
	5 → 4	0,31
	6 → 4	0,47
	4 → 3	0,66
	5 → 3	0,97
	6 → 3	1,13
Vermelho 1,69 eV	3 → 2	1,89
Visível	4 → 2	2,55
	5 → 2	2,86
	Violeta 3,16 eV	6 → 2
Ultravioleta	2 → 1	10,20
	3 → 1	12,09
	4 → 1	12,75
	5 → 1	13,06
	6 → 1	13,22

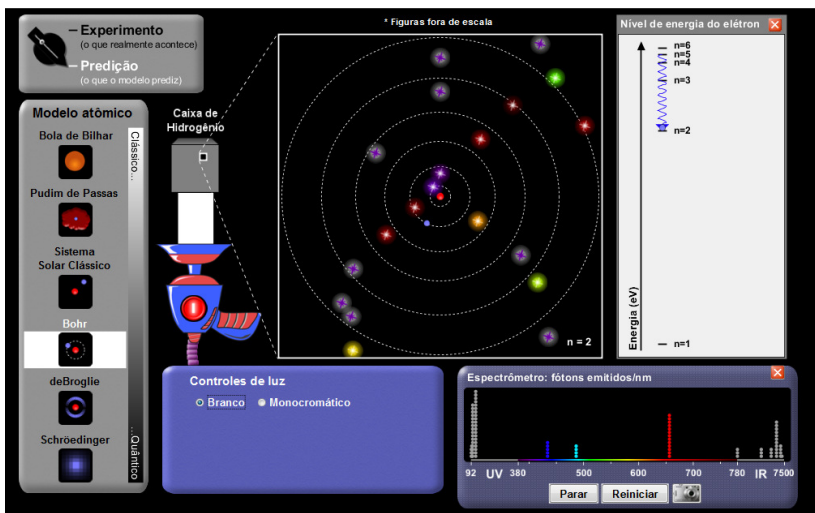
Fonte: elaborado pelo autor.

Neste momento a simulação do átomo de hidrogênio foi apresentada para os estudantes. Primeiramente foram ilustrados os vários comandos disponíveis. A tela final da simulação foi configurada de maneira a permitir a visualização do espectro de emissão e os níveis de energia, como ilustrado na Figura 22.

A partir deste ponto até o término desta aula os estudantes contemplaram a simulação, enquanto algumas questões e observações eram feitas pelo professor. A simulação evoluiu livremente e em câmera

lenta para enfatizar determinados aspectos como as mudanças de órbita do elétron, ao absorver e emitir fótons.

Figura 22 - Simulação Phet Colorado para o átomo de hidrogênio.



Fonte: <https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/hydrogen-atom>. Acesso em: 13/11/2015.

Uma das situações exploradas foi a exatidão entre a energia dos fótons e as diferenças de energia entre os níveis de energia. Para tanto, foi selecionada a opção de luz monocromática, onde é possível simular vários fótons com diferentes frequências, ilustrando que apenas determinados fótons podiam ser absorvidos.

Outro ponto bastante positivo da simulação foi permitir enfatizar que quando o elétron salta para um nível mais elevado ele pode decair para o estado fundamental transitando por vários níveis intermediários, emitindo assim vários fótons correspondentes à diferentes faixas do espectro. Estas discussões são possíveis a partir do diagrama dos níveis de energia, posicionado ao lado direito, na parte superior da tela da simulação, ilustrado na Figura 22.

A medida que a simulação evoluía, formava-se o registro do espectro de emissão na parte inferior, à direita da tela da simulação. Um estudante perguntou porque apareciam aquelas "bolinhas". Esta pergunta permitiu discutir a representação dos fótons como pequenas partículas

de luz. O professor então perguntou o que a altura das pilhas formadas pelos fótons poderia representar. Alguns estudantes responderam que seria a quantidade de fótons emitidos. Esta resposta foi devidamente explorada pelo professor, relacionado a quantidade de vezes que determinado fóton era emitido com o brilho de cada uma das linhas do espectro. Também foi possível discutir o caráter probabilístico das transições, pois a simulação induz à ideia de que não há como saber para quais níveis o elétron irá passar ao decair de um nível elevado de energia até o estado fundamental. Foi possível, assim, relacionar o brilho das faixas do espectro com a probabilidade de ocorrência de determinadas transições. Foi devidamente enfatizado que até então o modelo de Bohr não era capaz de prever estas probabilidades. Em um determinado momento, neste ponto da aula, um estudante afirmou que "então os fótons emitidos seriam aquelas cores vistas no espectroscópio" (atividade experimental realizada em sala!).

Além dos aspectos já mencionados, a simulação permitiu discutir outro ponto bastante contundente do modelo atômico de Bohr. Quando o elétron absorvia um fóton ele "desaparecia" de uma órbita e "reaparecia" em outra órbita. O professor chamou a atenção dos estudantes para este comportamento, o qual não era explicado por nenhuma teoria Física até então disponível, sendo justamente este mecanismo de absorção e emissão de luz, utilizado por Bohr para contornar o problema da emissão de radiação previsto pela teoria eletromagnética clássica. A partir deste aspecto foi enfatizado que os sistemas quânticos tem propriedades que fogem à interpretação do senso comum, e que estes comportamentos levaram a ruptura com as teorias clássicas, abrindo caminho para a estruturação de uma nova teoria, atualmente conhecida como Mecânica Quântica.

Não houve maiores preocupações em responder todas as questões (5 a 12) do roteiro de atividades, pois o objetivo desta aula foi explorar tanto quanto possível o uso da simulação, ainda que em caráter expositivo. Os estudantes resolveram as questões restantes em casa e a aula seguinte foi dedicada exclusivamente a correção da atividade. A simulação foi novamente utilizada, em caráter expositivo e pontualmente, como ferramenta de apoio para melhor ilustrar a resolução de algumas questões e esclarecimento de algumas dúvidas levantadas pelos estudantes.

5 ANÁLISE DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA

No decorrer da aplicação da sequência didática foram coletados dados em vários formatos, tais como o áudio das aulas, que contém as falas do professor bem como as perguntas e comentários dos estudantes ao longo das aulas. Além disso, algumas atividades textuais foram coletadas por meio de formulários eletrônicos. Também foi realizada a cópia digital de uma das atividades que os estudantes realizaram em grupos, que correspondeu a formulação de questões e respostas a partir da análise de um dos textos utilizado como material de apoio em uma das aulas. Contudo, para uma primeira avaliação desta sequência, considerou-se apenas a análise das respostas dos estudantes em 5 das 11 questões presentes em uma avaliação escrita realizada ao final das aulas. Pretende-se, no futuro, realizar a análise dos demais materiais coletados.

Uma vez que o objetivo principal deste trabalho foi ensinar o modelo atômico de Bohr para o átomo de hidrogênio, entendemos que a percepção dos efeitos da sequência didática perpassa pela análise da avaliação realizada ao final da mesma, a qual contemplou os experimentos de J. J. Thomson e o seu modelo atômico, os trabalhos de E. Rutherford e o seu modelo atômico e os trabalhos de Bohr e seu modelo atômico³⁸. A avaliação foi realizada em uma aula de 50 minutos e os estudantes dispunham dos textos e anotações realizadas no decorrer das aulas. Um total de 62 estudantes realizou a avaliação.

As questões 1 e 2 contemplaram os trabalhos de J. J. Thomson. As questões 3 e 4 versaram sobre os trabalhos de E. Rutherford. As questões 5, 6 e 7 contemplaram os aspectos conceituais sobre o modelo de Bohr e as questões 8, 9, 10 e 11 contemplaram as transições eletrônicas e o espectro do átomo de hidrogênio³⁹.

Para este momento optou-se pela análise das questões 5, 6, 7, 9 e 11, pois estas questões abordam o uso das hipóteses de M. Planck e de A. Einstein sobre a quantização da energia, bem como as transições eletrônicas no modelo atômico de Bohr, que conduz aos espectros discretos dos elementos químicos, sendo estes os conceitos mais diretamente vinculados aos objetivos da proposta inicial deste trabalho que foi abordar o modelo de Bohr.

O formato da análise consistiu em apresentar, na íntegra, cada uma das questões selecionadas, indicando alguns elementos e/ou

³⁸ Uma primeira avaliação também foi realizada ao término da primeira parte da sequência didática, que abrangeu os tópicos relacionados a espectroscopia do século XIX.

³⁹ As questões da avaliação encontra-se integralmente disponíveis no anexo E.

características esperadas nas respostas formuladas pelos estudantes. Além disso, organizou-se em um quadro as quantidades de estudantes que foram capazes de atender aos critérios pretendidos para cada questão. As respostas dos estudantes foram caracterizadas em grupos, de acordo com a presença de elementos textuais que indicassem alguma relação com os tópicos abordados.

Optou-se por não realizar uma análise mais pormenorizada das respostas dos estudantes. Entendemos que este intento se estende para além dos objetivos deste trabalho. De toda forma, foi realizada uma breve reflexão acerca das mesmas e pretende-se, futuramente, explorar com maior profundidade os dados extraídos da aplicação da referida sequência didática.

A seguir, apresenta-se a análise das questões 5, 6 e 7. No corpo da avaliação, as mesmas foram precedidas por um texto introdutório.

Texto introdutório para as questões 5, 6 e 7: Os estudos da espectroscopia acumularam uma grande quantidade de informações sobre os elementos químicos. Os espectros de emissão e absorção do átomo de hidrogênio já eram bem conhecidos à época em que N. Bohr propôs seu modelo atômico para esse elemento. O modelo proposto por N. Bohr, por volta de 1913, apresentava boa concordância com estes espectros, além de incorporar as ideias de M. Planck e de A. Einstein. Dessa maneira, o modelo atômico proposto por N. Bohr não encontrava suporte nas teorias físicas até então vigentes, sendo por este motivo, considerado como um modelo semiclássico. A busca por uma teoria que desse suporte as novas ideias que estavam surgindo no início dos anos de 1900, necessárias para descrição dos novos fenômenos observados, mais especificamente aqueles relacionados à estrutura microscópica da matéria, levaram ao abandono das ideias da Física anterior a este período, hoje denominada de Física Clássica, e conduziram ao desenvolvimento do que hoje chamamos de Mecânica Quântica, inaugurando uma nova fase na Física, denominada de Física Moderna.

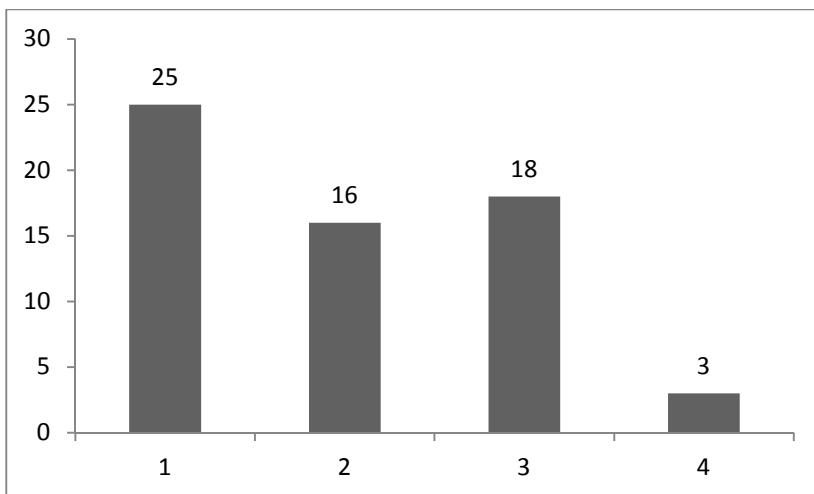
Questão 5. O maior desafio de Bohr era estabilizar o modelo atômico proposto por E. Rutherford. Para tanto, utilizou as ideias de M. Planck, ou seja, Bohr utilizou as ideias da quantização em seu modelo atômico. Qual foi a característica do átomo que foi quantizada por Bohr?

Espera-se que os estudantes sejam capazes de correlacionar as ideias da quantização da energia de M. Planck com aspectos do modelo atômico de N. Bohr, ou seja, articulem estes conceitos empregando

explicitamente termos tais como "quantização das órbitas", "quantização de níveis de energia", "órbitas permitidas", "quantização de energia".

As respostas foram caracterizadas em 4 grupos. O grupo 1 corresponde a quantidade de estudantes que mencionou aspectos considerados relevantes em suas respostas, articulando minimamente dois ou mais elementos esperados para esta questão. O grupo 2 corresponde a quantidade de estudantes que mencionou a estabilidade das órbitas do átomo, sem menção a emissão de radiação, ou mencionou que os saltos quânticos somente ocorrem quando o elétron recebe (ou emite) exatamente a energia entre os níveis envolvidos na transição. Neste grupo, nenhuma resposta explicitou que a energia dos referidos níveis é quantizada. O grupo 3 corresponde a quantidade de estudantes que formulou alguma resposta mas não mencionou nenhum elemento considerado relevante. Por fim, o grupo 4, que corresponde a quantidade de estudantes que não formulou nenhuma resposta. A quantidade de estudantes em cada um dos grupos está indicada no Quadro 4.

Quadro 4 - Caracterização das respostas para a questão 5. Quantidade de estudantes por grupo de respostas.



A quantidade de estudantes que respondeu corretamente a questão (cerca de 40 %, grupo 1) indica que a mesma foi de fácil assimilação, ou seja, parece ter sido satisfatoriamente favorecida pela seqüência didática. Além disso, cerca de 26 % dos estudantes (grupo 2) foi capaz de correlacionar minimamente a forma como o modelo

atômico de N. Bohr incorpora a hipótese de M. Planck referente quantização da energia.

Contudo, uma parcela considerável dos estudantes (34 %, grupos 3 e 4) não foi capaz de identificar, nem mesmo minimamente, a presença das ideias da quantização da energia no modelo atômico de Bohr. Este percentual indica que este aspecto da sequência didática deve ser enfatizado, buscando melhor explicitar a conexão entre as ideias de Planck, referentes a quantização da energia, e como tais ideias foram incorporadas por N. Bohr em seu modelo. O Quadro 5 ilustra algumas das respostas dadas pelos estudantes, em sua forma original.

Quadro 5 - Exemplos de respostas dadas pelos estudantes na questão 5.

Grupo	Respostas
1	- <i>Quantização da energia do átomo (quantizar órbitas). Os elétrons se distribuem em órbitas bem determinadas e estáveis.</i> - <i>A energia que o elétron precisa para "trocar de nível".</i>
2	- <i>Que a matéria troca energia de maneira discreta, isso é, a energia apresenta quantidade mínima e é trocada em quantidades bem definidas.</i> - <i>A quantização da energia.</i>
3	- <i>A carga elétrica.</i> - <i>A radiação de corpo negro.</i>

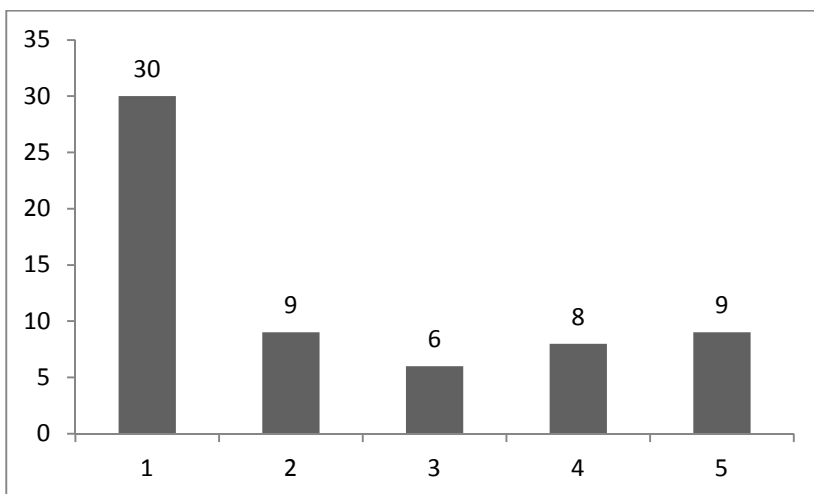
Questão 6. Os estudos de A. Einstein sobre o efeito fotoelétrico também foram considerados por N. Bohr na elaboração de seu modelo atômico. De que maneira N. Bohr interpretava o mecanismo de emissão e absorção de luz pelo elétron no átomo de hidrogênio?

Espera-se que os estudantes sejam capazes de identificar que o mecanismo de emissão e absorção de luz pelo átomo, segundo N. Bohr, dá-se pela emissão e absorção de fótons, e que este processo está relacionado com os saltos quânticos do elétron entre os níveis de energia.

As respostas foram caracterizadas em 5 grupos. O grupo 1 corresponde a quantidade de estudantes que mencionou aspectos considerados relevantes em suas respostas, articulando minimamente

dois ou mais elementos esperados para esta questão. O grupo 2 corresponde a quantidade de estudantes que mencionou as mudanças de níveis de energia pela absorção e emissão de luz ou energia, sem especificar o caráter corpuscular da luz, ou seja, sem evidenciar o termo "fóton". O grupo 3 corresponde a quantidade de estudantes que mencionou apenas as mudanças de níveis de energia, sem correlacionar com absorção ou emissão de luz e sem evidenciar o termo "fóton". O grupo 4 corresponde a quantidade de estudantes que formulou alguma resposta mas não mencionou nenhum elemento considerado relevante. Por fim, o grupo 5, que corresponde a quantidade de estudantes que não formulou nenhuma resposta. A quantidade de estudantes em cada um dos grupos está indicada no Quadro 6.

Quadro 6 - Caracterização das respostas para a questão 6. Quantidade de estudantes por grupo de resposta.



A quantidade de estudantes que respondeu satisfatoriamente (cerca de 48 %, grupo 1) parece indicar que os estudantes assimilaram a maneira como N. Bohr incorporou as ideias de A. Einstein sobre a quantização da luz em seu modelo atômico. Aproximadamente 24 % dos estudantes (grupos 2 e 3, com 14 % e 10 %, respectivamente) parecem indicar que o mecanismo de emissão e absorção de luz não foi completamente entendido, embora tenha sido reconhecido por estes estudantes que os elétrons transitam entre os níveis de energia. Cerca de 28 % dos estudantes (grupos 4 e 5) não foi capaz de identificar a relação

entre as ideias de A. Einstein sobre a quantização da luz e o modelo atômico de N. Bohr. O Quadro 7 ilustra algumas das respostas dadas pelos estudantes, em sua forma original.

Quadro 7 - Exemplos de respostas dadas pelos estudantes na questão 6.

Grupo	Respostas
1	<p>- Ao receber energia (fóton), o elétron pode "saltar" para níveis superiores absorvendo a luz, e após algum tempo o elétron decai espontaneamente para um nível inferior, emitindo um fóton de energia (luz).</p> <p>- Quando elétron aumentava de nível ele absorvia 1 fóton quando ele decaía de nível liberava um fóton.</p>
2	<p>- O elétron pode "saltar" para níveis de energia mais elevados se absorver energia na forma de radiação, ou seja, se absorver luz.</p> <p>- A absorção e a emissão de energia pelo elétron implica em mudanças de níveis.</p>
3	<p>- A emissão e absorção só ocorre quando o elétron salta de nível.</p> <p>- Já que o átomo tem órbitas estáveis, não há absorção nem emissão. Elas somente ocorrem quando o elétron salta de um nível para outro.</p>
4	<p>- É que cada elemento emite apenas um conjunto de cores bem específica.</p> <p>- Radiação de corpo negro e efeito fotoelétrico que deu a quantização da energia.</p>

Segundo IVANJEK *et al* (2015a), muitos estudantes de nível superior⁴⁰ apresentam dificuldades em descrever os processos de emissão e absorção de fótons pelos elétrons e sua consequente relação com os saltos quânticos entre diferentes níveis de energia. Embora o contexto no qual estas ideias foram apontadas pelos estudantes de nível

⁴⁰ Todos os estudantes assistidos pelas pesquisas de IVANJEK *et al* (2015a) frequentam o curso de Física em nível superior com formação voltada para licenciatura. Os grupos pesquisados pertencem a vários níveis distintos, desde as fases iniciais até as fases mais avançadas da graduação.

superior nos trabalhos de IVANJEK *et al* (2015a) seja diferente daquele proposto pela avaliação aplicada aos estudantes de ensino médio neste trabalho, chama a atenção o grande percentual de acerto obtido por estes estudantes, representado pelo grupo 1, bem como o nível das respostas por eles elaboradas (Quadro 7). Estes resultados parecem indicar que tais conceitos podem ser satisfatoriamente assimilados pelos estudantes do ensino médio.

Questão 7. Até a época de Bohr não se sabia por que os espectros dos elementos químicos eram discretos. Além disso, o espectro dos elementos químicos era composto por um determinado conjunto de cores, diferente para cada elemento. Com o modelo atômico de Bohr foi possível explicar por que isto ocorre. Com base neste modelo, explique por que o espectro de emissão dos elementos químicos é discreto e não contínuo.

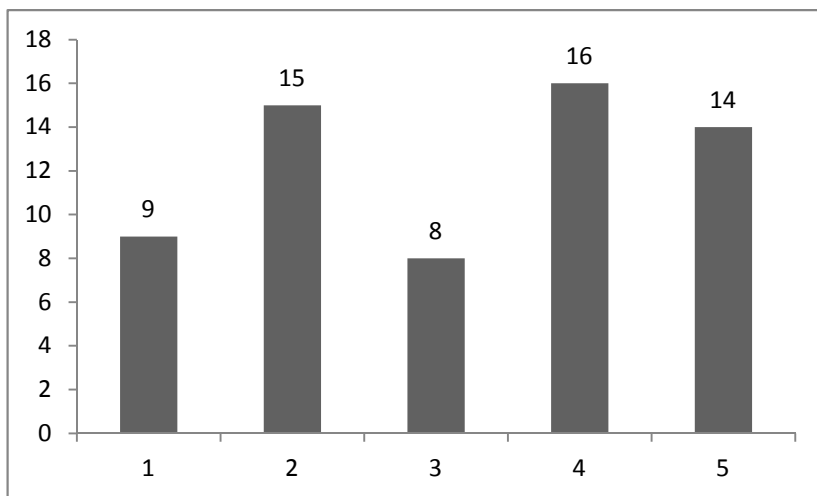
Espera-se que os estudantes sejam capazes de correlacionar a emissão discreta com a quantização da energia das órbitas, bem como sejam capazes de relacionar os diferentes espectros em virtude das diferentes distribuições eletrônicas entre diferentes elementos químicos.

As respostas foram caracterizadas em 5 grupos. O grupo 1 corresponde a quantidade de estudantes que mencionou aspectos considerados relevantes em suas respostas, articulando minimamente dois ou mais elementos esperados para esta questão. O grupo 2 corresponde a quantidade de estudantes que mencionou a emissão e/ou absorção de luz entre os níveis de energia mas não mencionou a quantização dos níveis de energia, que conseqüentemente leva a emissão discreta (emissão de fótons com determinadas energias), que por sua vez depende da distribuição eletrônica, específica de cada elemento químico. O grupo 3 corresponde a quantidade de estudantes que mencionou apenas a emissão e absorção de luz sem correlacionar estes processos, tanto com a quantização da energia quanto com as diferentes distribuições eletrônicas para os diferentes elementos químicos. O grupo 4 corresponde a quantidade de estudantes que formulou alguma resposta mas não mencionou nenhum elemento considerado relevante. Por fim, o grupo 5, que corresponde a quantidade de estudantes que não formulou nenhuma resposta. A quantidade de alunos em cada um dos grupos está indicada no Quadro 8.

Esta questão mostrou-se de difícil assimilação pelos estudantes, pois apenas uma pequena quantidade deles (cerca de 15 %) foi capaz de mencionar aspectos considerados relevantes em suas respostas,

articulando minimamente dois ou mais elementos esperados para esta questão. Deve-se, contudo, considerar que a referida questão exigiu dos estudantes a capacidade de articular conjuntamente as respostas das questões 5 e 6, ou seja, é bastante razoável esperar que os estudantes que não conseguiram responder satisfatoriamente as questões 5 e 6 tornassem a encontrar dificuldades na resolução da questão 7. Além disso, uma análise mais minuciosa poderia ser feita confrontando quais estudantes, pertencentes ao grupo 1 desta questão, também pertencem ao grupo 1 das questões 5 e 6. Pretende-se considerar esta análise em trabalhos futuros.

Quadro 8 - Caracterização das respostas por grupo para a questão 7. Quantidade de estudantes por grupo de resposta.



O grupo 2 (cerca de 24 %) mencionou a emissão e absorção de luz, ressaltando o aspecto quantizado da luz emitida e absorvida. Porém, deve-se notar que este aspecto não indica necessariamente que o estudante compreendeu o porquê dos espectros de elementos químicos serem discretos, uma vez que a emissão e absorção de fótons ocorre até mesmo no corpo negro, o qual apresenta espectro contínuo. Dessa maneira, a resposta destes estudantes remeteu a questão 6, pois apenas reafirmaram a emissão e absorção de fótons, sem mencionar que a energia dos fótons emitidos/absorvidos seria determinada pela diferença entre os níveis envolvidos na transição, e estes sim, são quantizados, determinando assim que somente quanta de luz bem específicos podem

ser emitidos por um determinado elemento químico, sendo distinto de um elemento para outro.

O grupo 3 (cerca de 13 %) não foi capaz de articular nenhuma das questões, 5 ou 6, na construção de sua argumentação para responder a questão 7. Apenas mencionaram que haveria emissão ou absorção de luz, sem mencionar os quanta de luz nem mesmo a existência de níveis de energia específicos para os elétrons no átomo.

Cerca de 26 % dos estudantes (grupos 4) formulou alguma resposta mas não mencionou nenhum elemento considerado relevante. Por fim, o grupo 5, que corresponde a quantidade de estudantes que não formulou nenhuma resposta.

A quantidade de respostas presentes nos grupos 4 e 5 merece reflexão, uma vez que um dos objetivos da sequência didática foi responder a pergunta de por quê cada um dos elementos químicos apresenta, cada qual, um espectro único, distinto e discreto. Este resultado sugere que os aspectos relacionados a esse tópico devem ser melhor enfatizados, uma vez que na sequência didática não há nenhuma atividade proposta objetivamente com esta finalidade.

Considerando os resultados obtidos por IVANJEK *et al* (2015a), os quais, para uma questão de composição similar e submetida a estudantes de Física em nível superior, foi obtido um percentual de 65 % de acerto. Deve-se considerar que a questão proposta aos estudantes fornecia alternativas para que os mesmos identificassem qual delas melhor descrevia o processo de formação das linhas espectrais, ao passo que a questão aqui proposta foi inteiramente discursiva e envolveu estudantes do ensino médio, os quais não tiveram nenhuma instrução anterior a aplicação da sequência didática sobre de tópicos de Espectroscopia ou mesmo de Física Moderna. O Quadro 9 ilustra algumas das respostas dadas pelos estudantes, em sua forma original.

Quadro 9 - Exemplos de respostas dadas pelos estudantes na questão 7.

Grupo	Respostas
1	<p data-bbox="314 1233 980 1385"><i>- Pois existem predeterminados níveis de energia para onde os elétrons podem ser excitados, e somente apresenta cores os que retornam ao nível 2, assim, a existência da quantização da energia faz com que os espectros sejam discretos.</i></p> <p data-bbox="314 1401 980 1458"><i>- Pois os níveis de energia têm uma certa "distância" entre eles que faz com o espectro seja discreto.</i></p>

2	<p>- Pois ele recebe cargas de energia variada, podendo saltar para níveis de energia mais elevados e depois decair espontaneamente para um nível de energia inferior.</p> <p>- Porque os elétrons se distribuem em órbitas, e ao receber ou emitir energia, conseqüentemente muda de órbita.</p>
3	<p>- Pois provou que os átomos além de emitir cores, também tinham a capacidade de absorver, criando as linhas escuras e as linhas coloridas (incluindo UV e IV).</p> <p>- Porque se o elétron absorve o fóton depois ele terá que emití-lo e isto libera pacote de luz.</p>
4	<p>- Pois alguns espectros apresentam partes que não podem ser vistas, tornando discretos.</p> <p>- Porque apresenta linhas escuras que aparecem pois certos elementos químicos não são absorvidos.</p>

A seguir apresenta-se a análise das questões 9 e 11. No corpo da avaliação, estas questões foram precedidas por um pequeno texto introdutório, além da imagem dos níveis de energia correspondente as 6 primeiras órbitas. Também foi fornecida uma tabela contendo a energia dos fótons referentes a várias transições possíveis entre os 6 primeiros níveis de energia.

Texto introdutório para as questões 9 e 11- O modelo atômico de Bohr para o átomo de hidrogênio permitiu calcular os níveis de energia correspondente as órbitas que poderiam ser ocupadas pelo elétron. A tabela abaixo (

Figura 23) contém as linhas espectrais do átomo de hidrogênio, referentes as possíveis transições entre os primeiros 6 níveis de energia, bem como a energia dos fótons associados as estas transições, dada pela relação $E = h \cdot f$, onde h é a constante de Plank e f é a frequência da luz característica do fóton.

A figura seguinte (Figura 24) corresponde a uma representação (meramente ilustrativa) dos níveis de energia para o átomo de hidrogênio, desde a órbita do estado fundamental ($N=1$) até a órbita que corresponde ao nível 6 de energia. Cada um dos fótons da tabela

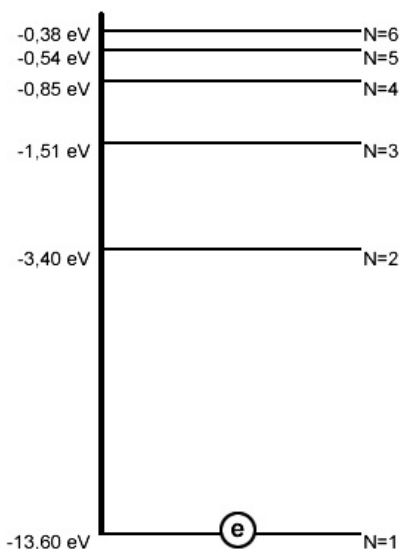
corresponde a alguma das transições possíveis entre os níveis 1 a 6 do diagrama abaixo:

Figura 23 - Linhas espectrais para o átomo de hidrogênio.

Faixa do espectro (fóton)	Cor	Energia do fóton
Infravermelho	---	0,66 eV
Infravermelho	---	0,97 eV
Infravermelho	---	1,13 eV
Visível	Vermelho	1,89 eV
Visível	Ciano	2,55 eV
Visível	Azul	2,86 eV
Visível	Anil	3,02 eV
Ultravioleta	---	10,20 eV
Ultravioleta	---	12,09 eV
Ultravioleta	---	12,75 eV
Ultravioleta	---	13,06 eV
Ultravioleta	---	13,22 eV

Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 24 - Níveis de energia para o átomo de hidrogênio.



Fonte: elaborado pelo autor.

Questão 9. Considere que o elétron esteja na órbita correspondente ao nível 4 de energia. Estando neste nível, relacione quais são as possíveis transições que o elétron pode sofrer ao decair até atingir o estado fundamental.

Espera-se que os estudantes sejam capazes de listar as transições diretas para o estado fundamental, bem como as transições entre os níveis de energia intermediários: $4 \rightarrow 3$, $3 \rightarrow 2$, $3 \rightarrow 1$, $4 \rightarrow 2$, $2 \rightarrow 1$ e $4 \rightarrow 1$.

As respostas foram caracterizadas em 6 grupos. O grupo 1 corresponde a quantidade de estudantes que mencionou elementos considerados relevantes em suas respostas. O grupo 2 corresponde a quantidade de estudantes que identificou 4 ou 5 das 6 transições possíveis. O grupo 3 corresponde a quantidade de estudantes que identificou somente e especificamente as transições $4 \rightarrow 3$, $4 \rightarrow 2$, $4 \rightarrow 1$. O grupo 4 corresponde a quantidade de estudantes que listaram uma ou mais transições do nível 4 para um nível superior (5 ou 6). O grupo 5 corresponde a quantidade de estudantes que formulou alguma resposta mas não mencionou nenhum elemento considerado relevante. Por fim, o grupo 6, que corresponde a quantidade de estudantes que não formulou

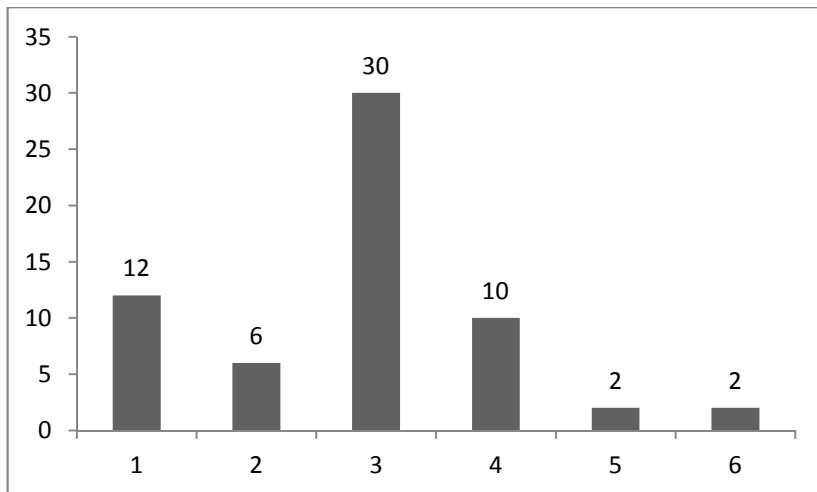
nenhuma resposta. A quantidade de alunos em cada um dos grupos está indicada no Quadro 10.

A análise dos acertos desta questão parece indicar que os estudantes não compreenderam adequadamente o processo de transição do elétron entre níveis de maior energia para níveis de menor energia. Cerca de 19 % dos estudantes foi capaz de responder completamente a questão. O grupo 2 (cerca de 10 %) foi capaz de identificar 4 ou 5 das 6 transições possíveis. Isto sugere que estes estudantes reconhecem que no referido processo podem ocorrer tanto transições entre níveis intermediários ao estado fundamental, bem como transições diretas de um nível para o estado fundamental, ocorrendo, contudo, certo descuido em identificar todas as possíveis transições.

Por outro lado, é notório o grupo de estudantes (cerca de 48 %, grupo 3) que listaram apenas as transições $4 \rightarrow 3$, $4 \rightarrow 2$, $4 \rightarrow 1$. Este elevado percentual sugere que os processos de transição entre os níveis deve ser melhor explorado e enfatizado durante as aulas referentes a essa parte da sequência didática. Por outro lado, a estrutura de respostas demanda maior estudo, inclusive com a audição dos estudantes, visto que durante a sequência didática foram realizadas atividades objetivamente direcionadas para este tópico (a análise das transcrições das aulas não foi utilizada neste trabalho).

Uma pequena quantidade de estudantes (cerca 16 %, grupo 4) parece não ter compreendido totalmente a questão, uma vez que envolveu transições do nível 4 para os níveis superiores, 5 e/ou 6. O grupo 5 corresponde a quantidade de estudantes que formulou alguma resposta mas não mencionou nenhum elemento considerado relevante. Por fim, o grupo 6, que corresponde a quantidade de estudantes que não formulou nenhuma resposta.

Quadro 10 - Caracterização das respostas por grupo para a questão 9.
Quantidade de estudantes por grupo de resposta.



É interessante mencionar os resultados obtidos por IVANJEK *et al* (2015a), os quais, para uma questão de composição similar e submetida a estudantes de Física em nível superior, foi obtido um percentual de 55 % de acerto. Deve-se, contudo, considerar que no trabalho desenvolvido por IVANJEK *et al* (2015a) a questão proposta aos estudantes fornecia apenas 4 níveis de energia. Neste caso, portanto, não ocorre a possibilidade de haverem transições para estados de energia acima do nível 4. No contexto aqui considerado, os grupos 1 e 2 correspondem a um percentual de 29 % de estudantes que foram capazes de assimilar total ou parcialmente os conhecimentos envolvidos para responder satisfatoriamente a questão. Além disso, o grupo 3 (cerca de 48 %) foi capaz de identificar 3 das 6 transições possíveis. Longe que pretender realizar uma comparação direta com os resultados de IVANJEK *et al* (2015a), ao contrário, busca-se apenas sinalizar que os resultados aqui apresentados sugerem que estes conceitos, embora de difícil assimilação, podem sim, ser ministrados para estudantes do ensino médio.

Questão 11 - A figura abaixo (Figura 25) representa o espectro de emissão do átomo de hidrogênio na faixa do visível. As linhas coloridas correspondem a série de Balmer, assim denominada em homenagem ao Físico suíço Johann Jakob Balmer. A série de Balmer corresponde a todas as possíveis transições do elétron dos níveis 3, 4, 5 ou 6 para o nível 2.

Verifique na tabela a energia dos fótons correspondentes a cada uma das cores. A seguir identifique entre quais níveis de energia o elétron deve "saltar" para emitir um fóton correspondente a cada uma das cores do espectro. Registre a sua resposta preenchendo a tabela abaixo em **ordem crescente** de frequência. Descreva, logo abaixo, como você foi capaz de identificar que a frequência de uma cor é maior que a das outras:

Figura 25 - Espectro de emissão para o átomo de hidrogênio na faixa do visível.



Fonte: elaborado pelo autor.

<i>Faixa do espectro (cor)</i>	<i>Transição</i>

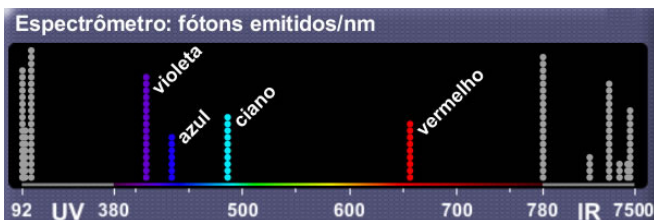
Espera-se que os estudantes realizem o preenchimento do quadro como indicado abaixo, correlacionando cada uma das cores com a respectiva transição, além de justificarem a ordem das cores, mencionado explicitamente a relação de proporção direta entre a energia dos fótons e a frequência associado aos mesmos.

Faixa do espectro (cor)	Transição
Vermelho	3 → 2
Ciano	4 → 2
Azul	5 → 2
Anil	6 → 2

As respostas foram caracterizadas em 6 grupos, identificados de 1 a 6. O grupo 1 corresponde a quantidade de estudantes que mencionou elementos considerados relevantes em suas respostas, ordenando corretamente os fótons em ordem crescente de energias, correlacionando

corretamente a ordem das cores com a frequência associada aos fótons de cada cor. O grupo 2 corresponde a quantidade de estudantes que ordenou corretamente em ordem crescente de energia mas não foram capazes de justificar adequadamente o ordenamento. O grupo 3 corresponde a quantidade de estudantes que preencheu a tabela em ordem inversa de energia, ou seja, em ordem decrescente de frequências. Nestes casos, algumas justificativas mostraram-se coerentes e outras não. O grupo 4 corresponde a quantidade de estudantes que preencheu a tabela considerando um critério bastante peculiar, qual foi o de considerar a altura das faixas de cada cor, incluindo em sua avaliação, a extensão (linha preta) que liga cada faixa ao nome da cor na Figura 25. Este equívoco parece estar relacionado como o uso da simulação na resolução da questão 8 do roteiro de atividades utilizado pelos estudantes na aula 13. Nesta questão perguntou-se qual seria o significado da altura de cada coluna do espectro, conforme ilustrado na Figura 26.

Figura 26 - Imagem da tela da simulação Phet Colorado para o átomo de hidrogênio ilustrando as linhas espectrais de emissão.



Fonte: elaborado pelo autor a partir da imagem da tela do computador onde a simulação estava em uso.

Nesta questão os estudantes foram instruídos a interpretar a "pilha" de cada faixa do espectro como sendo a quantidade de fótons emitidos. Duas observações foram enfatizadas. Primeiramente, que a altura da pilha indicava a quantidade de fótons emitidos e este aspecto indicaria a intensidade com que cada faixa seria detectada. O segundo ponto enfatizado foi o de que pela quantidade de fótons "empilhados" em cada faixa do espectro indicaria a "frequência" com a qual aquela transição ocorria. É muito importante esclarecer que aqui o termo "frequência" foi empregado no contexto estatístico, não tendo nenhuma relação com a frequência associada aos fótons nas faixas do espectro.

Contudo, o uso do termo "frequência" com o significado estatístico parece não ter sido devidamente destacado pelo professor, causando assim certa confusão em alguns estudantes.

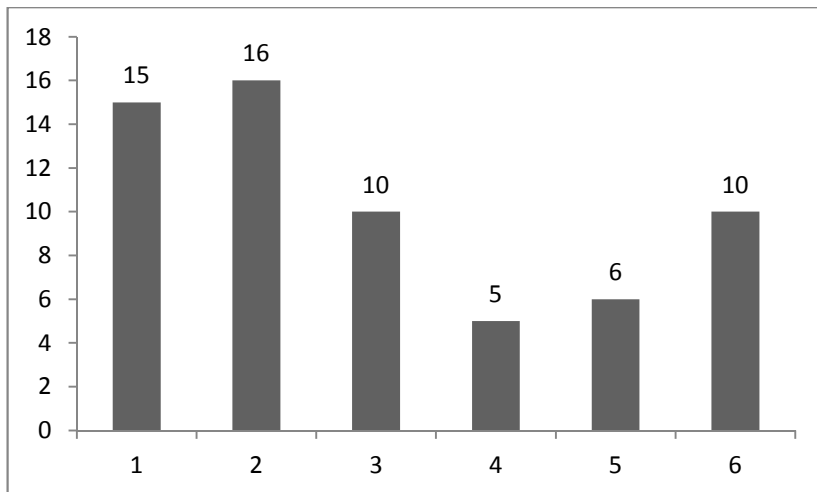
Para responder corretamente a esta questão os estudantes deveriam ser capazes de associar cada uma das cores do espectro apresentado com uma das transições eletrônicas dos estados 3, 4, 5 ou 6 para o estado 2, através do preenchimento da tabela associada a esta questão. Esta associação envolveu a articulação das informações das tabelas fornecidas no texto introdutório para esta questão. A tabela contendo as energias das linhas espectrais do átomo de hidrogênio (

Figura 23) permitiu obter a energia dos fótons associados a cada uma das cores do espectro visível. De posse desta informação os estudantes deveriam utilizar o diagrama com a representação dos níveis de energia (Figura 24) para identificar as transições associadas a emissão de cada um dos fótons. Além disso, também deveriam identificar a relação de proporção direta entre a energia a frequência de um fóton pela relação de energia, $E = h \cdot f$.

O grupo 5 corresponde a quantidade de estudantes que preencheu parcialmente a tabela e/ou formulou alguma resposta, mas não mencionou nenhum elemento considerado relevante. Por fim, o grupo 6, que corresponde a quantidade de estudantes que não formulou nenhuma resposta. A quantidade de alunos em cada um dos grupos está indicada no Quadro 11.

O grupo 1 (cerca 24 %) foi capaz de ordenar corretamente os fótons de luz correspondente as cores do espectro, bem como justificar corretamente, explicitamente a relação entre a energia e a frequência dos fótons. O grupo 2 (cerca de 26 %) ordenou e identificou corretamente as transições, porém a justificativa se restringiu a relacionar tal ordenamento com a energia de cada fóton, sem mencionar explicitamente a frequência em suas justificativas. Dessa maneira, não foi possível identificar se estes estudantes foram capazes de relacionar a energia e com a frequência dos fótons emitidos através da relação $E = h \cdot f$.

Quadro 11 - Caracterização das respostas por grupo para a questão 11.
Quantidade de estudantes por grupo de resposta.



O grupo 3 (cerca de 16 %) preencheu a tabela exatamente em ordem decrescente de frequências. Além disso, as justificativas apresentadas mostraram pouca ou nenhuma conexão com a ordem por eles proposta no preenchimento da tabela. Uma pequena quantidade de estudantes (grupo 4, cerca de 7 %) parece não ter compreendido a questão, pois não ficou evidente nenhum critério por eles empregado para o ordenamento dado por eles no preenchimento da tabela. Decorrente deste fato, inevitavelmente as justificativas dadas também não apresentaram conexão com o preenchimento da tabela. Cerca de 8% dos estudantes (grupo 5) não foi capaz de relacionar nenhuma informação relevante em suas justificativas, bem como não foi capaz de relacionar cada uma das linhas do espectro com alguma transição. Cerca de 16% dos estudantes (grupo 6) deixou a questão em branco.

A quantidade de estudantes nos grupos 2 e 3 parece indicar que a relação entre energia e frequência para os fótons necessita ser melhor enfatizada pela sequência didática. De fato, há apenas um problema proposto no material de apoio, junto a aula 13, que envolve explicitamente o uso da equação $E = h \cdot f$. Uma possibilidade pode ser o emprego desta equação para calcular algumas frequências, por exemplo para os fótons envolvidos com as transições das séries de Paschen ou Lyman. O Quadro 12 ilustra algumas das respostas dadas pelos estudantes, em sua forma original.

Quadro 12- Exemplos de respostas dadas pelos estudantes na questão 11.

Grupo	Respostas
1	<p>- <i>Pode-se constatar isso pela maior diferença de eV entre os níveis. Assim, a transição $6 \rightarrow 2$ envolverá mais energia e terá uma frequência maior do que a $3 \rightarrow 2$.</i></p> <p>- <i>Quanto mais energético, a frequência é mais alta.</i></p>
2	<p>- <i>Pois libera mais energia.</i></p> <p>- <i>É possível saber por meio da energia emitida em cada transição.</i></p>
3	<p>- <i>Pela energia associada ao fóton.</i></p> <p>- <i>Pois neste caso a luz foi tomado como onda, tendo assim, comprimento e frequência, e a diferença de frequência resulta em cores diferentes.</i></p>
4	<p>- <i>Através da altura da pilha, que é a intensidade ou brilho.</i></p> <p>- <i>O azul tem menos fótons que os outros e o ciano tem mais fótons.</i></p>
5	<p>- <i>Através da relação matemática proposta por Balmer.</i></p> <p>- <i>Fui capaz de identificar a frequência de cor é maior que outra devido ao tamanho de sua reta (altura).</i></p>

Outro aspecto chamou a atenção, sendo percebido nos grupos 2, 3, 4 e 5. Alguns estudantes parecem não compreender a diferença entre transições do tipo $3 \rightarrow 2$ e $2 \rightarrow 3$, ou seja, parecem não ser capazes de diferenciar a notação que representa os processos de emissão e absorção, visto que no preenchimento da tabela, foi por vezes detectado que faziam referência as transições do nível 2 para os outros níveis superiores, as quais fazem referência ao espectro de absorção. Assim, embora o uso desta notação tenha sido empregado nas aulas referentes a esta parte do conteúdo, parece ser necessário que este aspecto deva ser enfatizado, ou seja, deve-se evidenciar a notação empregada para diferenciar os processos de emissão e absorção.

6 CONCLUSÃO

O principal objetivo deste trabalho foi a construção e a apresentação de uma primeira análise da aplicação de uma sequência didática sobre modelos atômicos a partir de espectros de elementos químicos. O ponto de partida foi a questão "*como sabemos do que o Sol é feito se o homem nunca foi até lá?*". A análise realizada no capítulo 5 indica que a proposta é viável. Contudo, há que se considerar uma série de fatores, os quais são de grande relevância.

O primeiro ponto que merece atenção diz respeito a abordagem didática e metodológica. Deve-se notar que tópicos de Física Moderna podem ser encontrados em diversos livros didáticos. Contudo, a abordagem sugerida nestes livros, por vezes não incorpora elementos que pesquisadores vem apontando como importantes, tais como o contexto histórico e as atividades experimentais. Assim, quando professores buscam iniciar o ensino destes tópicos deparam-se com a possibilidade de produzirem o próprio material. Neste trabalho, ficou bastante evidente que esta tarefa não é simples e impõem algumas mudanças na forma como se encara a atividade docente. É preciso assumir uma postura mais ativa e menos coadjuvante, no sentido de que é necessário ao docente aprofundar-se nestes tópicos, que por vezes fogem a uma forma de apresentação mais tradicional. Dito de outra forma, é necessário que haja empenho em estudar mais a fundo a Física Moderna, para que seja possível lançar sobre ela um olhar com maior propriedade. Inevitavelmente, o estudo destes tópicos podem causar certa sensação de insegurança, e diante deste sentimento, é razoável supor que o mais cômodo à fazer é evitar o problema, à enfrentá-lo.

Por outro lado, diante das inúmeras possibilidades de acesso à informação hoje disponíveis, atualmente a pesquisa no ensino de Física vem propiciando a elaboração de materiais didáticos diferenciados para o ensino da Física Moderna, sendo que estes encontram-se já bastante presentes em diversas revistas sobre ensino de Física e Ciências. Assim, parece bastante evidente que o professor necessita se engajar na pesquisa de seu campo de atividade, não necessariamente protagonizando a pesquisa, mas ao menos, tomando conhecimento da mesma. Este trabalho mostrou que isto é possível, mas requer, como já mencionado, uma mudança de postura frente à atividade docente.

Outro desafio enfrentado ao longo deste trabalho foi encontrar alternativas metodológicas para a abordagem dos aspectos históricos envolvidos com os conceitos abordados. A necessidade de discutir tais aspectos históricos levou a confecção de textos, que por sua vez

demandou imensa atividade de leitura. Inevitavelmente, não foi possível encontrar um material que se encaixasse prontamente dentro da proposta didática pretendida. Aliás, deve-se mencionar que a busca por materiais relacionados a história da ciência, assim como ocorre para os conteúdos de Física Moderna, exigem cuidados, uma vez que não são facilmente encontrados em livros didáticos. Ao contrário, deve-se buscar textos elaborados por pesquisadores da referida área. Dessa forma, foi necessário realizar pesquisas, recortes e adaptações, o que demandou uma dose considerável de tempo e esforço. Conjuntamente, foi necessário explorar novas propostas avaliativas capazes de se ajustarem a uma abordagem mais textual dos conteúdos tratados. Este aspecto afetou diretamente o modo como os estudantes interagiram com os novos conceitos, visto que também para eles, tal metodologia de avaliação diferenciou-se dos métodos mais tradicionais e isto exigiu dos mesmos habilidades pouco usuais para a disciplina de Física, tais como a discussão de ideias e a composição de respostas mais dissertativas em detrimento dos problemas matemáticos, visto que, existe, por parte dos estudantes, uma pré-concepção do que significa "estudar" e "aprender" Física.

O emprego de uma atividade experimental como recurso metodológico também contribuiu de maneira significativa para os resultados obtidos com o emprego da sequência didática proposta. De fato, causou nos estudantes notório deslumbramento frente a contemplação dos espectros de luz, contínuo e discreto, de tal maneira que foi capaz de cativar e despertar maior interesse pelas aulas de Física, bem como despertar um sentimento de participação mais ativa nos processos de seu próprio aprendizado. Além disso, a elaboração dos dispositivos envolvidos a partir de materiais de baixo custo parece ter colocado a Física Moderna mais perto da realidade dos estudantes, mostrando que esta Física existe não apenas nos grandes laboratórios, acessível apenas aos cientistas. Ao contrário, a Física Moderna está presente no cotidiano!

Por outro lado, o emprego da atividade experimental exigiu também grandes esforços, não somente pela elaboração dos dispositivos empregados, mas também pela necessidade de elaborar o roteiro experimental e as atividades correlatas. O experimento realizado foi objeto das 3 aulas seguintes à realização da atividade em sala de aula, ou seja, a referida atividade mostrou-se um ponto crucial da sequência didática, sendo por vezes retomada nas discussões desencadeadas em varias aulas posteriores à referida atividade experimental. Deve-se dizer também que pelo seu emprego, a atividade experimental contribuiu para

consolidar a apropriação de alguns conceitos por parte dos estudantes, sendo por eles evocados na construção de algumas respostas, as quais foram registradas tanto nas atividades quanto nas avaliações realizadas. Isto parece indicar que o uso de atividades experimentais constitui um elemento bastante favorável, tanto para o aprendizado quanto para despertar o interesse dos estudantes. Contudo, é necessário que o professor se empenhe na elaboração de atividades experimentais para que se diferenciem do formato mais tradicional, buscando para tanto, subsídios teóricos, os quais são apontados por diversos pesquisadores da área de ensino.

O uso de simulações computacionais também mostrou-se um importante recurso metodológico, mas neste caso há várias considerações a serem ressaltadas. Primeiramente deve-se dizer que de fato este recurso permite aos estudantes melhorar sua percepção de aspectos mais abstratos, os quais seriam bastante desafiadores sem este recurso, tal qual foi o estudo dos modelos atômicos. Deve-se dizer que a simulação contribuiu de maneira significativa para que os estudantes pudessem "ver" os processos de absorção e emissão de fótons pelo elétron no átomo de hidrogênio, além de perceberem sua relação com a formação das linhas espectrais. Além disso, em vários pontos da sequência didática, as simulações figuraram como um recurso metodológico complementar a outros recursos, tais como o uso de imagens e vídeos, os quais também mostraram-se importantes para atingir os objetivos pretendidos nas respectivas aulas nas quais foram utilizados. Deve-se mencionar que também para estes recursos é necessário critérios para seleção de quais imagens e vídeos devam ser utilizados.

Contudo, deve-se ressaltar que o ponto de partida para o uso das simulações é a disponibilidade técnica nas salas de aula. Sem os recursos técnicos necessários o emprego das simulações torna-se inviável. A escola onde foi feita a intervenção didática dispunha de projetor, computador e tela de projeção, disponíveis em cada sala de aula. Mesmo de posse de todo este aparato, não foi possível utilizar-se da simulação do átomo de hidrogênio como proposto originalmente pela sequência didática, na qual estava previsto a manipulação pelos estudantes no laboratório de informática. Ocorre que tal espaço não estava apto a realização da atividade devido a falta de equipamentos, não sendo possível atender a todos os estudantes. Além disso, é necessário que os estudantes sejam preparados para manipular a simulação, pois tal recurso exige um mínimo de conhecimento acerca de suas funcionalidades. Ficou bastante claro que os estudantes precisam

ser iniciados no uso deste recurso para então poderem explorar mais amplamente as suas potencialidades. Este aspecto exigiria a inclusão de pelo menos mais uma aula na sequência didática.

O uso das simulações mostrou-se delicado também por outras razões. Seu emprego exige do professor grande preparo e domínio da ferramenta. Além disso, por vezes ela pode reforçar visões distorcidas acerca do que se está simulando. No caso do átomo de hidrogênio, a qual foi a simulação mais enfaticamente utilizada, diversos aspectos tiveram que ser ressaltados pelo professor durante o emprego do referido recurso. A questão da escala de tamanhos envolvidos (as órbitas, o elétron, o núcleo), a quantidade de fótons emitidos, a velocidade dos processos de emissão e absorção, a velocidade dos fótons incidentes e emitidos, a representação visual dos fótons, dos elétrons e do próprio átomo. Outro desafio inerente ao uso das simulações é o desenvolvimento de roteiros e atividades a serem utilizados em conjunto com estes recursos, o que reforça mais uma vez a afirmação de que é necessário grande engajamento do professor.

Cabe ainda ressaltar que a sequência didática proposta utilizou-se do emprego de metodologias e processos avaliativos diversificados, tais como o uso de textos, atividade experimental, simulações, avaliações com consulta e atividades em grupos. Entendemos que esta pluralidade, tanto metodológica quanto avaliativa, deve ser igualmente pensada como característica inerente à uma proposta didática diferenciada. Afinal, propor formas diferentes para se ensinar implica em formas diferentes de se avaliar o que esta sendo ensinado.

A análise da sequência didática mostrou que os conceitos acerca dos vários tópicos tratados, como a radiação de corpo negro, o efeito fotoelétrico, os modelos atômicos de J. J Thomson e E. Rutherford e o próprio átomo de Bohr foram satisfatoriamente assimilados. Julgamos que o formato proposto bem como as metodologias empregadas favoreceram tais resultados. Os dados apontam que as respostas formuladas pelos estudantes indicam um bom nível de compreensão dos tópicos abordados, inclusive quando confrontados com trabalhos mais pormenorizados, como os de IVANJEK *et al* (2015a e 2015b), aplicados a estudantes de Física no ensino superior.

A análise das questões 5 e 6, sobre a quantização da energia e quantum de luz, respectivamente, indicou que os conceitos ali envolvidos foram satisfatoriamente assimilados pelos estudantes. Os grupos 1 e 2 das questões 5 e 6 correspondem, respectivamente, a 66 % e a 62 % dos estudantes que foram capazes de elaborar respostas relevantes. Para a questão 7, de difícil articulação e fortemente

vinculada aos objetivos deste trabalho, foi obtido 40 % de respostas relevantes, correspondentes aos grupos 1 e 2 da referida questão.

As questões relacionadas as transições entre os níveis de energia do átomo de hidrogênio também apontaram percentuais bastante contundentes. Na questão 9 os grupos 1 e 2 corresponderam a 29 % das respostas que indicaram satisfatoriamente as transições envolvidas. Ainda nesta questão, o grupo 3, correspondente a 48 % dos estudantes, foi capaz mencionar metade das transições possíveis para o elétron dentro do contexto estabelecido pelo enunciado. Para a questão 11 os grupos 1 e 2 representam 50 % das respostas que apresentaram elementos considerados relevantes. A análise das questões, portanto, indica que a sequência didática cumpriu satisfatoriamente os objetivos pretendidos.

Por fim, assim como toda proposta didática, reconhecemos que igualmente esta necessita de aprimoramentos. Contudo, diante de um quadro mais amplo, no qual as propostas didáticas para uma abordagem da Física Moderna no ensino médio estão surgindo, este trabalho pode ser um ponto de partida, tanto para professores que pretendam trazer novas contribuições para o ensino de Física, quanto para nós, que pretendemos ainda extrair um pouco mais desta singela experiência, a partir de uma análise mais pormenorizada dos demais dados obtidos, em um futuro próximo.

O ensino de Física Moderna no ensino médio, é sim realizável. Porém, mais uma vez enfatizamos a necessidade de que o professor assuma um novo papel, a saber, o de ser protagonista, tanto na produção de novos materiais quanto na proposição de novos métodos didáticos e avaliativos.

RREFERÊNCIAS

BRASIL. Ministério da Educação/ Secretaria da Educação Média e Tecnológica PCN+ Ensino Médio: Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio. Ciências da Natureza, Matemática e Suas Tecnologias, Brasília, 2002.

CORDEIRO, Marinês Domingues; PEDUZZI, Luiz O. Q.. Aspectos da natureza da ciência e do trabalho científico no período inicial de desenvolvimento da radioatividade. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 33, n. 3, p.1-11, out. 2011.

IVANJEK, L. et al. Research as a guide for curriculum development: An exemple from introductory spectroscopy. I. Identifying students difficulties with atomic emisson spectra. **American Journal Physics: Physics Education Research Section**, Melville, v. 83, n. 1, p.85-90, jan. 2015a.

IVANJEK, L. et al. Research as a guide for curriculum development: An exemple from introductory spectroscopy. I. Addressing student difficulties with atomic emission spectra. **American Journal Physics: Physics Education Research Section**, Melville, v. 83, n. 2, p.171-178, fev. 2015b.

MCKAGAN, S. B.; PERKINS, K. K.; WIEMAN, C. E.. Why we should teach the Bohr model and how to teach it effectively. **Physical Review Special Topics: Physics Education Research**, Washington, v. 4, n. 010103, p.1-10, mar. 2008.

MEDEIROS, Alexandre; MEDEIROS, Cleide Farias de. Possibilidades e limitações das simulações computacionais no ensino da física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 24, n. 2, p.77-86, jun. 2002.

OLIVEIRA, Fabio Ferreira de; VIANNA, Deise Miranda; GERBASSI, Reuber Scofano. Física moderna no ensino médio: o que dizem os professores. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 29, n. 3, p.447-454, jul. 2007.

PEDUZZI, Luiz O. Q.; BASSO, Andreza C.. Para o ensino do átomo de Bohr no nível médio. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 27, n. 4, p.545-557, out. 2005.

PEREIRA, Alexsandro P.; OSTERMANN, Fernanda. Sobre o ensino de física moderna e contemporânea: uma revisão da produção acadêmica recente. **Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v. 14, n. 3, p.393-420, dez. 2009.

SILVA, Herbert Roberto Araujo; MORAES, Adreia Guerra. O estudo da espectroscopia no ensino médio através de uma abordagem histórico-filosófica: possibilidade de interseção entre as disciplinas de Química e Física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 32, n. 2, p.378-406, ago. 2015.

TERRAZZAN, Eduardo Adolfo. A inserção da física moderna e contemporânea no ensino de física da escola do 2º grau. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 9, n. 3, p.209-214, dez. 1992.

WIEMAN, Carl E.; PERKINS, Katherine K.; ADAMS, Wendy K.. Oersted Medal Lecture 2007: Interactive simulations for teaching physics: Wath works, what doesn't, and why. **American Journal Physics: Awards**, Melville, v. 76, n. 4, p.393-399, abr. 2008.

ANEXO A – Sequência didática e plano de aulas

Quadro 13 - Sequência didática.

Aula 1 O que são as estrelas? Por que nos importamos com elas?	
Parte 1 Problematização: a importância de conhecer a composição das estrelas.	15 min
Parte 2 Apresentação da questão central: Do que é feito o Sol?	15 min
Parte 3 Discussão: por onde começar as buscas?	20 min
Aula 2 Como sabemos do que o Sol é feito se o homem nunca foi até lá?	
Parte 1 Discussão inicial sobre o resultado das pesquisas realizadas pelos estudantes.	20 min
Parte 2 Problematização: como é possível analisar a luz oriunda do Sol?	30 min
Aula 3 O código das cores.	
Parte 1 Apresentação da atividade.	10 min
Parte 2 Leitura e análise de texto.	40 min
Aula 4 Afinal, o que é a espectroscopia?	
Parte 1 Discussão inicial sobre a atividade realizada na aula anterior.	10 min
Parte 2	20 min

Caracterização das contribuições de Isaac Newton, Willian Wollaston e Joseph Fraunhofer.	
Parte 3 Caracterização das contribuições de Robert Wilhelm Bunsen e Gustav Robert Kirchhoff para a espectroscopia.	20 min
Aula 5 Qual é a cor de uma lâmpada?	
Parte 1 Apresentação da atividade experimental.	10 min
Parte 2 Realização da atividade experimental - parte 1.	40 min
Aula 6 Analisando o código das cores.	
Parte 1 Organização dos grupos.	10 min
Parte 2 Realização da atividade experimental - parte 2.	40 min
Aula 7 Levantando hipóteses sobre a emissão de luz.	
Parte 1 Discussão sobre as questões da atividade experimental.	25 min
Parte 2 Levantando hipóteses sobre a emissão de luz.	25 min
Aula 8 A natureza íntima da matéria se revela.	
Parte 1 Apresentação da atividade de leitura.	10 min
Parte 2 Leitura e análise de texto.	40 min

Aula 9 Levantando hipóteses sobre a natureza íntima da matéria.	
Parte 1 Discussão inicial sobre a atividade realizada na aula anterior.	20 min
Parte 2 Problematização e discussão do experimento de raios catódicos.	15 min
Parte 3 Problematização e discussão do experimento do Geiger-Marsden	15 min
Aula 10 Max Planck e o nascimento da mecânica quântica.	
Parte 1 Apresentação do problema do corpo negro.	15 min
Parte 2 Apresentação da interpretação de Max Planck e a hipótese da quantização da energia.	15 min
Parte 3 Simulação da curva de emissão de um corpo negro.	12 min
Parte 4 Apresentação de vídeo sobre emissão de luz por corpos aquecidos.	8 min
Aula 11 Albert Einstein e os quanta de luz.	
Parte 1 Apresentação do problema do efeito fotoelétrico.	20 min
Parte 2 Apresentação da interpretação de Albert Einstein e a hipótese do quantum de luz.	15 min
Parte 3 Simulação do efeito fotoelétrico.	8 min

Parte 4 Explicação sobre a atividade de leitura.	7 min
Aula 12 A quantização da energia e o modelo atômico de Bohr.	
Parte 1 Revisão dos modelos de J. J. Thomson e E. Rutherford, a quantização da energia de M. Planck e os quanta de luz de A. Einstein e o espectro do átomo de hidrogênio.	20 min
Parte 1 Caracterização do modelo atômico de Bohr.	20 min
Parte 3 Simulação da emissão e absorção de radiação no modelo atômico de Bohr.	10 min
Aula 13 Os saltos quânticos no átomo de hidrogênio.	
Parte 1 Organização dos grupos.	7 min
Parte 2 Realização da atividade prática com a simulação Phet Colorado - parte 1.	15 min
Parte 3 Realização da atividade prática com a simulação Phet Colorado - parte 2.	28 min
Aula 14 - Sugerida O apagar das luzes.	
Parte 1 Exibição de filme: série Cosmos, episódio 5, O Código das Cores.	50 min

Plano de aulas

Aula 1

Tema da aula

O que são as estrelas? Por que nos importamos com elas?

Objetivos específicos

- Caracterizar a composição das estrelas como conhecimento decisivo e indispensável para formulação de teorias cosmológicas e da constituição dos elementos químicos na tabela periódica;
- Discutir a importância do Sol como fonte de energia para a Terra;
- Caracterizar a energia recebida pela Terra oriunda do Sol;

Conteúdo Físico

Conceitos básicos sobre produção e emissão de radiação pelas estrelas.

Recursos instrucionais

Quadro, giz, vídeo 01 (série ABC da Astronomia ep. 6 - Estrelas, disponível em: <<http://www.youtube.com/watch?v=oAVsZrKt4Tw>>).

Metodologia de ensino

Parte 1 (10 min) - Para introduzir a temática das estrelas, exibir o vídeo ABC da Astronomia (ep.6) - Estrelas, que trata brevemente do ciclo de vida das estrelas; a seguir, discutir com os estudantes acerca da importância do conhecimento sobre a composição das estrelas e como ele pode contribuir para o conhecimento sobre os processos que ocorrem no interior das estrelas; deve-se enfatizar que a partir da composição das estrelas é possível inferir sobre o ciclo de vida destes astros e que estes processos são importantes na formulação de teorias sobre a origem do universo; esta parte da aula deve ser bastante dialógica, pois é importante que o aluno participe ativamente;

Parte 2 (15 min) - É importante que os estudantes tenham claramente a ideia do papel do Sol e sua influência sobre nosso planeta; isto por si só já constitui justificativa suficiente para elegê-lo como objeto de análise; as discussões devem ser conduzidas de modo que fique evidente para os estudantes a escolha do Sol como a estrela a ser analisada, dada a sua onipresença na vida do homem; uma vez estabelecido este consenso,

deve-se provocar os estudantes acerca de como seria possível descobrir a composição do Sol; questionar do que dispomos aqui na Terra que tenha vindo do Sol é uma pergunta chave para que os estudantes concluam que a única "coisa" que podemos analisar é a luz que recebemos; contudo, deve-se provocar e instigar os estudantes com perguntas menos diretas, de maneira que eles possam deduzir sozinhos esta passagem; não ocorrendo desta forma, deve-se então lançar a referida questão de maneira a induzir o rumo da discussão;

Parte 3 (20 min) - Neste momento da aula busca-se acordar com os estudantes as formas pelas quais é possível obter informações sobre a composição das estrelas; possivelmente a primeira sugestão seja o uso da internet; será importante estabelecer com os estudantes alguns critérios para realização de uma pesquisa preliminar; deve ficar claro que objetiva-se apenas encontrar a trilha inicial; deve-se igualmente instruir os estudantes a evitarem vasculhar a internet, de maneira a trazerem as primeiras opções fornecidas pelos motores de busca; enfatizar que as buscas podem ser feitas em jornais e revistas online que tratem de assuntos científicos; atualmente, blogs direcionados para assuntos científicos cumprem muito bem a função da divulgação científica e este pode ser uma boa referência para os estudantes nesta atividade; pode ser bastante conveniente fornecer algumas fontes de consulta, dando assim certo direcionamento; outra opção pode ser a divisão dos estudantes em grupos, fornecendo a cada grupo fontes de consulta diferenciadas; outro ponto bastante importante é eleger que palavras chaves serão utilizadas nos motores de busca, pois dessa forma já é possível dar um direcionamento mínimo;

Aula 2

Tema da aula

Como sabemos do que o Sol é feito se o homem nunca foi até lá?

Objetivos específicos

- Problematizar a obtenção de informações a partir da análise da luz oriunda do Sol;
- Discutir qualitativamente como o espectrômetro permite analisar a luz a partir do espectro das cores;
- Estabelecer a espectrometria como atividade científica dentro de um determinado contexto histórico;

Conteúdo Físico

Refração, dispersão e difração da luz.

Recursos instrucionais

Quadro e giz.

Metodologia de ensino

Parte 1 (20 min) - Neste momento os estudantes deverão apresentar o resultado de suas pesquisas; não necessita ser algo formalmente elaborado, embora seja opcional a entrega de algum material escrito; contudo é importante que os estudantes exponham para o grupo o que encontraram; o professor deverá estar preparado para os possíveis resultados que os estudantes irão trazer; isto pode ser antecipado simulando o uso das palavras chaves (acordadas na aula anterior) nos motores de busca mais comumente utilizados; o professor deve incentivar que os estudantes descrevam suas buscas de maneira que os pontos chaves, caso sejam levantados durante as explicações, possam ser elencados no quadro; é fundamental que apareça alguma atividade ligada a espectroscopia, pois assim será possível dar encaminhamento sem a necessidade de incluí-la "artificialmente"; também é possível (na verdade desejável) que os estudantes apontem nomes de cientistas que desenvolveram atividades com a espectrometria;

Parte 2 (30 min) - É provável que os estudantes se deparem com informações demasiado abrangentes; por certo terão contato com termos como espectrômetro, linhas de emissão e linhas de absorção, entre outros; além disso, entrarão em contato com os nomes dos cientistas mais proeminentes relacionados a espectroscopia; assim, sugere-se uma problematização com dois desdobramentos: 1) histórico, que irá tratar do contexto da descoberta da espectroscopia e 2) físico, que irá tratar dos conceitos a serem apreendidos pelos estudantes; neste momento da aula deverá ficar claro para os estudantes que haverá dois encaminhamentos as serem aprofundados nas aulas posteriores; deve haver amplo debate sobre a atividade da espectroscopia e espera-se que as pesquisas realizadas pelos estudantes permita que alguns detalhes surjam naturalmente durante esta exposição dialogada; o ponto mais importante a ser discutido com os estudantes é sobre que conhecimentos podem ser extraídos a partir das cores do espectro de uma fonte luminosa; de que maneira eles pensam ser possível distinguir a luz

oriunda de diferentes fontes; sugere-se algumas questões chaves: a) será que todas as estrelas emitem a mesma luz? b) se as estrelas emitem luzes diferentes, qual seria esta diferença? c) o que o espectroscópio faz com a luz? por que ele precisa ser utilizado?; espera-se que muitas das questões sejam despertadas pela pesquisa dos estudantes e expostas das discussões referentes a esta parte da aula; caso isto não ocorra, o professor deverá intervir, de maneira a conduzir o andamento das atividades, sugerindo questionamentos que levem os estudantes ao conflito, no sentido de plantar as dúvidas que os forcem a buscarem alternativas que justifiquem o uso do espectroscópio bem como o porquê de se analisar a luz oriunda de fontes distintas; neste momento ainda não é importante buscar a relação entre a composição do espectro com a composição química da estrela; é suficiente que os estudantes se apropriem do fato de que fontes de luz distintas podem produzir espectros de luz diferentes e é justamente esta diferença que indica composições químicas diferentes, mas a maneira como isto vai indicar a composição é algo que será tratado futuramente; outro ponto bastante relevante é elencar que conceitos físicos (ou mesmo fenômenos) são evidenciados pelo uso do espectroscópio; deve-se ficar atento se os estudantes são capazes de reconhecer a separação das cores como resultado de algum fenômeno relacionado ao espectroscópio; por fim, deve-se dar atenção aos principais cientistas relacionados com a espectroscopia; verificar se os estudantes se depararam com estes nomes em suas pesquisas e caso isto não ocorra o professor deverá relacioná-los;

Aula 3

Tema da aula

O código das cores.

Objetivos específicos

- Evidenciar os principais cientistas que contribuíram com o estabelecimento da espectroscopia como atividade de investigação científica;
- Evidenciar os espectros de emissão e absorção;

Conteúdo Físico

História da espectroscopia, linhas espectrais de absorção e emissão e leis da espectroscopia de Kirchhoff.

Recursos instrucionais

Quadro, giz, Texto 01.

Metodologia de ensino

Parte 1 (10 min) - Distribuir o texto e explicitar aos estudantes que os mesmos deverão organizar-se em grupos de até 5 componentes; o grupos deverão formular cinco perguntas com 5 respostas sobre o texto e deverão formular suas questões de maneira a contemplar as partes do texto que julgarem mais importantes; deve-se enfatizar que os grupos sejam criteriosos na elaboração das perguntas;

Parte 2 (40 min) - Realização da atividade em grupos; é importante que o professor circule entre os grupos para acompanhar e orientar a escolha das questões; deve-se procurar conduzir os estudantes a contemplarem as partes do texto que permitam gerar as discussões que encaminhem os objetivos pretendidos da aula seguinte; para tanto, é indispensável que o professor esteja atento aos objetivos estabelecidos para a aula 4; podem ocorrer situações em que os estudantes formulem boas questões (que evidenciem as passagens importantes do texto) mas que não estejam corretamente respondidas; nestes casos, deve-se permitir que os estudantes sigam com suas respostas, sem intervenções que visem ajustá-las, pois haverá um momento específico para as discussões sobre o texto e estes "erros" podem desencadear boas discussões; o professor deverá recolher a atividade ao término da aula para analisar previamente as questões elaboradas, o que lhe permitirá um melhor encaminhamento das discussões previstas para a aula seguinte;

Material de Apoio

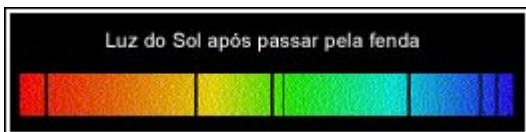
Texto 01 - Breve histórico da espectroscopia

Em 1665 Isaac Newton demonstrou que a luz branca, ao passar por um prisma de vidro se decompõe em diferentes cores, formando um espectro contendo as cores do arco-íris. Este experimento tornou-se bastante conhecido através de obra de Newton intitulada Óptica. Em seu livro, Isaac Newton relatou seus estudos sobre a luz. A figura que segue é uma ilustração de Newton em sua sala escura observando o espectro da luz do Sol produzido por um prisma de vidro.



Fonte: <http://www.alastairleith.co.uk/astro-workshops/spectroscopy/>
Acesso: 26/06/2015

Mais de um século depois, em 1802, Willian Wollaston repetiu o experimento de Newton, mas descobriu que quando a luz do Sol passa por uma fenda muito estreita (da ordem de 0,01 mm) antes de passar pelo prisma, produz uma série de linhas escuras em determinadas partes do espectro colorido.



Fonte: <http://www.apolo11.com/espectro.php>
Acesso: 26/06/2015

O tempo passou e até o ano de 1820 um fabricante de instrumentos ópticos alemão chamado Joseph von Fraunhofer usando inicialmente prismas e depois redes de difração já havia observado mais de 570 linhas escuras em diversas regiões do espectro colorido do Sol. Fraunhofer designou as linhas mais fortes pelas letras do alfabeto, de "A" até "H". A primeira linha "A" representava uma linha escura na faixa do vermelho. Ele mapeou 574 linhas entre a linha "B" (no

vermelho) e a linha "H" (no violeta). Estas linhas receberam a denominação de "linhas de Fraunhofer".

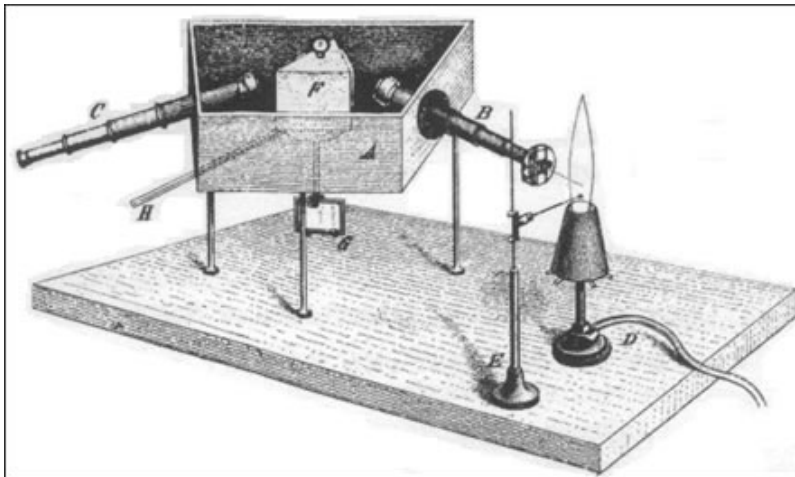


Fonte: Fonte: <http://www.apolo11.com/espectro.php>
Acesso: 23/06/2015

Desde muitos séculos já se sabia que vários materiais também podem emitir luz quando aquecidos. Este é o princípio dos fogos de artifício: para obter luz verde usam-se sais de bário, para obter luz vermelha usam-se sais de estrôncio; para obter luz amarela, usam-se sais de sódio, etc. (pode-se notar a luz amarela que é produzida quando água com sal escorre da panela para a chama em um fogão).

Fraunhofer notou que ao se passar por um prisma a luz emitida por aqueles materiais aquecidos (sais de bário, sais de estrôncio, sais de sódio) o resultado era um espectro discreto (apenas algumas faixas coloridas), e não praticamente contínuo como o espectro solar. Outro aspecto interessante percebido por ele foi que o conjunto de linhas escuras do espectro solar era idêntico ao do espectro produzido pela luz da Lua ou mesmo dos planetas. Contudo, ao apontar seu equipamento ainda rudimentar para outras estrelas observou raias escuras sobre os espectros formados, mas cada estrela apresentava uma distribuição de linhas escuras em posições diferentes das linhas escuras do espectro do Sol. Contudo, o mistério com respeito a formação das linhas escuras ainda permanecia.

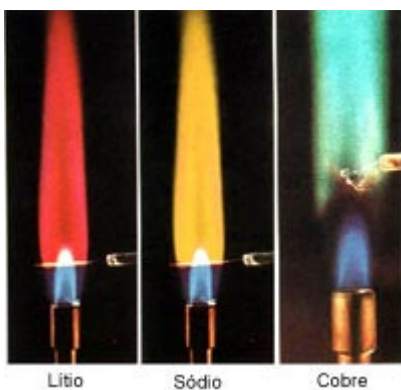
Uma grande contribuição para explicar as linhas de Fraunhofer ocorreu em 1859. A colaboração de dois cientistas da Universidade de Heidelberg, na Alemanha, levou a consequências de enorme alcance para a química e a física. O químico Robert Wilhelm Bunsen associou-se ao físico Gustav Robert Kirchhoff para criarem o espectroscópio, um instrumento simples mas de alcance extraordinário. O uso do espectroscópio associado a queima de substâncias no Bico de Bunsen (queimador de gás comum de laboratório) permitiu aos dois cientistas observarem os espectros de muitas substâncias.



Fonte: <http://www.experimentum.org/blog/?p=544>

Acesso: 24/06/2015

Bunsen estava investigando a possibilidade de analisar sais segundo as cores que eles emitem ao serem queimados. Com este objetivo ele havia aperfeiçoado, nos anos de 1850, o instrumento que hoje é conhecido como Bico de Bunsen. Neste instrumento vaporiza-se algum material que é queimado em uma chama e por conta disso acaba emitindo cores características do material.



Fonte: <http://www.experimentum.org/blog/?p=544>

Acesso: 24/06/2015

Bunsen fazia uso de um *calorímetro* para obter uma medida objetiva das características das cores emitidas. Em 1859 Kirchhoff chamou a atenção de Bunsen para um método de análise mais preciso do que o uso do calorímetro. A ideia de Kirchhoff era analisar o espectro de emissão das substâncias queimadas, sugerindo a Bunsen que a cor da chama produzida pela substância vaporizada no Bico de Bunsen seria melhor observada se fosse passada através de um conjunto de lentes e um prisma. Com esta técnica os dois cientistas vaporizaram diversas substâncias sobre a chama do bico, entre elas sódio, mercúrio e cálcio. Cada elemento que era vaporizado produzia raias (linhas brilhantes) em diferentes posições do espectro: sódio produzia linhas amarelas, o cálcio produzia linhas em diversas posições, com predominância no vermelho, verde e amarelo.

Após muitas observações, Kirchhoff e Bunsen concluíram que cada elemento químico produzia suas próprias linhas, o que significava que, vistos através de um espectroscópio, cada substância tinha uma espécie de código de cores próprio, inconfundível.

Apesar de Bunsen e Kirchhoff terem feito grandes avanços no desenvolvimento do espectroscópio e na observação do espectro de vários elementos, as raias observadas por estes dois cientistas eram linhas brilhantes, ao contrário das linhas observadas por Fraunhofer, que eram linhas escuras. Para explicar a diferença entre as raias brilhantes de alguns elementos e as raias escuras da luz do Sol, Kirchhoff e Bunsen começaram a fazer comparações entre as linhas escuras do espectro do Sol e as linhas brilhantes produzida por diversos elementos. Kirchhoff percebera que as duas linhas amarelas emitidas por chamas contendo Sódio pareciam corresponder as duas linhas escuras, denominadas de linhas "D" por Fraunhofer.

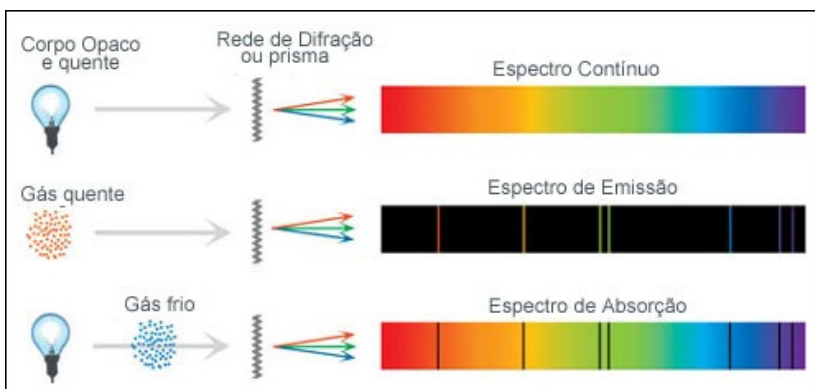
Para comprovar este fato, montaram um aparato experimental de tal forma que a luz oriunda do Sol passasse pela chama produzida pelo Sódio no bico de Bunsen. Como resultado, os cientistas esperavam que as linhas amarelas emitidas pelo Sódio preenchessem as linhas escuras "D" presentes no espectro solar. Surpreendentemente, verificaram que as linhas escuras permaneciam. Este resultado inesperado os levou a substituir a luz solar pela luz produzida por um fio metálico aquecido (incandescente). A luz emitida por sólidos aquecidos produz um espectro contínuo, ou seja, sem nenhuma linha escura. A seguir, fizeram a luz oriunda do sólido incandescente passar pela chama de Sódio e constaram que o espectro passou a ter as mesmas linhas escuras "D" presentes no espectro solar.

Analisando estes resultados Kirchhoff concluiu que o Sódio, assim, como os demais elementos, são capazes não apenas de emitir, mas também de absorver determinadas cores.

Uma vez que o espectro do Sol apresentava linhas escuras, Kirchhoff deduziu que deveria haver vapor de Sódio na atmosfera solar, que estaria absorvendo a luz proveniente da superfície do astro, dando origem as linhas escuras "D".

Os estudos e observações realizados por Kirchhoff o levaram a formular três leis básicas sobre a espectroscopia:

- 1) Um corpo opaco quente, seja sólido, líquido ou gasoso, produz um espectro contínuo.
- 2) Qualquer gás transparente produz um espectro de linhas brilhantes (linhas de emissão), cuja quantidade e posições (cores) dependem dos elementos químicos presentes no gás.
- 3) Se a luz de um corpo opaco (que produz espectro contínuo) passar por um gás com temperatura mais baixa, o gás frio absorve determinadas cores, produzindo linhas escuras (linhas de absorção), cuja quantidade e posições depende dos elementos químicos presentes no gás.



Fonte: <http://www.apolo11.com/espectro.php>

Acesso: 26/06/2015

Com o uso destas técnicas foi possível determinar a presença ou ausência de vários elementos químicos no Sol. Por exemplo, fazendo

incidir a luz solar sobre uma chama de Lítio não observa-se nenhum aumento de contraste nas linhas escuras já existentes no espectro do Sol. Ao contrário, surge uma nova linha escura, o que indica que na atmosfera do Sol não deve haver lítio, caso contrário, algum uma linha escura já existente no espectro do Sol deveria ser ainda mais contrastada. Por outro lado, analisando o espectro de emissão do Lítio, verifica-se que o conjunto de linhas brilhantes não combina com nenhum conjunto de linhas escuras presentes no espectro solar.

Bunsen e Kirchhoff usaram sua descoberta como instrumento de análise química e rapidamente descobriram (1860) um novo elemento a partir de algumas gotas de resíduo alcalino da água mineral da cidade alemã de Durkheim. Como este material produzia um espectro de emissão com linhas azuis, não correspondentes a nenhum outro elemento até então conhecido, eles o denominaram de céσιο (do latim, *caesius*, azul-celeste). No ano seguinte, utilizando quantidades diminutas de material, eles identificaram um outro elemento que produzia linhas vermelhas intensas no espectro de emissão. Da palavra latina *rubidus* (de cor rubi), surgiu o nome do elemento *rubídio*.

A espectroscopia possibilitou a descoberta, em poucos anos, de inúmeros elementos químicos, em especial muitos dos que correspondiam às lacunas presentes na tabela periódica que seria publicada por Dimitri Mendeleiev em 1869. Também os lantanídeos, de separação extremamente difícil, foram prontamente identificados pela espectroscopia.

A descoberta mais retumbante propiciada pela espectroscopia, contudo, ocorreu em 1868. O estudo do espectro solar ficava facilitado durante os eclipses, quando se podia observar apenas a borda do disco solar, sem os problemas habituais de ofuscamento. Naquele ano de 1868, em agosto, ocorreu o eclipse solar de maior duração do século XIX. Visível na Índia e em países vizinhos, chegou a durar, em alguns lugares, mais de seis minutos. O astrônomo francês Pierre Janssen deslocou-se até à Índia para observá-lo. Acoplando uma luneta a um espectroscópio, Janssen pôde observar o espectro das protuberâncias solares, jatos de gás que se projetam milhares de quilômetros acima da atmosfera solar. O espectro observado daquele material aquecido das protuberâncias era um espectro de emissão, uma vez que não havia a possibilidade de absorção pela atmosfera solar.

Janssen descobriu que o mesmo tipo de observação também podia ser feito na ausência de um eclipse, bastando usar uma fenda bem estreita disposta tangencialmente ao disco solar, de forma a receber apenas a radiação das protuberâncias, eliminando assim o ofuscamento

pelo disco solar. Janssen identificou dessa maneira os espectros de emissão de vários elementos, sendo o hidrogênio o principal.

À mesma época, em outubro de 1868, o astrônomo inglês Joseph Norman Lockyer chegou independentemente ao mesmo método de observar as protuberâncias solares. Entre as linhas observadas por ele havia uma linha amarela próxima ao espectro do Sódio, mas não coincidente com o espectro de nenhum elemento conhecido. Lockyer concluiu então que haveria no sol um novo elemento, desconhecido na Terra, que denominou Hélio, em homenagem ao deus grego do sol. Esta proposição foi recebida com reservas, até que em 1895 o novo elemento foi finalmente descoberto na Terra pelo químico escocês William Ramsay.

O processo de descoberta de vários novos elementos químicos, sobretudo essa espetacular descoberta do Hélio no sol, 27 anos antes de ser encontrado na Terra, mostrou a extraordinária importância da espectroscopia no estudo da constituição íntima da matéria.

Referências:

A espectroscopia e a química, da descoberta de novos elementos ao limiar da teoria quântica. Química Nova na Escola, n.3: p.22-25, mai. 1996.

Entenda como os cientistas sabem a composição química dos planetas e estrelas. Disponível em:

<<http://www.apolo11.com/espectro.php>>. Acesso em: 24/06/2015.

Espectroscopia: a essencial contribuição de Gustavo R. Kirchhoff (1824-1887) e Robert W. Bunsen (1811-1899). Disponível em:

<<http://www.experimentum.org/blog/?p=544>>. Acesso em: 24/06/2015.

<<http://astro.if.ufrgs.br/rad/espec/espec.htm#>>. Acesso em: 14/07/2015.

Aula 4

Tema da aula

Afinal, o que é espectroscopia?

Objetivos específicos

- Caracterizar o estabelecimento da espectroscopia como uma atividade de investigação científica;
- Caracterizar as contribuições de Isaac Newton, Willian Wollaston e Joseph Fraunhofer;
- Caracterizar as contribuições de Robert Wilhelm Bunsen e Gustav Robert Kirchhoff para a espectroscopia;
- Discutir e caracterizar as leis da espectroscopia estabelecidas por Gustav Robert Kirchhoff;
- Evidenciar o caráter classificatório das substâncias proporcionado pela análise espectroscópica das linhas de emissão e absorção;

Conteúdo Físico

História da espectroscopia, linhas espectrais de absorção e emissão e leis da espectroscopia de Kirchhoff.

Recursos instrucionais

Quadro, giz, Texto 01.

Metodologia de ensino

Parte 1 (5 min) - Comentar brevemente a atividade realizada na aula anterior e sobre as questões apresentadas que se destacaram durante as discussões;

Parte 2 (15 min) - Destacar claramente as contribuições de Newton, Wollaston e Fraunhofer, no sentido de evidenciar a evolução da espectroscopia proporcionada pela atividade de cada um destes cientistas; sendo possível, mencionar uma ou mais questões que foram formuladas pelos estudantes, procurando mostrar o vínculo destas com os objetivos pretendidos; é um ponto bastante importante salientar que as linhas escuras observadas por Fraunhofer não significam ausência de luz mas sim, regiões com menor intensidade de luz;

Parte 3 (15 min) - Neste momento da aula deve-se evidenciar as contribuições de Robert Wilhelm Bunsen e Gustav Robert Kirchhoff, visto que a partir da contribuição desses dois cientistas a espectroscopia sofreu avanços significativos; assim como já enfatizado para a parte 2 desta aula, deve-se mencionar uma ou mais questões que foram formuladas pelos estudantes para que seja enfatizada importância das discussões realizadas durante as apresentações; para produzir um efeito ainda mais eficaz, pode-se fomentar uma breve discussão em torno da

seguinte questão: o que diferencia a espectroscopia antes e depois de Kirchhoff?

Aula 5

Tema da aula

Qual é a cor de uma lâmpada?

Objetivos específicos

- Evidenciar a emissão de espectro contínuo por sólidos aquecidos;
- Evidenciar a emissão de espectros descontínuos por gases em alta pressão;
- Caracterizar os espectros, contínuo e descontínuo, de uma lâmpada de filamento e de lâmpadas de sódio e mercúrio, respectivamente;

Conteúdo Físico

Emissão de radiação por sólidos aquecidos e por gases em alta pressão; espectros contínuos e descontínuos.

Recursos instrucionais

Quadro, giz, Kit experimental 01 (ver Anexo 2 para descrição pormenorizada), Roteiro de atividade experimental 01, tarefa sugerida.

Metodologia de ensino

Parte 1 (10 min) - Comentar brevemente sobre a atividade experimental a ser realizada; orientar os estudantes para comporem grupos com até 4 integrantes; verificar se todos os grupos dispõem do espectroscópio e montar o kit experimental para a atividade; distribuir o roteiro da atividade; é importante salientar que o espectroscópio foi elaborado e construído pelos alunos em aulas anteriores e portanto, não é necessário que cada aluno tenha um espectroscópio; basta que haja um dispositivo por grupo para realizarem as observações;

Parte 2 (40 min) - Explicar brevemente sobre o roteiro de atividades; os grupos podem observar simultaneamente as fontes de luz, sem a necessidade de saírem seus lugares, embora seja livre o trânsito dos estudantes para observarem a fonte de luz com maior proximidade; no entanto, certificar-se de que este movimento não está interferindo nas

observações dos outros grupos; o professor deverá circular entre os grupos, orientando-os a respeito do melhor uso de espectroscópio bem como na resolução das questões do roteiro; neste primeiro dia os estudantes devem realizar as atividades propostas na primeira parte do roteiro de atividade, que compreende a caracterização dos espectros das fontes de luz;

Tarefa sugerida

Orientar os estudantes a responderem as questões 1, 2, 4, 5, 7 e 8, referentes a primeira parte do roteiro da atividade experimental em um momento posterior, e no contraturno, evitando comprometer o tempo da aula; uma sugestão para entrega desta atividade é o pelo uso de ferramentas de formulário online;

As questões 3, 6 e 9, como propostas no roteiro, podem ser substituídas pelo registro de imagens capturadas por aparelhos de celular;

Roteiro de atividade experimental 01

[O objetivo desta atividade prática é evidenciar dois aspectos da emissão de radiação: 1) a emissão de espectro contínuo por sólidos aquecidos; 2) a emissão de espectro descontínuo por gases. Para melhor conduzir a atividade de preparar os alunos para as discussões pretendidas, a primeira parte da atividade consiste em caracterizar três espectros de emissão (um contínuo e dois descontínuos) e realizar comparações entre eles. Esta caracterização pretende fornecer aos alunos certa familiarização com os aspectos de cada tipo de espectro para que possam melhor compará-los mais adiante, nesta mesma atividade. Além disso, em um momento posterior a esta atividade, os alunos terão contato com as leis da espectroscopia de Kirchhoff, e então espera-se que resgatem elementos desta atividade.]

Para realizar esta atividade você e seu grupo deverão utilizar o espectroscópio que foi construído anteriormente. Como você sabe, o espectroscópio apresenta uma fenda por onde apenas uma pequena quantidade de luz pode passar para o interior do dispositivo. No lado oposto à fenda há uma rede de difração que é capaz de separar os diferentes comprimentos de onda da luz que entra pela fenda, caso esta luz seja composta por diferentes cores.

Serão observadas as luzes emitidas por diferentes fontes e cada componente do grupo deverá realizar a observação para que possa

participar da resolução das questões envolvidas nesta atividade experimental. Quando solicitado, dirija-se com seu grupo até o aparato montado apropriadamente para esta atividade.

Primeira parte - Caracterização dos espectros

[O objetivo deste bloco de questões é estimular os alunos a caracterizarem os espectros emitidos pelas lâmpadas; mais à frente haverá discussões e comparações entre o espectro contínuo produzida pelo filamento aquecido e o espectro descontínuo produzido pelas lâmpadas de vapor; para que as discussões sejam devidamente conduzidas é necessário que os alunos conheçam bem as diferenças entre estes dois tipos de espectros; o bloco é composto de 9 questões, sendo 3 questões para cada tipo de espectro de emissão: 1,2,3 (espectro contínuo de sólido incandescente); 4,5,6 (espectro descontínuo de vapor de sódio), 7,8,9 (espectro descontínuo de vapor de mercúrio); o conjunto de 3 questões é idêntico para cada um dos espectros pois objetiva-se uma caracterização segundo alguns critérios pré-estabelecidos (contínuo/descontínuo - quantidade de cores presentes - predominância de cores)]

Espectro da lâmpada de filamento incandescente

A primeira lâmpada produz luz a partir de um pedaço de metal (filamento) que ao ser percorrido por uma corrente elétrica se aquece a temperaturas bastante elevadas (da ordem de 2500 K), sendo por este motivo, denominada lâmpada de filamento incandescente.

1) Olhando diretamente para a lâmpada, em que cor ela se apresenta? Se preferir, use um lápis colorido para retratar a cor que você observou.

Agora observe pelo espectroscópio a luz produzida pela lâmpada de sólido incandescente. Caso seja necessário, observe novamente.

2) Descreva as características do espectro que você observou para a luz produzida pela lâmpada de filamento incandescente.

3) Faça um desenho colorida para representar as cores observadas. Procure retratar a sequência de cores na mesma ordem em que foram observadas. Procure retratar também a largura de cada faixa de cor.

Espectro da lâmpada de vapor de Sódio

A segunda lâmpada que será observada não é uma lâmpada

incandescente, onde o corpo emissor de luz era um filamento sólido. Ao contrário, nesta lâmpada uma pequena quantidade de gás é responsável pela emissão de luz, mais precisamente, vapor de Sódio.

4) Olhando diretamente para a lâmpada, em que cor ela se apresenta? Se preferir, use um lápis colorido para retratar a cor que você observou.

Agora observe pelo espectroscópio a luz produzida pela lâmpada de vapor de Sódio incandescente. Caso seja necessário, observe novamente.

5) Descreva as características do espectro que você observou para a luz produzida pela lâmpada de vapor de Sódio.

6) Faça um desenho colorido para representar as cores observadas. Procure retratar a sequência de cores na mesma ordem em que foram observadas. Procure retratar também a largura de cada faixa de cor.

Espectro da lâmpada de vapor de Mercúrio

A terceira lâmpada que será observada é também uma lâmpada de gás, neste caso, vapor de Mercúrio.

7) Olhando diretamente para a lâmpada, em que cor ela se apresenta? Se preferir, use um lápis colorido para retratar a cor que você observou.

Agora observe pelo espectroscópio a luz produzida pela lâmpada de vapor de Mercúrio. Caso seja necessário, observe novamente.

8) Descreva as características do espectro que você observou para a luz produzida pela lâmpada de vapor de Mercúrio.

9) Faça um desenho colorido para representar as cores observadas. Procure retratar a sequência de cores na mesma ordem em que foram observadas. Procure retratar também a largura de cada faixa de cor.

Segunda parte - Comparação entre os espectros

[O objetivo deste bloco de questões é evidenciar as diferenças e semelhanças entre os espectros observados; pretende-se que os alunos sejam capazes de classificar os espectros em dois grupos (contínuos e descontínuos); além disso, espera-se que sejam capazes de perceber que mesmo entre os espectros descontínuos de sódio e mercúrio há diferenças entre as cores emitidas; outro aspecto das radiações a ser

evidenciado é a presença de radiação invisível do tipo infravermelha.]

10) Descreva no que o espectro da lâmpada de filamento incandescente difere dos espectros das lâmpadas de vapor de sódio e mercúrio. De acordo com as observações realizadas, que característica os difere de maneira mais evidente?

11) Descreva que características são comuns entre os espectros das lâmpadas de vapor de sódio e mercúrio. De acordo com as observações, no que eles diferem?

12) Se fosse necessário classificar os espectros observados, quantos e em quais grupos você os classificaria?

13) Aproxime-se da lâmpada de filamento e observe-a. Você acha que há algum outro tipo de radiação além daquela que pode ser percebida pelos olhos? Em caso afirmativo, explique como você pôde percebê-la e diga como ela é denominada.

14) O Sol emite vários tipos de radiações, dentre elas a luz visível e radiação infravermelha. O mesmo ocorre com a lâmpada de filamento incandescente. Como você explicaria o fato de precisarmos nos aproximar da lâmpada para perceber a sua emissão de luz infravermelha (calor) mas não necessitamos nos aproximar do Sol para sentirmos o seu "calor chegando"?

Terceira parte - Questões para discussão

[O objetivo deste bloco de questões é provocar os alunos, no sentido de estimular o uso de conceitos anteriormente estudados (estudo das cores, temperatura) e colocá-los diante de situações novas que necessitam da formulação de hipóteses (de certa forma serão estimuladas algumas concepções prévias) sobre a emissão de espectro contínuo e descontínuo (espera-se que os alunos atentem para o fato de que o primeiro está associado a um corpo sólido e o outro a um gás); a última questão objetiva levar o aluno a formular hipóteses para explicar a diferença entre o espectro atômico do sódio e da lâmpada de sódio a alta pressão.]

15) No caso da luz emitida pela lâmpada de filamento incandescente, quando se olha pelo espectroscópio observa-se a presença de todas as cores, mas quando se olha diretamente para a lâmpada a mesma é

percebida em uma tonalidade amarelada. Como você explicaria o fato desta fonte de luz parecer ter uma cor quando na verdade a luz que provém dela é formada por várias cores?

16) A lâmpada de vapor de sódio apresenta-se em uma tonalidade amarelada, semelhante a lâmpada de filamento incandescente. Qual destas duas lâmpadas seria capaz de iluminar um tecido multicolorido reproduzindo mais adequadamente as cores deste tecido? Por que?

17) Como você explicaria o fato da lâmpada de sólido incandescente emitir muitas cores e as lâmpadas de vapor, de sódio e mercúrio, emitirem apenas algumas cores? Seria razoável supor que o estado físico (sólido ou gasoso) tem alguma relação com os tipos de espectro (contínuos e descontínuos)?

<https://pt.wikipedia.org/wiki/Luminotécnica#Outros_tipos_de_l%C3%A2mpadas_de_descarga>

Acesso em: 14/07/2015

<<http://www.museudalampada.com/#!vapores/c1mbk>>

Acesso em: 08/07/2015

Aula 6

Tema da aula

Analisando o código das cores.

Objetivos específicos

- Caracterizar as diferenças e semelhanças entre o espectro contínuo e o espectro descontínuo;
- Caracterizar o espectro de emissão de luz visível para um gás a alta pressão;
- Evidenciar a emissão de radiação infravermelha;

Conteúdo Físico

Emissão de radiação por sólidos aquecidos e por gases em alta pressão; espectros contínuos e descontínuos e radiação infravermelha;

Recursos instrucionais

Quadro, giz, Kit experimental 01 (ver Anexo 2 para descrição pormenorizada), Roteiro de atividade experimental 01.

Metodologia de ensino

Parte 1 (10 min) - Apresentar e descrever as atividades a serem realizadas nesta aula; orientar os estudantes que mesmo sendo uma atividade em grupos é necessário que cada um individualmente possua as respostas para as questões do roteiro de atividades; opcionalmente pode-se montar novamente o kit experimental ou então utilizar-se das próprias imagens capturadas pelos estudantes na aula anterior;

Parte 2 (40 min) - Explicar cada uma das questões da segunda etapa do roteiro de atividades; orientar os estudantes que cada um deve, individualmente realizar as suas anotações; as questões 10 a 14 do roteiro de atividade experimental deverão ser discutidas com o intuito de esclarecer quais são os objetivos pretendidos com as mesmas; verificar se os estudantes compreendem efetivamente o que está proposto em cada uma das questões; a medida que as discussões forem avançando, estimular que os estudantes construam as respostas e solicitar que leiam as mesmas, realizando os ajustes necessários, inclusive pela contribuição dos demais estudantes;

Tarefa sugerida

Orientar os estudantes a entregarem as questões 10 a 14 referentes a segunda parte do roteiro da atividade experimental em um momento posterior e em grupos; uma sugestão para entrega desta atividade é o pelo uso de ferramentas de formulário online;

Aula 7

Tema da aula

Levantando hipóteses sobre a emissão de luz.

Objetivos específicos

- Problematizar a emissão de espectros descontínuos;
- Caracterizar as cores de um objeto quando iluminado por uma fonte de luz;
- Discutir a influência da densidade do gás na espectro de emissão;

- Levantar hipóteses sobre a emissão espectros descontínuos;

Conteúdo Físico

Emissão de radiação por sólidos aquecidos e por gases em alta pressão; espectros contínuos e descontínuos;

Recursos instrucionais

Quadro, giz, Roteiro de atividade experimental 01, simulação Phet Colorado (Visão e Cor, disponível em <https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/color-vision>, acesso em 18/10/15), simulação Phet Colorado (Blackbody-spectrum, disponível em <https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/blackbody-spectrum>, acesso em 18/10/15).

Metodologia de ensino

Parte 1 (25 min) - Nesta parte da aula o professor deverá verificar as respostas dos estudantes para as partes 1 e 2 do roteiro de atividades; os estudantes não necessitam estar em grupos e pode-se fomentar breves discussões para que eles exponham as respostas construídas quando da realização da atividade experimental em grupos; é importante repassar cada uma das 14 questões; não é necessário aprofundamento, pois espera-se que já tenham ocorrido pequenas discussões entre professor e estudantes no momento em que as atividades eram desenvolvidas;

Parte 2 (25 min) - Para o fechamento da atividade o professor poderá conduzir as discussões referentes as três últimas questões do roteiro de atividades; possivelmente estas questões ainda não terão sido apreciadas pelos estudantes, e então, outra forma de trabalha-las é solicitar que formulem as respostas para uma discussão ao término da atividade; de uma forma ou de outra é importante que o professor conduza as discussões de maneira a permitir que os estudantes construam as repostas para aquelas questões; no momento final, após o fechamento das questões, espera-se que surja a pergunta do porquê as linhas do espectro do sódio diferem das linhas do espectro de mercúrio e caso esta pergunta não ocorra por parte dos alunos, então o professor deverá introduzi-la; a busca por esta descrição irá resgatar a ideia de modelos dentro da construção do conhecimento físico, além de preparar o novo tópico, relacionado aos modelos atômicos;

Aula 8

Tema da aula

A natureza íntima da matéria se revela.

Objetivos específicos

- Caracterizar o contexto teórico-experimental do início do século XX que influenciou a elaboração dos modelos atômicos de J. J. Thomson e E. Rutherford;
- Discutir o papel das evidências experimentais que influenciaram os modelos de J. J. Thomson e E. Rutherford;
- Evidenciar as fragilidades dos modelos de J. J. Thomson e E. Rutherford;

Conteúdo Físico

Raios catódicos, radiações, modelo atômico de Thomson, modelo atômico de Rutherford;

Recursos instrucionais

Quadro, giz, texto 02, tarefa sugerida.

Metodologia de ensino

Parte 1 (10 min) - Explanar aos estudantes sobre como serão realizadas as atividades nesta aula; enfatizar a importância da leitura do texto para a sequência da atividade a ser proposta após a leitura;

Parte 2 (40 min) - Leitura e análise do texto e realização da atividade em grupos; é importante que o professor circule entre os grupos para acompanhar e orientar a escolha das questões; podem ocorrer situações em que os estudantes formulem boas questões (que evidenciem as passagens importantes do texto) mas que não estejam corretamente respondidas; nestes casos, deve-se orientá-los de maneira a corrigir os equívocos pois não está previsto nenhum momento posterior para discussão mais aprofundada destas questões; o professor deverá recolher a atividade ao término da aula para analisar as questões elaboradas; havendo algum ponto que necessite ou mereça comentários, os mesmos poderão ser rapidamente apontados no início da próxima aula;

Tarefa sugerida

Orientar os estudantes a entregarem em um momento posterior as questões 1 a 7 abaixo propostas; uma sugestão para entrega desta atividade é o pelo uso de ferramentas de formulário online;

1) Quais eram os problemas da virada do séc. XIX para o séc. XX, que nortearam a elaboração dos modelos atômicos de J. J. Thomson e E. Rutherford?

[o objetivo desta questão é estimular a discussão sobre o cenário teórico-experimental da virada do século XIX para o século XX, estimulando os estudantes a perceberem que os modelos atômicos de Thomson e Rutherford buscavam fundamentalmente conciliar conhecimentos já estabelecidos com os novos resultados obtidos a partir de seus experimentos]

2) De que forma o experimento com os raios catódicos, realizado por J. J. Thomson, contribuiu na elaboração de seu modelo atômico?

[o objetivo desta questão é estimular os estudantes a perceberem a influência dos resultados do experimento dos raios catódicos na elaboração do modelo de Thomson; evidenciar que o experimento lhe permitiu admitir a presença de cargas negativas como elementos constituintes da matéria; evidenciar que no caso dos fenômenos da eletrização, as cargas negativas desempenham um papel, mas que não havia nenhuma confirmação experimental, ou seja, naquele contexto, as cargas negativas eram uma hipótese sem confirmação, e que o experimento de Thomson lhe permitiu inferir que partículas de carga negativa fariam parte da constituição da matéria com base em evidências experimentais]

3) Se o átomo é tão pequeno, como Thomson ou Rutherford puderam concluir algo a respeito de sua estrutura?

[o objetivo desta questão é estimular a discussão sobre o acesso indireto à realidade, o que impõem ao cientista a necessidade "imaginar" esta realidade; embora não se possa ver, mesmo inferindo indiretamente, deve haver coerência com os resultados experimentais, ou seja, o papel desempenhado pelo cientista perpassa pela interpretação subjetiva de dados objetivos]

4) A interpretação do experimento de Geiger-Marsden por Rutherford permitiu a ele supor qual características acerca da estrutura do átomo?

[o objetivo desta questão é estimular os estudantes a verificarem as características do átomo nuclear - concentração de cargas positivas no centro e predominância do espaço vazio; é muito importante deixar claro aos alunos que não houve nenhuma referência a prótons ou nêutrons]

5) Em quais elementos do experimento de Geiger-Marsden Rutherford se baseou para inferir que os elétrons orbitam em torno do núcleo?

[o objetivo desta questão é evidenciar que o experimento não é conclusivo a este respeito e isto obriga Rutherford a supor que os elétrons orbitam o núcleo; deve-se enfatizar que esta característica constituiu a falha do modelo deste modelo; mencionar a questão da instabilidade pela emissão de radiação, previstas pelo eletromagnetismo]

6) De que forma os estudos da radioatividade contribuíram para a evolução dos modelos atômicos?

[o objetivo desta questão é permitir aos estudantes refletirem sobre o papel da radioatividade como campo de conhecimento capaz de prover suporte técnico para elaboração do experimento de Geiger-Marsden; possivelmente existiram outras implicações, mas aqui esta menção é suficiente para evidenciar a presença dos estudos da radioatividade no referido contexto histórico]

7) Quais os limites de validade dos modelos de Thomson e Rutherford?

[o objetivo desta questão é estimular os estudantes a perceberem que cada um dos modelos foi concebido com a intenção de ser coerente com as observações experimentais; assim, por vezes os modelos são incompletos, mas apesar disso, podem ser empregados na descrição de problemas em que a sua fragilidade não se manifeste; como exemplo pode-se mencionar que o modelo de Dalton por ser empregado para descrever a pressão que um gás ideal exerce contra as paredes de um recipiente; discutir enfaticamente que cada um dos modelos apresentava limitações, mas que a questão da estabilidade era crucial, e neste ponto o modelo de Thomson era favorecido; por outro lado, o legado de Rutherford evidenciou novas características atômicas e isto inevitavelmente exigiria um novo modelo atômico capaz de resolver o problema da estabilidade em um átomo necessariamente nuclear; deve-se mencionar a presença e o papel da controvérsia como elemento estimulante para o avanço do conhecimento científico]

Material de Apoio

Texto 02 - A eterna busca do indivisível.

O modelo atômico de Dalton pode ser considerado o primeiro modelo científico para o átomo. Embora alguns elementos químicos considerados por Dalton fossem, na verdade, compostos, seu modelo era compatível com leis empíricas conhecidas na época, como as de Lavoisier e de Proust. A lei de Proust diz essencialmente que em uma reação química, seja ela qual for, as massas dos elementos envolvidos guardam entre si uma relação fixa. Esta lei vale para todos os compostos químicos, quaisquer que sejam seus estados físicos.

Em particular, se os reagentes estão no estado gasoso, existe uma razão simples entre os volumes dos gases. Este fato não pode ser explicado pelo modelo de Dalton, o que levou Avogadro a introduzir o conceito de molécula e admitir, por hipótese, que dois volumes iguais de dois gases quaisquer contêm o mesmo número de moléculas, desde que a temperatura e a pressão sejam as mesmas.

Antecipando-se ao conceito de estrutura eletrônica dos átomos, Mendeleiev conseguiu classificar os elementos químicos segundo a ordem crescente de suas massas atômicas, colocando aqueles de propriedades semelhantes em colunas, uns debaixo dos outros, em sua famosa Tabela Periódica. Por ocasião da publicação de sua primeira classificação, eram conhecidos 63 elementos e, em 1908, este número já passara a 86. Tanto a existência como as propriedades destes novos elementos foram antecipadas por Mendeleiev como consequência das regularidades e simetrias por ele descobertas.

O acordo com a experiência de vários resultados da teoria cinética dos gases, desenvolvida por Boltzmann - que se baseia na teoria molecular da matéria -, juntamente com o conceito de átomo científico elaborado pelos químicos do Séc. XIX fez com que muitos outros cientistas aceitassem a visão atomista do Mundo. No entanto, sobre isto não existia consenso. Mach e Ostwald, por exemplo, acreditavam poder reduzir tudo à energia, ou seja, defendiam a ideia de que todos os processos poderiam ser explicados sem a necessidade de considerar a matéria como sendo formada por átomos. Um trabalho que muito contribuiu para o prevalecimento do atomismo foi o estudo do movimento browniano feito por Einstein.

Por volta da metade do século XIX, acreditava-se que o movimento aleatório de partículas ínfimas de pólen em suspensão em

um fluído fosse devido ao fato destas serem formadas de matéria viva. Mais tarde, constatou-se que o movimento browniano é consequência da agitação térmica das moléculas de um fluido, a qual induz sobre os corpúsculos visíveis ao microscópio - que nele se encontram em suspensão - um movimento desordenado e aleatório. Das investigações de Einstein sobre este efeito foi possível calcular o número de Avogadro (N) com formidável precisão. Assim, a descrição do movimento browniano desenvolvida por Einstein, juntamente com as confirmações experimentais de suas ideias, contribuíram para validar a concepção atomista da matéria.

Tudo que foi dito até aqui parece confirmar que a matéria é constituída por átomos e estes seriam indivisíveis, salvo, talvez, a existência de isótopos e isóbaros.

A eletrificação dos materiais era um fenômeno bastante estudado. A partir de vários experimentos foi possível reunir grande conhecimento empírico sobre os processos de eletrificação. Contudo, não havia uma teoria capaz de explicar estes processos. A eletrólise de Faraday foi uma primeira evidência quantitativa a favor de constituintes carregados no interior da matéria, os chamados "átomos de eletricidade. Além disso, outro ponto importante a ser destacado diz respeito a natureza discreta da carga elétrica, ou seja, suas manifestações sempre eram em quantidades múltiplas de uma certa quantidade fundamental. No entanto, somente a partir de 1857, com o aperfeiçoamento das técnicas de trabalhos com vidros e das máquinas de fazer vácuo desenvolvidas por Geissler, é que foi possível a construção do que se poderia chamar de o primeiro acelerador de partículas: o tubo de raios catódicos.

Desde a metade do século XIX, físicos como Willian Crookes (1832 - 1919) e Joseph John Thomson (1856 - 1940) dedicaram-se à tentativa de entender e explicar a natureza do facho que aparece dentro desses tubos. Vários cientistas dedicaram-se ao estudo dos raios catódicos, produzindo resultados muito importantes para a física o desenvolvimento da física. Contudo, os trabalhos de Thomson sobre os raios catódicos destacam-se dos outros que o precederam, pois ele usou tubos contendo diferentes gases e diferentes metais na constituição do cátodo. Seus estudos estavam voltados para a determinação da natureza dos raios catódicos.

Em 1897, Thomson conseguiu medir, com boa precisão, a razão entre a carga elétrica e a massa das partículas constituintes dos raios catódicos. Seus experimentos indicavam que a ordem de grandeza da massa dessas partículas era muito pequena. Ele também verificou que

estes corpúsculos carregados apresentavam as mesmas propriedades, quaisquer que fossem os elementos do cátodo, do anodo e do gás dentro do tubo. Isto indicava que os corpúsculos seriam constituintes universais da matéria, mostrando empiricamente que o átomo não é indivisível. Dois anos mais tarde, Thomson pode estimar que a massa destas partículas era 1840 vezes menor que a do íon de hidrogênio, cuja constituição equivale a um próton (termo introduzido na Física somente em 1919).

A carga do corpúsculo carregado de Thomson foi medida, em 1909, por Robert Andrews Millikan (1868 - 1953), com boa precisão, e seu caráter discreto foi confirmado. A carga elétrica é uma constante fundamental da natureza. Em pouco tempo foi confirmado que os corpúsculo constituintes dos raios catódicos eram os "átomos da eletricidade", envolvidos nos processos de eletrização de materiais. Ficou então estabelecido que os raios catódicos eram formados por feixes de elétrons e estes carregam sempre a mesma quantidade de carga elétrica, ou seja, o elétron possui uma carga elétrica que corresponde a menor porção de eletricidade. (a carga elétrica é quantizada)

Era um fato estabelecido que a matéria macroscópica é neutra e estável. Isto significava que, se a matéria é formada por átomos, estes deveriam ter algum tipo de estrutura interna formada por uma porção de massa positiva combinada aos elétrons presentes nessa mesma estrutura, totalizando uma carga elétrica nula.

Os trabalhos de Thomson com os raios catódicos, em conjunto com as medições feitas por Millikan, indicavam que a massa do elétron era muito pequena quando comparada a massa de qualquer átomo. Isto implicava que a maior parte da massa do átomo estaria associada a sua carga positiva e isto colocou naturalmente os cientistas diante de um grande problema: como seria a distribuição de cargas positivas e negativas dentro do átomo?

O problema fundamental da teoria atômica vigente à época de Thomson era explicar a organização periódicas dos elementos químicos representados na Tabela de Medeleiev.

Assim, nota-se que o cenário experimental para elaboração de um modelo atômico aceitável exigiria conciliar resultados experimentais estabelecidos pela Química e pela Física, dentre os quais, destacavam-se três problemas bastante contundentes que deveriam ser explicados por um pretenso modelo atômico:

- 1) As ligações químicas entre os elementos e a sua disposição periódica na tabela de Mendeleiev;

- 2) O fenômeno da eletrização, onde materiais inicialmente nêutrons, após atritados, ficavam carregados (trocam cargas elétricas);
- 3) A estabilidade do átomo (uma vez que a matéria macroscópica é estável);

As concepções atômicas de Thomson mudaram com o andamento de suas investigações. Contudo, em 1904 ele publicou um artigo que sintetizava as suas ideias sobre o átomo: "os átomos dos elementos consistem em um número de corpúsculos eletricamente negativos englobados numa esfera uniformemente positiva".

O modelo de Thomson foi bastante influente na primeira década do século XX, sendo empregado satisfatoriamente na descrição de vários fenômenos. Contudo, um novo experimento iria evidenciar que seu modelo atômico não correspondia a estrutura íntima dos átomos. Este experimento somente pode ser viabilizado graças aos estudos da Radioatividade e foi proposto por um de seus ex-alunos.

No início do século XX, as pesquisas sobre radioatividade estavam em franco desenvolvimento. Renomados cientistas como Henri Becquerel, Marie Currie, Pierri Currie e Frederick Soddy, foram os precursores na descoberta e estudos sobre a radioatividade. Suas propriedades eram amplamente estudadas, desde os materiais emissores de radioatividade até as características dos raios emitidos.

Em 1895, Ernest Rutherford (1871 - 1937) iniciou seus estudos na Universidade de Cambridge, sob orientação de Thomson. Rutherford tornou-se um dos cientistas mais importantes nas pesquisas em radioatividade e estrutura atômica. Os elementos radioativos emitiam três tipos de raios ainda desconhecidos, os quais Rutherford classificou como raios alpha (α), raios beta (β) e raios gama (γ). Estudos mostraram que os raios alpha (α) eram formados por partículas de carga elétrica positiva com pequeno poder de penetrabilidade na matéria e grande massa. Rutherford percebeu que estas características permitiriam que a radiação alpha (α) fosse utilizada para sondar a estrutura íntima da matéria. Assim, a partir dos estudos da radioatividade foi possível obter fontes de materiais radioativos emissores de partículas alpha (α) para bombardear o átomo.

Sob a supervisão de Rutherford, em 1908 Johannes Wilhelm Geiger (1882 - 1945) e Ernest Marsden (1889 - 1970) realizaram um experimento que causou grande repercussão. O experimento de Geiger-

Marsden consistia em bombardear uma fina camada de ouro com raios alpha.

No experimento de Geiger-Marsden, uma grande quantidade de partículas alpha atravessava uma folha de ouro praticamente sem desvios em sua trajetória. O grande e surpreendente resultado foi constatar que algumas poucas partículas eram detectadas em posições que indicavam grandes ângulos de deflexão; algumas chegavam a ser defletidas no sentido oposto, sendo detectadas próximas da fonte emissora de radiação.

O experimento foi repetido usando folhas de outros materiais e quanto maior era o peso atômico do material utilizado, maior a quantidade de partículas que eram espalhadas em grandes ângulos.

A interpretação do experimento de Geiger-Marsden foi feita por Ernest Rutherford, em 1911. Rutherford achou razoável os espalhamentos serem devidos a um único encontro entre as partículas alpha e os átomos do metal, pois a chance de serem causadas por um segundo encontro seria muito pequena. Outro ponto bastante contundente revelado pelos seus cálculos é o de que o átomo teria de ser capaz de produzir uma repulsão muito forte sobre as poucas partículas alpha que sofram grande desvio, para que fosse possível desviá-las tão acentuadamente.

Por outro lado, o átomo de Thomson pressupunha uma massa positiva distribuída por todo o átomo. Contudo, os cálculos realizados por Rutherford indicavam que o átomo necessitaria ter uma concentração de cargas positivas em uma região extremamente diminuta para ser capaz de gerar tamanha força de repulsão. Em contrapartida, estas regiões de concentração de cargas positivas deveriam estar distantes, umas das outras, pois o experimento indicava que a maioria das partículas atravessava a folha metálica. Assim, o átomo deveria ter a maior parte de seu volume constituído por espaço vazio, tendo as cargas positivas concentradas em uma região central e as cargas negativas (os elétrons), segundo Rutherford, deveriam estar distribuídos em órbitas em torno desta região central. Surgia, assim, a ideia de núcleo atômico e por conseguinte, a concepção de átomo nuclear. Os resultados do experimento de Geiger-Marsden, interpretados por Rutherford, indicaram que o modelo atômico vigente de Thomson não poderia corresponder a estrutura atômica.

Embora houvessem evidências contundentes para refutar o modelo de Thomson, o modelo proposto por Rutherford não era capaz de conferir estabilidade ao átomo, pois concebia a ideia de que as cargas negativas estariam girando ao redor do núcleo e este tipo de movimento

(cargas elétricas aceleradas) implicaria que os elétrons irradiariam energia continuamente, até colidir com o núcleo. Isto implicaria em um átomo que sofreria colapso rapidamente.

Por conta desta fragilidade o modelo de Rutherford não foi amplamente aceito pela comunidade científica e embora o modelo de Thomson não estivesse de acordo com as evidências experimentais acerca da estrutura atômica, ele era satisfatoriamente empregado na descrição de vários problemas da química.

Rutherford reconhecia a fragilidade de seu modelo e ao final de seu artigo, salientou que a questão da estabilidade atômica necessitaria ser melhor investigada. Esta investigação conduziu a um novo modelo atômico: o modelo atômico de Bohr.

Referências:

A eterna busca do indivisível: do átomo filosófico aos quarks e léptons. Química nova, vol.20, n.3: p.324-334, jun. 1997.

J. J. Thomson e o uso de analogias para explicar os modelos atômicos: o "pudim de passas" nos livros textos. IIV Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências. Florianópolis, 2009, v.1.

Dificuldades de ensino e aprendizagem dos modelos atômicos em química. Química Nova na Escola, v.35, n.2: p.112-122, mai. 2013.

Aspectos da natureza da ciência e do trabalho científico no período inicial de desenvolvimento da radioatividade. Revista Brasileira de Física. v.33, n.3, out. 2011.

Ensino de química e história da ciência: o modelo atômico de Rutherford. IV Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências. Bauru, São Paulo, nov. 2003.

O experimento de Geiger-Marsden. Disponível em:
<https://pt.wikipedia.org/wiki/Experimento_de_Geiger-Marsden>
Acessado em: 09/08/2015

Aula 9

Tema da aula

Levantando hipóteses sobre a natureza íntima da matéria.

Objetivos específicos

- Analisar e discutir o experimento de J. J. Thomson com os raios catódicos;
- Analisar e discutir o experimento de Geiger-Marsden;
- Analisar e discutir a interpretação de E. Rutherford para o experimento de Geiger-Marsden;

Conteúdo Físico

Raios catódicos e radiação alpha;

Recursos instrucionais

Quadro, giz, vídeo 03 (Modelos atômicos - Thomson, disponível em <<https://www.youtube.com/watch?v=i9xMrNDHWts>>, acessado em 03/10/2015), vídeo 04 (Raios catódicos, disponível em <<https://www.youtube.com/watch?v=0cUOrQcY1pg>>, acesso em 03/10/15), vídeo 05 (Modelos atômicos - Rutherford, disponível em <<https://www.youtube.com/watch?v=HRmdkAAoZ5M>>, acessado em 03/10/2015), simulação Phet Colorado (Espalhamento de Rutherford, disponível em <https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/rutherford-scattering>, acesso em 03/10/15).

Metodologia de ensino

Parte 1 (20 min) - Retomar as questões respondidas pelos estudantes na aula anterior; neste momento deve-se comentar os equívocos verificados nas respostas dos estudantes, caso sejam verificados pelo professor; deve-se também buscar um pouco mais de profundidade, reforçando as passagens do texto contempladas pelas questões propostas;

Parte 2 (15 min) - Apresentar o vídeo 03 que ilustra alguns aspectos do experimento com raios catódicos; o professor deverá enfatizar que características dos raios catódicos foram determinantes na formulação das hipóteses de Thomson acerca de seu modelo atômico, tais como: o aspecto corpuscular (que implica na presença de massa), a deflexão por

campos magnéticos (que implica em um corpúsculo carregado); enfatizar o caráter fundamental dos corpúsculos, uma vez que os resultados eram os mesmo para diferentes materiais do cátodo;

Parte 3 (15 min) - Apresentar a simulação Phet Colorado sobre o espalhamento de Rutherford; neste momento a simulação será utilizada como recurso metodológico para apresentação do experimento em questão; o professor deve ficar atento ao uso desta simulação, pois nela o núcleo é apresentado como sendo constituído de prótons (bolinas vermelhas) e nêutrons (bolinhas cinzas), ocasionando um salto mais direto acerca da constituição do núcleo; julga-se que este detalhe não é importante, ao contrário, pode ser impróprio, visto que a sequência didática vem sendo conduzida de maneira a contemplar minimamente o contexto histórico (a descoberta do nêutron somente ocorre por volta de 1930); uma alternativa possível é o professor utilizar a simulação em um computador, gravando a área de trabalho com alguma ferramenta de captura de vídeo; a seguir, editar o vídeo de maneira a evitar que o núcleo do átomo esteja diretamente visível; não sendo possível este recurso, o professor deverá comentar este detalhe, deixando claro que embora o experimento do espalhamento permita propor uma estrutura nuclear para o átomo, não é conclusivo em relação a composição do núcleo, no que diz respeito a presença dos nêutrons;

Aula 10

Tema da aula

Max Planck e o nascimento da mecânica quântica.

Objetivos específicos

- Contextualizar a hipótese da quantização da energia;
- Caracterizar o corpo negro (irradiador ideal);
- Caracterizar a discrepância entre as previsões da física clássica e os resultados experimentais para o fenômeno da radiação de corpo negro;
- Apresentar a hipótese da quantização da energia de Max Planck para descrever a radiação de corpo negro;

Conteúdo Físico

Radiação de corpo negro e hipótese da quantização da energia;

Recursos instrucionais

Quadro, giz, vídeo 06 (Induction Heater melting and boiling copper, disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=zw_SrGU2iYs>, acesso em 22/10/2015), simulação Nebraska Astronomy Applet Project (Melted Nail Demonstration, disponível em <<http://astro.unl.edu/classaction/animations/light/meltednail.html>>, acesso em 22/10/15).

Metodologia de ensino

Parte 1 (15 min) - Apresentar o problema da radiação de corpo negro a partir dos trabalhos Kirchhoff, enfatizando a dificuldade encontrada pelas teorias clássicas a termodinâmica e do eletromagnetismo; caracterizar minimamente os aspectos físicos do problema, tais como a concepção do corpo ideal absorvedor e emissor de radiação, as condições de equilíbrio entre emissão e absorção de radiação, a independência do formato e do material constituinte do corpo, bem como as discrepâncias entre as curvas de intensidade em função da frequência da radiação, previstas pela física clássica e obtidas experimentalmente.

Parte 2 (15 min) - Apresentar os trabalhos de Max Planck sobre a radiação de corpo negro; discutir as implicações relacionadas a sua proposta de quantização da energia e a forma como esta hipótese impactou a Física em sua época, mostrando o caráter revolucionário de sua proposta; evidenciar o caráter empírico da hipótese de M. Planck para reproduzir os dados experimentais; ressaltar a importância do caráter experimental para a construção do conhecimento científico bem como a necessidade de romper com ideias já bem estabelecidas frente a novos problemas que não podem ser explicados por uma teoria vigente;

Parte 3 (12 min) - Utilizar a simulação para ilustrar o deslocamento do pico de intensidade de radiação emitida em função da temperatura; o professor deverá reforçar o caráter da distribuição das frequências emitidas procurando sempre contrapor a previsão da descrição clássica, enfatizando a catástrofe do ultravioleta; é importante lembrar que os aspectos mais pormenorizados sobre a radiação de corpo negro não são aqui objetivados; pretende-se apenas contextualizar a hipótese da quantização da energia;

Parte 4 (8 min) - Apresentar o vídeo que ilustra um pequeno pedaço de cobre sendo aquecido por um aquecedor de indução; enfatizar as mudanças de coloração apresentadas pelo pedaço de metal à medida que sua temperatura aumenta, destacando a intensidade do brilho e as mudanças na cor emitida; deve-se atentar para o fato de que a situação ilustrada no vídeo corresponde ao aquecimento de um corpo que não se enquadra exatamente na condição de corpo negro;

Aula 11

Tema da aula

Albert Einstein e os quanta de luz.

Objetivos específicos

- Contextualizar a hipótese dos quanta de luz;
- Caracterizar a discrepância entre as previsões da física clássica e os resultados experimentais sobre o efeito fotoelétrico;
- Apresentar a hipótese de Albert Einstein para descrever o efeito fotoelétrico;

Conteúdo Físico

Efeito fotoelétrico, quantum de luz e energia de um fóton de luz;

Recursos instrucionais

Quadro, giz, simulação Phet Colorado (Efeito Fotoelétrico, disponível em <https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/photoelectric>, acesso em 11/10/15) e texto 03.

Metodologia de ensino

Parte 1 (20 min) - Apresentar o fenômeno do efeito fotoelétrico; discutir as falhas da teoria eletromagnética na descrição do fenômeno: 1) falha na previsão do tempo de absorção de luz e a emissão dos elétrons; 2) falha na previsão da relação entre a intensidade de luz e a energia cinética dos elétrons emitidos; 3) falha na previsão da independência entre a frequência da luz e a emissão de elétrons; é muito importante enfatizar que a dificuldade em novamente empregar a teoria eletromagnética clássica na descrição de um novo fenômeno, tal como ocorrera com a radiação de corpo negro; deve-se ficar atento ao fato de

que não se pretende aprofundar este tópico, mas sim, apenas contextualizar a hipótese do quantum de luz, proposta por A. Einstein;

Parte 2 (15 min) - Descrever a interpretação de A. Einstein para o efeito fotoelétrico; enfatizar a necessidade de admitir que a absorção da quantidade de energia necessária para arrancar um elétron do metal deve ocorrer de uma única vez a fim de explicar a emissão quase instantânea dos mesmos; relacionar a ideia de pacote de energia com o fóton de luz, bem como apresentar a equação de energia do fóton; relacionar a energia do fóton com a frequência do mesmo, correlacionando com as observações experimentais; a seguir, relacionar a intensidade da luz com a quantidade de fótons;

Parte 3 (8 min) - Utilizar a simulação Phet Colorado para ilustrar o efeito fotoelétrico; enfatizar a relação da frequência com a energia cinética dos elétrons emitidos; enfatizar a relação entre a intensidade da luz (quantidade de fótons) com a quantidade de elétrons emitidos;

Parte 4 (7 min) - Explicar a atividade individual para os estudantes; eles deverão responder a um questionário sobre o texto (abaixo); as questões serão disponibilizadas pelo professor através de um formulário online;

Material de Apoio

Texto 03 - O nascimento da física quântica.

Ao final do século XIX, o conjunto de leis que hoje denominamos de Física Clássica e que tinha a mecânica newtoniana por núcleo fundamental assumia tal importância que fez parecer que a Física havia atingido seu ápice. Lord Kelvin, antes do descobrimento do elétron, dos raios X e da radioatividade, chegou a aconselhar jovens estudantes que não se dedicassem à Física, pois acreditava que ela estava quase concluída. No entanto, ele mesmo observou que havia dois fenômenos sem explicação: o experimento de Michelson-Morley, que buscava determinar a velocidade da luz incidente na Terra, vinda de diferentes direções, e o estudo da distribuição de energia da radiação emitida por corpos sólidos aquecidos (sistemas conhecidos como corpos negros).

Paralelamente às inovações teóricas, o século XIX foi marcado por progressos no plano instrumental, como por exemplo, na espectroscopia. A espectroscopia ótica foi um campo da experimentação

que certamente se antecipou muito com relação à teoria correspondente. Joseph Fraunhofer, em 1814, ao tentar melhorar a qualidade dos instrumentos de óptica, detectou centenas de linhas denominadas riscas, dispostas em regiões bem definidas do espectro. Em 1859, surgiu o primeiro espectroscópio digno desse nome, aperfeiçoado por Robert Bunsen e Gustav Kirchhoff.

Com o espectroscópio, Kirchhoff estudou as cores características das chamas de diferentes elementos químicos e conseguiu interpretar que as riscas observadas por Fraunhofer, em 1814, caracterizavam a presença de elementos químicos que absorviam a radiação em determinados comprimentos de onda. Também, verificou-se que excitando uma amostra de hidrogênio havia emissão de energia pelo átomo, o que assinalava o espectro de emissão. A espectroscopia permitiu efetuar avanços importantes no conhecimento do universo, entre eles, explicar a presença de riscas escuras no espectro do sol, determinar elementos presentes nas estrelas, revelar novos elementos existentes na terra. A elaboração da teoria quântica da matéria organizou sistematicamente esse acúmulo maciço e ordenado de informações sobre espectros.

Em 1884, Johann Balmer propôs uma série matemática que descrevia muito bem o, então conhecido, espectro do hidrogênio na faixa do visível. Entretanto, a fórmula foi deduzida empiricamente e não explicava a existência do espectro descontínuo, servia apenas para o cálculo do comprimento de onda de algumas linhas.

Imediatamente, foi reconhecido que a fórmula encontrada por Balmer estava se referindo a algo fundamental, mas as implicações de sua fórmula eram enigmáticas. Este problema continuou em aberto por vários anos, até o surgimento do modelo atômico de Bohr.

Na tentativa de compreender o espectro da radiação térmica, Kirchhoff, em 1859, realiza os primeiros estudos envolvendo a radiação emitida pelo sol e por outros "corpos quentes". Denota que se um corpo absorve uma certa quantidade de radiação térmica incidente, ele também emite a mesma quantidade de radiação. Ao considerar uma série de cavidades com diferentes materiais em suas paredes, Kirchhoff mostra que, a uma temperatura uniforme, o espectro da radiação emergente não depende da forma ou tamanho da cavidade, nem tampouco do material que são constituídas as paredes; depende, apenas, da temperatura absoluta do corpo e da frequência da radiação emitida.

Em 1900, Max Planck, um dos pais fundadores da Física Quântica, voltou a analisar o problema a respeito do cálculo da intensidade da radiação, distribuída pelas diversas frequências, emitidas

por materiais bastante aquecidos. Assim, passou a investigar a forma como a radiação e o corpo interagem. Este estudo causou uma revolução na teoria física ao revelar que o comportamento de pequenos sistemas obedece regras que não podem ser explicadas pelas leis das teorias clássicas. O mundo atômico e subatômico, por exemplo, não obedeceriam mais às regras até então empregadas, sendo necessárias novas interpretações, as quais nossa intuição não mais se aplicava.

O estudo da radiação de corpo negro, que levou à origem da teoria quântica, tinha algo de absoluto, pois segundo a definição de Kirchhoff, professor de Planck, a principal característica de um corpo negro perfeito é sua capacidade de reemitir toda a radiação que incide sobre ele; é um emissor e absorvedor perfeito. Para cada temperatura do sistema varia a natureza da radiação emitida. Um metal, por exemplo, quando aquecido pode emitir radiação visível, na forma de luz vermelha, ou invisível a nossos olhos, como o infravermelho. A denominação 'corpo negro' foi dada em analogia com os corpos escuros, que absorvem a maior parte de energia neles incidentes. No entanto, um corpo negro pode ter qualquer cor, desde que seja um absorvedor e emissor ideal.

Diversas tentativas de explicar o comportamento da radiação utilizando conhecimentos da mecânica clássica e da termodinâmica não foram bem sucedidas, por volta de 1890; embora se conhecesse vários resultados experimentais que mostravam que, a diferentes temperaturas, a energia radiante era emitida com distintas frequências.

Planck conseguiu solucionar o problema usando preceitos muito estranhos à Física Clássica. Partículas oscilando em uma caixa podem, classicamente, emitir radiação em qualquer comprimento de onda ou frequência. Entretanto, para obter o que hoje chamamos da 'lei da radiação de Planck', foi necessário considerar que as partículas oscilando só poderiam emitir radiação em pacotes, e a energia destes seria proporcional à frequência na forma $E = nhf$. A constante física h foi introduzida pelo próprio Planck e ficou conhecida como constante de Planck. A energia emitida passou a ser quantizada, ou seja, tratada de forma descontínua, discreta. A hipótese da quantização da energia de partículas vibrando era contraditória a tudo o que se sabia na época, mas permitia resolver o enigma posto pelo corpo negro. Era tão radical que, mesmo reproduzindo exatamente uma observação experimental, não foi aceita até que viesse a ser adotada por Einstein em 1905.

Max Planck recebeu o prêmio Nobel de Física por esse trabalho 18 anos mais tarde, todavia, foi necessário uma teoria quântica consistente e elaborada para que a incrível capacidade de explicar e

prever fenômenos físicos de sua proposta fosse aceita pela comunidade científica.

Em 1905, Albert Einstein estendeu a hipótese de Planck para uma nova direção: a quantização da energia dos osciladores para investigar as leis de produção e conversão da radiação. O objetivo era saber se as leis de produção e conversão da radiação eram estabelecidas como se a radiação fosse constituída por quanta de energia.

Assim, Einstein, em uma inovação conceitual, se propôs a investigar se os fenômenos luminosos, que foram bem descritos ao longo do século XIX como fenômenos ondulatórios, poderiam ser considerados como compostos de pequenas partículas de energia eletromagnética. Einstein questionava se a descrição de Maxwell era compatível com a fórmula do corpo negro de Planck e chegou à surpreendente conclusão de que “a energia pode ser absorvida e emitida pelo oscilador isolado apenas em ‘quanta’ de magnitude nh , isto é, que a energia de uma estrutura mecânica capaz de oscilações, bem como a energia da radiação, pode ser transferida apenas nesses ‘quanta’, em contradição com as leis da mecânica e da eletrodinâmica”. Essa interpretação foi original, pois Planck não havia sugerido que a radiação seria constituída por pacotes discretos de energia. Einstein utilizou apenas a equação de Planck para calcular a energia de cada quanta de radiação.

Apoiado na ideia da quantização da radiação eletromagnética, Einstein desenvolveu cálculos com previsões experimentais bastante detalhadas sobre um fenômeno físico, já conhecido, chamado efeito fotoelétrico, que consiste na propriedade de um metal emitir elétrons quando sobre ele incide uma radiação de frequência apropriada. Este fenômeno provinha do fato de que alguns eletroscópios podiam ser descarregados quando sobre eles fosse incidida radiação, especialmente a ultravioleta. De acordo com Einstein, a energia dos elétrons emitidos deveria ser proporcional à frequência da radiação incidente, discordando da teoria do eletromagnetismo que previa a energia como sendo proporcional à intensidade.

As previsões de Einstein foram submetidas a testes experimentais bastante precisos e confirmadas por Robert Millikan. Como exemplo de uma evidência do modelo corpuscular introduzido por Einstein, pode-se mencionar o fato de os elétrons de uma placa metálica expostos à radiação ultravioleta deixarem a placa com uma energia cinética maior do que se estivessem expostos à luz vermelha, na mesma intensidade. Esse modelo também explica a emissão quase

instantânea de elétrons de uma placa exposta à luz, o que a mecânica ondulatória previa ter um intervalo de tempo da ordem de minutos.

O progresso realizado a partir das ideias de Planck foi enorme. O que para Planck foi somente uma quantização de osciladores materiais que formavam as paredes do corpo negro, para Einstein era um fenômeno fundamental onde o próprio campo eletromagnético era quantizado. Apesar das enormes dificuldades apresentadas pela quantização para explicar fenômenos de propagação da luz, Einstein reconheceu sua natureza fundamental e não deixou de meditar sobre eles até que fossem encontradas soluções.

Em 1911, época do modelo atômico de Rutherford, já se sabia que um gás emitia radiação quando aquecido ou passando uma corrente elétrica. Também, era comum o teste com materiais que, em contato com a chama de um bico de Bunsen, emitiam cores características. Em um procedimento um pouco mais sofisticado, a radiação expelida por um elemento excitado era coletada, colimada por uma fenda e depois de passar por um prisma ou uma rede de difração as suas diversas faixas de frequência eram separadas, originando as linhas de emissão que constituem o espectro do referido elemento. No entanto, não havia explicação para o fato de o espectro ser descontínuo. A radiação emitida pelos átomos excitados era associada ao movimento dos elétrons, contudo, nem a fórmula de Balmer, nem mesmo o modelo de Rutherford eram compatíveis com o espectro descontínuo.

Esse enigma da radiação emitida ter frequências bem definidas só foi solucionado quando, em 1913, Niels Bohr, com base na quantização da energia, oriunda da radiação do corpo negro e do efeito fotoelétrico, propôs uma correção para o modelo de Rutherford que solucionou o problema da instabilidade do átomo e ajustou com notável simplicidade a descontinuidade dos espectros, expressa pela fórmula de Balmer.

Referências:

O átomo de Bohr no nível médio: uma análise sob o referencial lakatosiano. Programa de Pós Graduação em Educação Científica e Tecnológica, Universidade Federal de Santa Catarina: p.140-145, mar. 2004.

Aula 12

Tema da aula

A quantização da energia e o modelo atômico de Bohr.

Objetivos específicos

- Caracterizar o quadro teórico-experimental da primeira década do século XX frente aos fenômenos da radiação de corpo negro, o efeito fotoelétrico, o modelo de J. J. Thomson para o átomo, o modelo de Rutherford e os resultados da espectroscopia;
- Caracterizar o modelo atômico de Bohr para o átomo de hidrogênio;
- Caracterizar a emissão e absorção de radiação pelo átomo segundo o modelo de Bohr para o átomo de hidrogênio.

Conteúdo Físico

Modelo de Bohr para o átomo de hidrogênio, níveis atômicos de energia, saltos quânticos;

Recursos instrucionais

Quadro, giz, simulação NAAP (Hydrogen Atom Simulator, disponível em <http://astro.unl.edu/classaction/animations/light/hydrogenatom.html>), acesso em 22/10/15).

Metodologia de ensino

Parte 1 (20 min) - Reapresentar o quadro teórico-experimental da primeira década do século XX; o professor deverá comentar brevemente sobre os trabalhos de J. J. Thomson e E. Rutherford, bem como sobre os trabalhos de M. Planck e A. Einstein objetivando apenas resgatar os conteúdos das aulas 10 e 11; a seguir, enfatizar que o eletromagnetismo não pode ser empregado com sucesso para descrever a emissão e absorção da radiação nos problemas que envolviam escalas microscópicas, tal qual o problema da radiação de corpo negro e o efeito fotoelétrico; por outro lado, enfatizar que os trabalhos de J. J. Thomson e de E. Rutherford abriram caminho para desvendar a estrutura atômica pela descoberta do elétron e pela concepção de átomo nuclear; mencionar o papel da espectroscopia como atividade científica que produziu grande quantidade de informações sobre espectros de diversos elementos químicos, em particular, acerca do átomo de hidrogênio (séries de Lyman, Balmer e Paschem);

Parte 2 (20 min) - Neste momento o professor deverá apresentar as características do modelo de Bohr para o átomo de hidrogênio, enfatizando a escolha deste elemento químico, dada a simplicidade de sua estrutura (um próton e um elétron); é importante frisar que Bohr utilizou as ideias da quantização de energia para quantizar as órbitas dos elétrons em torno do núcleo e que estas órbitas seriam estáveis, descritas pela física clássica; por outro lado, rompe com a teoria eletromagnética, estabelecendo que a emissão e absorção de radiação segue outras regras, ocorrendo somente nas transições do elétron entre órbitas distintas; para descrever a emissão e absorção de radiação nas transições, incorpora a ideia de Einstein de que a luz é composta por fótons; o professor deve deixar claro que Bohr propõem um modelo para o qual não há uma teoria física que descreva a absorção e emissão de radiação, mas que essa concepção mostra-se bastante consistente com os dados experimentais do espectro de emissão do hidrogênio, amplamente conhecido à sua época, descrevendo satisfatoriamente os espectros de emissão até então conhecidos (séries de Lyman, Balmer e Paschem) a partir da concepção dos saltos quânticos; enfatizar que o modelo de Bohr resolveu o problema da estabilidade do átomo de E. Rutherford;

Parte 3 (10 min) - Utilizar a simulação para ilustrar os processos de emissão e absorção de radiação pelo elétron; enfatizar que a emissão e absorção de radiação é quantizada, no sentido de que somente fótons com energia exatamente equivalente a diferença de energia entre dois níveis são absorvidos ou emitidos pelo elétron;

Aula 13

Tema da aula

Os saltos quânticos no átomo de hidrogênio.

Objetivos específicos

- Caracterizar as transições eletrônicas no átomo de hidrogênio a partir da emissão e absorção de fótons;
- Evidenciar a relação entre a emissão de fótons com o espectro de emissão do átomo de hidrogênio;
- Relacionar a quantização das órbitas com o aspecto discreto do espectro de emissão do átomo de hidrogênio;

Conteúdo Físico

Modelo de Bohr para o átomo de hidrogênio, níveis atômicos de energia, saltos quânticos;

Recursos instrucionais

Quadro, giz, Roteiro de atividade prática de simulação 01, simulação Phet Colorado (Modelos do átomo de hidrogênio, disponível em <https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/hydrogen-atom>, acesso em 25/10/15).

Metodologia de ensino

Parte 1 (7 min) - Distribuir o roteiro para a atividade prática e apresentar a simulação para os estudantes, detalhando alguns dos aspectos que serão explorados ao longo da aula; salientar que trata-se de uma simulação, ou seja, estão envolvidas algumas aproximações e limitações; expor brevemente os controles que serão utilizados, como a seleção do modelo a ser utilizado (modelo de Bohr), o controle sobre os fótons incidentes (policromáticos ou monocromáticos) bem como as faixas disponíveis (ultravioleta, visível e infravermelho), o espectrômetro e o monitor das transições entre os níveis de energia;

Parte 2 (15 min) - Antes iniciar o uso da simulação, solicitar aos estudantes que calculem as energias de cada órbita a partir da equação para as energias dos níveis, considerando as órbitas de 1 a 6 (questão 1 do roteiro de atividades); a seguir, solicitar que os estudantes determinem todas as transições possíveis entre os 6 primeiros níveis de energia (questão 2 do roteiro de atividades); o professor deverá orientar e ajudar os estudantes a decifram algumas das transições para então deixar que identifiquem as demais transições;

Parte 2 (28 min) - Iniciar a simulação para auxiliar na resolução das demais questões e auxiliar o professor a esclarecer as dúvidas dos estudantes;

Roteiro de atividade prática de simulação 01

A descrição de Bohr para o átomo de hidrogênio considera que o elétron gira em torno do núcleo em órbitas bem determinadas. Bohr postulou que estas órbitas são estáveis, ou seja, não há emissão de radiação pelo elétron, como previa a teoria eletromagnética. A determinação das órbitas foi feita por Bohr ao estender as ideias da quantização de Planck

para o átomo de hidrogênio. Desse forma, a cada órbita que o elétron pode ocupar está associada uma determinada energia. A energia de cada órbita pode ser obtida pela relação:

$$E_N = - \frac{13,6 \text{ eV}}{N^2},$$

onde N é definido como o número *quântico principal*, o qual define o nível de energia do elétron, ou seja, sua órbita em torno do núcleo, e -13,6 eV (elétron-volt) é a energia do estado fundamental. A figura abaixo, à direita, é uma maneira de representar as órbitas que o elétron pode ocupar no átomo de hidrogênio e à esquerda tem-se uma representação dos níveis de energia associados a cada uma das órbitas.

O nível de energia mais baixo, $N=1$, é denominado de *estado fundamental*. Os demais níveis apresentam energia mais elevadas e a distância entre os níveis, indicados na figura acima, à direita, procura representar a diferença de energia entre os níveis. No modelo de Bohr o elétron somente pode "saltar" para níveis de energia mais elevados se absorver energia na forma de radiação, ou seja, se absorver *fótons* de luz. A energia destes *fótons* deve ser exatamente igual a diferença de energia entre dois níveis quaisquer. Após receber um *fóton* de luz e saltar para um nível superior de energia (estado excitado), após algum tempo o elétron decai espontaneamente para algum nível de energia inferior, emitindo um *fóton* com energia exatamente igual a diferença de energia entre os dois níveis envolvidos na transição.

1) Usando a equação da energia dos níveis atômicos para o átomo de hidrogênio, calcule as energias associada ao elétron nas órbitas de 1 a 6.

Energia (eV)	Energia (eV)
$E_1 =$	$E_4 =$
$E_2 =$	$E_5 =$
$E_3 =$	$E_6 =$

2) Considerando os 6 primeiros níveis de energia, relacione todas as transições possíveis entre estes níveis de energia, em ordem crescente de energia, bem como indique o valor da energia, em eV, associada a estas transições:

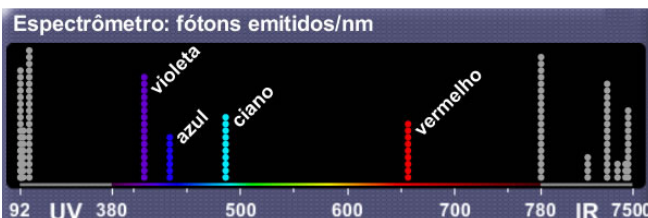
Faixa do espectro	Transição	Energia associada (eV)
Infravermelho		
(vermelho: 1,69 eV)		
Visível		
(violeta: 3,16 eV)		
Ultravioleta		

3) Qual é a energia mínima necessário para que o elétron saia do estado fundamental? Justifique:

4) Considerando apenas os níveis de 1 a 6, qual é a transição que envolve a maior energia? e a menor? Justifique:

5) A equação de Einstein para a energia do *fóton* é dada por $E = h \cdot f$, onde h é a constante de Planck ($6,63 \cdot 10^{-34}$ J.s) e f , a frequência da onda eletromagnética associada ao *fóton*. Considerando que $1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19}$ J, determine qual é a transição que emite o *fóton* de maior energia e determine a frequência da onda eletromagnética a ele associada.

Questões 6 a 10 - Na figura abaixo está representado espectro de absorção do átomo de hidrogênio. Ele foi obtido a partir da simulação, após algum tempo de funcionamento.



Pode-se constatar que o átomo de hidrogênio emite radiações na faixa do visível, ou seja, seu espectro apresentar raias coloridas (vermelho, ciano, azul e violeta). Por outro lado, para excitar o átomo de hidrogênio é necessária a absorção de radiação na faixa do ultravioleta, obrigatoriamente.

6) Como você explicaria a emissão de radiação colorida a partir da absorção de radiação ultravioleta pelo átomo de hidrogênio?

7) Na figura acima, o que representa cada "bolinha" ali indicada?

8) O que representa a altura da "pilha de bolinhas"? Qual é a característica da radiação (luz) relacionada a altura de cada uma das pilhas?

9) Supondo que a simulação represente corretamente o átomo de hidrogênio, qual das raias coloridas do espectro deste átomo seria mais brilhante quando vista pelo espectroscópio? Justifique com base na simulação.

10) Considere que o elétron esteja no estado fundamental ($N=1$). O que ocorrerá se irradiamos o átomo de hidrogênio com *fótons* de energia igual a 10,50 eV? Eles serão absorvidos? Justifique:

11) O que difere uma transição eletrônica em que o elétron salto do nível 2 para o nível 3 ($2 \rightarrow 3$) de outra em que o elétron salto do nível 3 para o nível 2 ($3 \rightarrow 2$)? Explique:

12) Considere que o elétron encontra-se no nível de energia $N=2$. Quantas e quais são as transições que podem ocorrer, as quais envolvam apenas um único *fóton*?

ANEXO B – Kit Experimental

O Kit Experimental utilizado na primeira parte do plano de aulas foi elaborado e construído pelo autor, utilizando materiais de baixo custo que podem ser adquiridos em qualquer loja especializada em equipamentos elétricos e de iluminação.

Quadro 14 - Relação de itens do kit experimental.

Descrição do item	Qtde
Lâmpada de vapor de mercúrio (soquete E-27)	01
Lâmpada de vapor de sódio (soquete E-40)	01
Lâmpada halogênea tipo palito	01
Soquete E-27	01
Soquete E-40	01
Soquete para lâmpada halogênea palito	01
Reator para lâmpada de vapor de sódio	01
Reator para lâmpada de mercúrio	01
Plug tomada convencional (macho)	03
Base de madeira retangular (15 cm largura x 30 cm comprimento x 1,5 cm espessura)	02
Cabo de extensão elétrica 3m	01
Caixa plástica 16,6 litros	01
Espectroscópio de baixo custo (ver anexo C)	01

Para facilitar o manuseio das fontes de luz durante a realização da atividade experimental foi adaptado um plug macho de tomada convencional a cada lâmpada. Além disso, os soquetes das lâmpadas de vapor de sódio e mercúrio foram fixados em uma base de madeira, juntamente com os respectivos reatores. Esta montagem permitiu dispor as três fontes lado à lado sobre uma mesa, sem a necessidade de grandes espaços. Dessa forma, organizando previamente a montagem sobre uma mesa, com o uso de uma extensão é possível ligar e desligar facilmente cada uma das fontes de luz. Foi utilizada uma caixa plástica com tampa

removível (Figura 27) para facilitar o transporte, organizar e preservar o kit experimental.

A abordagem pretendida previa a observação de espectros contínuos e descontínuos. Para tanto foram montados três soquetes, sendo uma para lâmpadas incandescentes e outros dois para lâmpadas de vapor, de sódio e de mercúrio. A lâmpada incandescente escolhida foi a lâmpada de halogênio em forma de palito. Este tipo de lâmpada requer o uso de um soquete diferenciado (Figura 28). A lâmpada de sódio é comumente utilizada para iluminação de ambientes externos. Este tipo de lâmpada requer o uso de um soquete específico tipo E-10 e necessita de um reator para ser acionada (Figura 29). A lâmpada de mercúrio utilizada é aplicada em iluminação de ambientes internos. O modelo requer o uso do soquete padrão E5 e necessita de um reator para ser acionada (Figura 30).

Figura 27 - Caixa plástica utilizada para guardar o kit experimental.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 28 - Lâmpada incandescente de halogênio tipo palito.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 29 - Lâmpada de vapor de sódio.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 30 - Lâmpada de vapor de mercúrio.



Fonte: Elaborado pelo autor.

ANEXO C – Espectroscópio de baixo custo

O espectroscópio de baixo custo sugerido para a primeira parte da sequência didática foi construído pelo autor. No entanto, durante a aplicação da sequência didática os estudantes construíram os próprios espectroscópios. Existem várias sugestões de modelos disponíveis em sítios da internet. Contudo, optou-se por aquele que se mostrou mais conveniente para os objetivos pretendidos. Tal modelo concilia facilidade de construção, simplicidade e praticidade de uso, sendo, inclusive, relativamente simples descrever os conceitos físicos envolvidos em seu funcionamento.

Quadro 15 - Relação de materiais para construção do espectroscópio.

Descrição do item	Qtde
Caixa de cereais	01
CD de dados (nunca utilizado)	01
Rolo de fita adesiva tipo silvertape	01
Rolo de fita isolante preta	01
Rolo de fita adesiva transparente	01
Régua	01
Caneta	01
Tesoura	01
Estilete	01

Para preparar a rede de difração deve-se utilizar a tesoura e cortar um pedaço do CD no formato de uma fatia de pizza, cobrindo um setor circular de aproximadamente 45° . O corte deve ser realizado na direção radial do disco. A seguir, utilizar a fita tipo Silvertape para remover a película do CD, deixando apenas a parte acrílica transparente, conforme ilustrado na Figura 31. Não remover as camadas de acrílico, ou seja, a rede de difração interna do CD deverá ficar envolta pelas camadas de acrílico. Também deve-se cortar as pontas laterais e inferior, pois as mesmas poderão oferecer risco de perfuração ao usuário do dispositivo.

Na caixa de cereais, utilizar o estilete para fazer duas aberturas nas laterais superiores (Figura 32). As aberturas devem ser retangulares. Em um dos lados, a abertura deve ter 3 cm de largura e 3 cm de altura. No outro lado, 3 cm de largura e 4 cm de altura. Use a régua e a caneta para desenhar os contornos dos retângulos. A seguir, use o estilete para cortar. No lado da menor abertura, vedar com a fita isolante preta (Figura 32.A) de maneira e produzir uma fenda bem estreita (menor que 1 mm). No lado da maior abertura, fixar o pedaço de CD longitudinalmente à lateral da caixa (Figura 32.B). Deve-se cortar as pontas laterais e inferior do setor circular para evitar acidentes. Usar fita adesiva transparente para fixar o lâmina de CD e para vedar a tampa da caixa.

Figura 31 - Preparação da rede de difração.



Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 32 - Espectroscópio de baixo custo.



Fonte: elaborado pelo autor.

ANEXO D – Termo de Consentimento Livre e Esclarecido



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

**CENTRO DE CIÊNCIAS FÍSICAS E MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE FÍSICA**

**TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E
ESCLARECIDO (TCLE)**

Senhores Pais e/ou Responsáveis

Seu(sua) filho(a) está sendo convidado(a) a participar da coleta de dados do trabalho de conclusão de curso intitulado “*Espectroscopia e modelos atômicos: uma proposta metodológica para o ensino de Física Moderna no Ensino Médio*”, **que tem como objetivo a investigação de uma abordagem para o ensino de Física com discussão sobre a inserção de tópicos de Física Moderna no Ensino Médio.**

A luz está entre os objetos mais desafiadores, importantes e controversos da Física. É, da mesma forma, protagonista de grandes invenções tecnológicas, desde tempos remotos até os dias de hoje. O ano de 2015 coincide com a celebração do milésimo aniversário do surgimento de Kitab al-Manazir, o notável tratado de sete volumes sobre óptica escrito pelo cientista árabe Ibn al-Haytham. Na 68ª Assembleia Geral da UNESCO, realizada em 20 de dezembro de 2013, foi proclamando o ano de 2015 como o Ano Internacional da Luz, sendo esta uma forma de reconhecer o papel que o estudo da luz desempenhou no conhecimento Físico e fomentar a luz e suas tecnologias.

Por outro lado, a abordagem de tópicos de Física Moderna no Ensino Médio (FMEM) tem sido objeto de estudo (PEREIRA; OSTERMANN, 2009) e preocupação. No século passado Terrazzan (1992) compartilhava a preocupação de alguns pares em iniciar nas escolas o ensino da Física do século XX antes que ele acabasse. O século XX acabou e o ensino da Física Moderna (FM) ainda parece distante das práticas de ensino atuais. Atualmente temos uma lacuna

equivalente a um século inteiro de uma nova Física, praticamente ausente das salas de aula do Ensino Médio (EM). A importância de se ensinar a FM não decorre apenas de suas conexões com o mundo tecnológico atual. Seu estudo evidencia características marcantes do conhecimento científico (TERRAZAN, 1992), como as mudanças de paradigmas, uso de modelos, dentre outras.

Por outro lado, a legislação educacional brasileira (Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional e Parâmetros Curriculares Nacionais) vem apontando para mudanças bastante significativas no EM (OLIVERIA; VIANNA; GERBASSI, 2007) de modo que este seja capaz de oferecer aos estudantes uma formação mais voltada para a cidadania e conseqüentemente, uma participação mais ativa na sociedade.

Diante deste quadro, a proposta deste trabalho é explorar as potencialidades e limitações da inserção de tópicos de física moderna no EM partindo de um plano de aulas que contemple os conteúdos programáticos a partir de um abordagem metodológica inovadora que explore os aspectos históricos da natureza do conhecimento científico bem como o uso de simulações computacionais.

Os responsáveis por este trabalho são o aluno de graduação Fábio Bartolomeu Santana, o qual poderá ser contatado a qualquer momento pelo (48) (9114-0411) ou e-mail (fabiobsantana74@gmail.com) e o seu orientador, Paulo José Sena dos Santos, professor do Departamento de Física da Universidade Federal de Santa Catarina. Cabe ressaltar que Fábio Bartolomeu Santana também é o professor titular da disciplina de Física na referida escola, ministrando aulas regularmente para seu(sua) filho(a).

Os dados, durante a aplicação da sequência didática, poderão ser coletados através dos seguintes instrumentos:

- Registros elaborados pelo estudante.
- Gravações em áudio das discussões em sala.
- Registros escritos pelos alunos.
- Questionários.

Este material será analisado posteriormente, e será garantido sigilo absoluto sobre o nome dos participantes. As informações obtidas serão analisadas e divulgadas somente quando houver a autorização do responsável. Os resultados do trabalho, que tem objetivo acadêmico,

poderão ser divulgados através do trabalho de conclusão de curso, artigos científicos e comunicações em congressos.

Pretende-se que este trabalho traga contribuições para o ensino de ciências (em especial o ensino de Física) possibilitando o desenvolvimento/avaliação de novas metodologias que facilitem a aprendizagem.

É importante ressaltar que não é previsto nenhum risco e/ou desconforto ao seu(sua) filho(a). Entretanto, é importante ponderar sobre a necessidade de se considerar (sempre) a existências de riscos intrínsecos a atividade de pesquisa. Também deve ser lembrado que a sequência faz parte das aulas regulares de Física e portanto, a não concordância com a participação da coleta dos dados não isenta o(a) aluno(a) das atividades da sala de aula que serão ministradas pelo estudante/professor.

Caso não queira mais que seu(sua) filho(a) tenha os dados analisados, você poderá desistir a qualquer momento. Para isso, basta nos contatar através do telefone ou e-mail disponibilizado anteriormente.

Declaração dos pais ou responsáveis: após a leitura do anteriormente exposto, declaro estar suficientemente informado(a) a respeito do trabalho “*Espectroscopia e modelos atômicos: uma proposta metodológica para o ensino de Física Moderna no Ensino Médio*”. Declaro também estar esclarecido acerca dos propósitos do trabalho, dos procedimentos que serão adotados, das garantias de confidencialidade e de que a qualquer momento posso pedir esclarecimentos. Afirmando ter conhecimento também da garantia por parte dos pesquisadores, de acesso à documentação referente ao trabalho, quando assim o desejar, e da possibilidade de retirada do meu consentimento de utilização das informações coletadas sem penalidades ou prejuízos. Para finalizar, declaro concordar voluntariamente que meu filho(a) _____ participe da coleta dos dados.

Florianópolis, ____ de _____ de 2015,

Assinatura dos pais ou responsáveis - CPF

Declaração do pesquisador: declaro que obtive de forma apropriada e voluntária o Consentimento Livre e Esclarecido do sujeito

de pesquisa, ou do representante legal, para a participação deste trabalho.

Florianópolis, _____ de _____ de 2015,

Fábio Bartolomeu Santana

ANEXO E - Avaliação final

Questões 1 e 2 - Até a época de J. J. Thomson, o modelo de Dalton era o modelo atômico vigente. De acordo com este modelo, o átomo era constituído por uma esfera rígida e indivisível. O estudo dos raios catódicos já ocorria antes mesmo de J. J. Thomson, porém foi por ele aprimorado. Ao analisar os raios emitidos, oriundos de cátodos feitos de diferentes materiais, concluiu que os constituintes dos raios catódicos estariam presentes em todas as substâncias. Além disso, outras características dos raios catódicos foram determinadas através das observações de J. J. Thomson, sendo constatado que estes eram constituídos de partículas que apresentavam carga elétrica negativa e massa.

1) Os trabalhos de J. J. Thomson conduziram a descoberta da primeira partícula subatômica. Como denomina-se atualmente esta partícula e por quê esta descoberta conduziu ao abandono do modelo de Dalton para o átomo?

2) Na ocasião em que J. J. Thomson propôs o seu modelo atômico, um ponto importante a ser considerado dizia respeito a estabilidade da matéria. Descreva como era o modelo proposto por J. J. Thomson. Que característica deste modelo conferia estabilidade à matéria?

Questões 3 e 4 - Por volta de 1910, E. Rutherford orientou dois de seus alunos a fazerem um experimento que consistia em bombardear alguns materiais com radiação alpha. Os resultados obtidos no experimento de Geiger-Marsden (como ficou conhecido este experimento) foi analisado por E. Rutherford e suas conclusões foram publicadas algum tempo depois.

3) A análise dos resultados do experimento de Geiger-Marsden levaram E. Rutherford a concluir que o átomo apresentava uma propriedade bem característica em sua estrutura. Que característica era essa e por que tal característica evidenciava uma falha no modelo de J. J. Thomson? Explique:

4) O experimento de Geiger-Marsden proporcionou um grande avanço nos modelos atômicos. Contudo, o modelo proposto por E. Rutherford não foi aceito pela comunidade científica, pois não conferia estabilidade

ao átomo. Diga qual era a característica deste modelo que levava à instabilidade do átomo e explique por que:

Questões 5 a 7 - Os estudos da espectroscopia acumularam uma grande quantidade de informações sobre os elementos químicos. Os espectros de emissão e absorção do átomo de hidrogênio já eram bem conhecidos à época em que N. Bohr propôs seu modelo atômico para esse elemento. O modelo proposto por N. Bohr, por volta de 1913, apresentava boa concordância com estes espectros, além de incorporar as ideias de M. Planck e de A. Einstein. Dessa maneira, o modelo atômico proposto por Bohr não encontrava suporte nas teorias físicas até então vigentes, sendo por este motivo, considerado como um modelo semiclássico. A busca por uma teoria que desse suporte as novas ideias que estavam surgindo no início dos anos de 1900, necessárias para descrição dos novos fenômenos observados, mais especificamente aqueles relacionados à estrutura microscópica da matéria, levaram ao abandono das ideias da Física anterior a este período, hoje denominada de *Física Clássica*, e conduziram ao desenvolvimento do que hoje chamamos de *mecânica quântica*, inaugurando uma nova fase na Física, denominada de *Física Moderna*.

5) O maior desafio de Bohr era estabilizar o modelo atômico proposto por E. Rutherford. Para tanto, utilizou as ideias de M. Planck, ou seja, Bohr utilizou as ideias da quantização em seu modelo atômico. Qual foi a característica do átomo que foi quantizada por Bohr?

6) Os estudos de A. Einstein sobre o efeito fotoelétrico também foram considerados por Bohr na elaboração de seu modelo atômico. De que maneira Bohr interpretava o mecanismo de emissão e absorção de luz pelo elétron no átomo de hidrogênio?

7) Até a época de Bohr não se sabia por que os espectros dos elementos químicos eram discretos. Além disso, o espectro dos elementos químicos era composto por um determinado conjunto de cores, diferente para cada elemento. Com o modelo atômico de Bohr foi possível explicar por que isto ocorre. Com base neste modelo, explique por que o espectro de emissão dos elementos químicos é discreto e não contínuo.

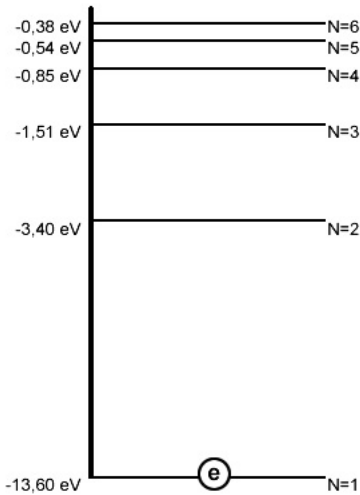
Questões 8 a 11 - O modelo atômico de Bohr para o átomo de hidrogênio permitiu calcular os níveis de energia correspondente as órbitas que poderiam ser ocupadas pelo elétron. A tabela abaixo contém

as linhas espectrais do átomo de hidrogênio, referentes as possíveis transições entre os primeiros 6 níveis de energia, bem como a energia dos fótons associados as estas transições, dada pela relação de Einstein, $E = h.f$, onde h é a constante de Plank e f é a frequência da luz característica do fóton.

Tabela 1 - Linhas espectrais para o átomo de hidrogênio.

Faixa do espectro (fóton)	Cor	Energia do fóton
Infravermelho	---	0,66 eV
Infravermelho	---	0,97 eV
Infravermelho	---	1,13 eV
Visível	Vermelho	1,89 eV
Visível	Ciano	2,55 eV
Visível	Azul	2,86 eV
Visível	Anil	3,02 eV
Ultravioleta	---	10,20 eV
Ultravioleta	---	12,09 eV
Ultravioleta	---	12,75 eV
Ultravioleta	---	13,06 eV
Ultravioleta	---	13,22 eV

A figura que segue corresponde a uma representação (meramente ilustrativa) dos níveis de energia para o elétron do átomo de hidrogênio, desde a órbita do estado fundamental (N=1) até a órbita que corresponde ao nível 6 de energia. Cada um dos fótons da tabela corresponde a uma das transições possíveis entre os níveis 1 a 6 do diagrama abaixo.



- 8) O elétron está representado pela pequena esfera, indicada por e , o qual encontra-se no estado fundamental, cuja energia vale $-13,6$ eV. Considerando que o elétron esteja no estado fundamental (N=1), o nível de energia mais "próximo" corresponde ao estado N=2. Qual deverá ser a energia de um fóton para que seja absorvido pelo elétron e permita a ele "saltar" do estado fundamental para o nível N=2?
- 9) Considere que o elétron esteja na órbita correspondente ao nível 4 de energia. Estando neste nível, relacione quais são as possíveis transições que o elétron pode sofrer ao decair até atingir o estado fundamental.
- 10) Considere que o elétron esteja na órbita correspondente ao nível 3 de energia. Estando neste nível, existem 5 transições possíveis que o elétron pode sofrer, absorvendo ou emitindo um único fóton. Preencha a tabela abaixo seguindo o modelo, indicando estas transições e identificando quais fótons são emitidos (ou absorvidos) em cada uma delas.

Transição	Energia do fóton	Faixa do espectro	Interação
3 → 4	0,66 eV	Infravermelho	Absorção

11) A figura abaixo representa o espectro de emissão do átomo de hidrogênio na faixa do visível. As linhas coloridas correspondem a série de Balmer, assim denominada em homenagem ao Físico suíço Johann Jakob Balmer. A série de Balmer corresponde a todas as possíveis transições do elétron dos níveis 3, 4, 5 ou 6 para o nível 2.



Verifique na tabela a energia dos fótons correspondentes a cada uma das cores. A seguir identifique entre quais níveis de energia o elétron deve "saltar" para emitir um fóton correspondente a cada uma das cores do espectro. Registre a sua resposta preenchendo a tabela abaixo em **ordem crescente** de frequência. Descreva, logo abaixo, como você foi capaz de identificar que a frequência de uma cor é maior que a das outras:

Faixa do espectro (cor)	Transição