

Elisa Iahn Goettems

**ESPECTROSCOPIA:
UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA COM ENFOQUE NA
ASTRONOMIA PARA ENSINO MÉDIO**

Trabalho de Conclusão de Curso
submetido(a) ao Curso de Graduação
em Física da Universidade Federal de
Santa Catarina para a obtenção do
Grau de Licenciada em Física.
Orientadora: Profa. Dra. Natalia Vale
Asari.

Florianópolis
2017

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

Goettems, Elisa Iahn
ESPECTROSCOPIA: : UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA COM
ENFOQUE NA ASTRONOMIA PARA ENSINO MÉDIO / Elisa Iahn
Goettems ; orientadora, Natalia Vale Asari, 2017.
70 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de
Ciências Físicas e Matemáticas, Graduação em Física,
Florianópolis, 2017.

Inclui referências.

1. Física. 2. Ensino de Física. 3. Espectroscopia.
4. Física Moderna e Contemporânea. 5. Astronomia. I.
Vale Asari, Natalia. II. Universidade Federal de
Santa Catarina. Graduação em Física. III. Título.

Elisa Iahn Goettems

**ESPECTROSCOPIA:
UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA COM ENFOQUE NA
ASTRONOMIA PARA ENSINO MÉDIO**

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

Florianópolis, 09 de Junho de 2017.

Prof. Celso Yuji Matuo, Dr.
Coordenador do Curso

Banca Examinadora:

Prof.^a Natalia Vale Asari, Dr.^a
Orientadora
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof.^a Tatiana da Silva, Dr.^a
Universidade Federal de Santa Catarina

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

Prof. Nelson Canzian da Silva, Dr.
Suplente
Universidade Federal de Santa Catarina

Este trabalho é dedicado aos meus
queridos pais e amigos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à minha família por todo amor e carinho. Aos meus pais, que mesmo de longe nunca deixaram de me apoiar em todas as minhas decisões. Aos meus irmãos que ajudaram a me tornar a pessoa que sou hoje. Em especial ao meu irmão José que sempre me animou e esteve me apoiando mesmo que de forma subjetiva nesses anos de faculdade. À minha amiga de infância Tainara, que sempre acreditou em mim, me distraíndo nos momentos difíceis.

Agradeço à minha orientadora, Natalia Vale Asari, por ter me guiado na realização deste trabalho e durante meus três anos de Iniciação Científica. Obrigada pela oportunidade, pelos conselhos e críticas, pela paciência e dedicação.

Um agradecimento especial a Tatiana da Silva, minha professora de Ciências do ensino fundamental, que despertou em mim a paixão pela ciência. É de você que me lembro quando falam de um bom exemplo de professora.

Aos membros da banca que se disponibilizaram a avaliar meu trabalho, e que fizeram parte direta na minha formação acadêmica. E aos demais professores que contribuíram de forma significativa nesta etapa tão importante.

Agradeço profundamente ao Fábio, que esteve ao meu lado durante tantos anos, me consolando logo depois de uma prova difícil ou me ajudando com os trabalhos de faculdade. Entendendo que alguns finais de semana ou feriados tiveram que ser cancelados. Todo esse esforço enfim valeu a pena, obrigada por ser meu melhor amigo e companheiro, por acreditar em mim e me fazer seguir em frente.

A todos os meus queridos amigos e companheiros desta jornada, em especial a Cássia, Hélcio, Bruna, Daniela, Contesini, JP, Leandro e Paulo por me ajudarem nos momentos difíceis, estudarem comigo nas vésperas de provas e me acompanharem na minha formação pessoal.

Agradecimento especial ao Rafael, que muito me ajudou na etapa final da faculdade. Sem você não teria conseguido, obrigada por estar do meu lado neste momento decisivo. A você todo meu amor.

Se não fosse imperador, desejaria ser professor.
Não conheço missão maior e mais nobre que a de
dirigir as inteligências jovens e preparar os
homens do futuro.

(Dom Pedro I)

RESUMO

O presente trabalho tem por escopo apresentar uma sequência com oito aulas, cujo enfoque é o ensino de Física Moderna e Contemporânea para o segundo ano do Ensino Médio em conexão com tópicos de Astronomia. Primeiro, são levantados os principais trabalhos sobre o tema do ensino de Física Moderna, que teve um grande número de publicações e discussões desde o início do século XIX. Posteriormente utilizam-se essas referências teóricas para justificar a sequência e as principais ferramentas utilizadas nas aulas são: O uso de analogias, atividades experimentais investigativas, e a exploração dos limites clássicos. Ainda discutem-se os principais motivos para inserir essas abordagens. E por fim a sequência didática é apresentada, com aulas divididas em momentos, nas quais são apresentadas atividades experimentais e investigativas e uso de analogias.

Palavras-chave: Ensino de Física. Física Moderna e Contemporânea. Astronomia.

ABSTRACT

The present work aims to present a sequence of eight classes, whose focus is teaching Modern and Contemporary Physics for the second year of High School in connection to topics in Astronomy. First the main studies on the subject of teaching Modern Physics are presented. This topic has had a great number of publications and discussions since the beginning of the 19th century. Subsequently, these theoretical references are used to justify the sequence of classes. The main tools used in the classes are: The use of analogies, experimental investigative activities, and the exploration of classical limits. The main reasons for using these approaches are discussed. Finally, the didactic sequence is presented, with classes divided into moments, in which experimental and investigative activities and the use of analogies are presented.

Keywords: Physics Teaching. Modern and Contemporary Physics. Astronomy.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Espectro eletromagnético.....	26
Figura 2 - Resultado observado para o experimento descrito no anexo B.....	30
Figura 3 - Resultado observado para o experimento de fenda simples e dupla para um laser verde.....	30
Figura 4 - Esquema de montagem para verificar a diferença das distâncias das ranhuras do CD/DVD.....	33
Figura 5 - Espectro do Mercúrio.....	36
Figura 6 - Espectro do Sódio.....	36
Figura 7 - Espectro do Bromo.....	36
Figura 8 - Espectro do Iodo.....	37
Figura 9 - Leis de Kirchoff.....	39
Figura 10 - Processo atômico para o aparecimento de linhas de absorção.....	40
Figura 11 - Processo atômico para o aparecimento de linhas de emissão.....	40
Figura 12 - Espectro do Sol.....	43
Figura 13 - Espectro dos elementos.....	43
Figura 14 - Imagem e espectro da nebulosa de Haltere (M27).....	45
Figura 15 - Imagem e espectro da nebulosa de Órion.....	45
Figura 16 - Imagem e nebulosa do Anel.....	46
Figura 17 - Espectro da estrela Betelgeuse.....	46
Figura 18 - Efeito Doppler da luz.....	48
Figura 19 - As leis de Kirchoff na forma gráfica.....	50
Figura 20 - Espectro de calibração.....	51
Figura 21 - Espectro de duas galáxias distintas.....	52

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Distribuição das aulas.....	24
--	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

FMC - Ensino de Física Moderna e Contemporânea

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	12
2 OBJETIVOS.....	16
2.1 OBJETIVO GERAL.....	16
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
3 REFERENCIAL TEÓRICO.....	17
3.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
3.2 ATIVIDADES EXPERIMENTAIS.....	18
4 A PROPOSTA.....	21
4.1 SEQUÊNCIA DE AULAS.....	24
4.1.1 Aula 1 - O espectro eletromagnético.....	25
4.1.2 Aula 2 - Dispersão.....	28
4.1.3 Aula 3 - Interferência.....	30
4.1.4 Aula 4 - Espectrógrafo.....	32
4.1.5 Aula 5 - Composição química (dos gases) das lâmpadas.....	34
4.1.6 Aula 6 - Mecânica quântica.....	37
4.1.7 Aula 7 - Espectros: do micro e ao macro.....	41
4.1.8 Aula 8 - O efeito doppler e a expansão do Universo.....	47
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	54
REFERÊNCIAS.....	56
APÊNDICE A – Textos ilustrativos de cada faixa do espectro eletromagnético.....	61
ANEXO A – Atividade de dispersão da luz.....	63
ANEXO B – Atividade experimental de fenda simples e dupla.....	64
ANEXO C – Atividade experimental de construção de espectrógrafos.....	67
ANEXO D – Vídeo efeito Doppler com ondas sonoras.....	70

1. INTRODUÇÃO

O tema de Ensino de Física Moderna e Contemporânea (FMC) no ensino médio tem sido um campo amplamente discutido. No trabalho Ostermann e Moreira (2000) é apresentada uma revisão bibliográfica sobre este tema, onde se destaca a ausência de trabalhos que visem à aplicação em sala de aula do ensino médio. Levando em conta essa escassez de materiais que possam ser utilizados pelos professores, o presente trabalho busca uma alternativa para tal situação. Levando em conta a discussão apresentada por Ostermann e Moreira:

Na III Conferência Interamericana sobre Educação em Física (BAROJAS, 1988), foi organizado um grupo de trabalho para discutir o ensino de Física Moderna. Na discussão, foram levantadas inúmeras razões para a introdução de tópicos contemporâneos na escola média. Dentre elas destacam-se:

- I. Despertar a curiosidade dos estudantes e ajudá-los a reconhecer a Física como um empreendimento humano e, portanto, mais próxima a eles;
- II. Os estudantes não têm contato com o excitante mundo da pesquisa atual em Física, pois não vêem nenhuma Física além de 1900. Esta situação é inaceitável em um século no qual as ideias revolucionárias mudaram a ciência totalmente;
- III. É de maior interesse atrair os jovens para a carreira científica. Serão eles os futuros pesquisadores e professores de Física;
- IV. É mais divertido para o professor ensinar tópicos que são novos. O entusiasmo pelo ensino deriva do entusiasmo que se tem em relação ao material didático utilizado e de mudanças estimulantes no conteúdo do curso. É importante não desprezar os efeitos que o entusiasmo tem sobre o bom ensino;
- V. Física Moderna é considerada conceitualmente difícil e abstrata; mas, resultados de pesquisa em ensino de Física têm mostrado que, além da Física Clássica ser também abstrata, os estudantes apresentam sérias dificuldades conceituais para compreendê-las. (OSTERMANN; MOREIRA, 2000)

Para fins de melhor compreensão, utilizamos a mesma divisão da Física em "eras" feita por Sanches (2006): Física Clássica, iniciando-se nos trabalhos de Galileu até o final do século XIX; Física Moderna,

compreendida entre o final do século XIX até meados da década de vinte do século XX; e Física Contemporânea daí em diante.

Apesar do avanço da tecnologia e da ciência, o ensino da física permaneceu inalterado, e ainda apresenta formas rudimentares de aplicação. Com essa constatação concorda Terrazan:

O que não podemos esperar é a entrada do século XXI para iniciarmos a discussão nas escolas da Física do Século XX. Utilizando a frase de um colega pesquisador em ensino de Física, Prof. João Zanetic da USP, é fundamental que “ensinemos a física do século XX antes que ele acabe”.
(TERRAZAN, 1992)

A Física vista em sala de aula apresenta uma defasagem em relação ao desenvolvimento científico e tecnológico. Essa defasagem fica evidente ao analisarmos o desenvolvimento da sequência dos assuntos apresentados nos livros didáticos (BRASIL, 2014), que pouco se modificou desde os compêndios (primeiros livros didáticos), com o acréscimo de assuntos mais modernos no ensino médio, quase não abrangidos em sala de aula.

Uma forma de modificar este cenário seria uma mudança curricular, onde novos tópicos deveriam ser inseridos para promover um maior interesse dos alunos pela ciência e trazer o ensino de física mais próximo ao cotidiano do aluno. A Física Moderna apresentada no ensino médio atual já não pode ser considerada Moderna. Conceitos como efeito fotoelétrico, empregado por exemplo no sistema automático de iluminação, controle remoto e alarmes, não são atualmente abordados. Levando o estudante a questionar o propósito da Física, pois não vê uso no seu dia-a-dia, como discutem Oliveira, Viviane e Gerbassi:

A lacuna provocada por um currículo de física desatualizado resulta numa prática pedagógica desvinculada e descontextualizada da realidade do aluno. Isso não permite que ele compreenda qual a necessidade de se estudar essa disciplina que, na maioria dos casos, se resume em aulas baseadas em fórmulas e equações matemáticas, excluindo o papel histórico, cultural e social que a física desempenha no mundo em que vive. (OLIVEIRA; VIANNA; GERBASSI, 2007).

E Valadares e Moreira concordam, explicando que:

É imprescindível que o estudante de segundo grau conheça os fundamentos da tecnologia atual, já que ela atua diretamente em sua vida e certamente definirá o seu futuro profissional. Daí a importância de se introduzir conceitos básicos de Física Moderna e, em especial, de se fazer uma ponte entre a física da sala de aula e a física do cotidiano. (VALADARES; MOREIRA, 1998)

Tem-se apresentado pelo menos três abordagens metodológicas para a introdução de FMC no ensino médio: exploração dos limites clássicos; não utilização de referências aos modelos clássicos; escolha de tópicos essenciais (OSTERMANN; MOREIRA, 2000). É de interesse neste trabalho explorar os limites clássicos, atendo-se principalmente nos trabalhos de Gil et. al. (1988). Esses autores foram responsáveis pela análise de um questionário aplicado a cerca de 536 alunos cujas respostas revelaram que os estudantes ainda não perceberam a existência de uma crise no desenvolver da Física Clássica (OSTERMANN; MOREIRA, 2000).

A proposta desta monografia, oferecida nos capítulos subsequentes, surgiu basicamente nas aulas de Prática de Ensino de Física Moderna, e almeja aferir uma conexão entre a sala de aula do ensino médio com uma parte do trabalho desenvolvido na Iniciação Científica.

Sendo assim, apresentou-se mais uma alternativa para letramento da Física Moderna para o segundo ano do ensino médio. Destacando conteúdos como: quantização da energia, leis de Kirchoff e átomo de Bohr. Buscou-se intercalar a teoria e a prática nas salas de aula, na qual os alunos terão a oportunidade de expressar suas hipóteses acerca do fenômeno estudado e trabalhar com atividades experimentais que o demonstrem. Concordando com Borges:

A ciência, em sua forma final, se apresenta como um sistema de natureza teórica. Contudo é necessário que procuremos criar oportunidades para que o ensino experimental e o ensino teórico se efetuem em concordância, permitindo ao estudante integrar o conhecimento prático e conhecimento teórico. (BORGES, 2002)

A sequência didática começa com tópicos ainda de Física Clássica, como o espectro eletromagnético, dispersão da luz através de um prisma e, interferência. Com aulas de atividades práticas os alunos serão direcionados para a aula 6, na qual serão tratados com mais ênfase conceitos de mecânica quântica. Para tal, propõe-se o uso de analogia, melhor detalhada nas páginas que se seguem. Este trabalho é uma alternativa para o levantamento apresentado por Ostermann et al. (2008) já que:

Uma revisão da literatura recente (OSTERMANN e RICCI, 2004), envolvendo artigos que discutem questões em ensino relacionadas ao tema e instrumentos construídos para a detecção de concepções de alunos e professores de Física sobre Física Quântica (FQ), mostrou que ainda são poucas as propostas de introdução de FQ no Ensino Médio e na formação de professores não apenas no Brasil ou na América Latina, devendo ser esse um tema recorrente em qualquer discussão que envolva tecnologias modernas, como leitores de CD, luz laser, transistores e supercondutividade, para citar alguns exemplos. (OSTERMANN; PRADO; RICCI, 2008)

E ainda de Pereira e Ostermann (2009) que também apresenta uma revisão da literatura sobre a inserção de tópicos de física moderna no ensino médio.

Outros trabalhos que também apresentam alternativas para a inserção de tópicos de FMC no ensino médio estão detalhados no capítulo 3, referencial teórico.

Após a apresentação do tema geral do trabalho, relacionamos os objetivos (geral e específico) com o referencial teórico. A sequência didática é proposta a partir dessa correlação.

O trabalho está dividido em cinco capítulos. No capítulo 2, apontam-se os principais objetivos que se esperam com a sequência didática. No capítulo 3, elencam-se os tópicos que dizem respeito à metodologia utilizada e uma pequena revisão sobre o tema de FMC no ensino médio é evidenciada. No capítulo 4, apresenta-se a proposta didática e a sequência de oito aulas, que são divididas em momentos. No capítulo 5, retomam-se os principais objetivos e são apresentados trabalhos de introdução de tópicos de física moderna na literatura.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVOS GERAIS

- ❑ Desenvolver atividades e problematizações envolvendo o tema espectroscopia ligada a área de astronomia;
- ❑ Proporcionar ao aluno a visão do micro relacionando com o macro;
- ❑ Proporcionar o desenvolvimento de aparatos experimentais relacionando com o tema proposto;
- ❑ Salientar a importância da ciência para o desenvolvimento tecnológico;
- ❑ Despertar o interesse pela Astronomia e pela ciência em geral.

2.2 OBJETIVO ESPECÍFICO

Apresentar uma sequência didática de ensino de espectroscopia ligado à astronomia no ensino médio. Analisar os elementos químicos presentes em alguns objetos cotidianos, como lâmpadas, e em objetos astronômicos, tais como estrelas e nebulosas, através de processos que envolvem a emissão e absorção de radiação pela matéria.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

Aqui estão pautadas as principais estratégias que serão empregadas na sequência didática. Para se ter maior clareza sobre o uso dessas metodologias, foi feita uma breve explanação apontando as principais características, assim como pesquisas relacionadas.

Similarmente é feita uma breve revisão bibliográfica dos principais trabalhos que envolvam tópicos de FMC no ensino médio.

3.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A partir do XII SNEF de 1997, realizado em Belo Horizonte, foram apresentados vários trabalhos, cursos e oficinas como alternativa para a inserção de tópicos de FMC no ensino médio (CAVALCANTE e TAVOLARO, 2001).

Dentre os que se destacam na perspectiva desta monografia são introduzidos abaixo.

Cavalcante e Tavolaro (2001) traz uma pesquisa que resultou na construção de materiais didáticos de baixo custo para a exploração de fenômenos de interferência a difração, assim como o comportamento corpuscular da luz, abordados através de uma oficina.

Valadares e Moreira (1998) são apresentados algumas experiências de baixo custo para a introdução de tópicos como efeito fotoelétrico, laser e emissão de corpo negro no segundo grau do ensino médio, relacionados com o cotidiano do aluno.

Arruda e Toginho Filho (2004) desenvolveram um laboratório de física moderna que visa apresentar fenômeno como efeito fotoelétrico assim como espectros de mercúrio. (apud PEREIRA e OSTERMANN, 2009).

Cavalcante e Benedetto (1999) aborda de maneira simples a construção de um espectroscópio caseiro possibilitando determinar os comprimentos de ondas das linhas espectrais de uma lâmpada de mercúrio.

Cavalcante e Barros (1999) também mostra uma alternativa para a construção de um espectroscópio caseiro, utilizando um CD (compact disc) para a decomposição da luz em diferentes frequências.

Santana (2015) aborda conceitos de física moderna para o ensino médio contemplando minimamente alguns aspectos históricos, explorando a construção do conhecimento científico, fazendo o uso de simulações computacionais. Conceitos como espectroscopia, quantização da energia e da luz e modelo atômico de Bohr estão presentes neste trabalho.

3.2 ATIVIDADES EXPERIMENTAIS

A proposta de utilizar atividades experimentais veio com o intuito de minimizar as dificuldades no ensino de ciências. Ela é apresentada com a elaboração de hipóteses prévias ao experimento. Por exemplo, poderia-se pedir para os estudantes investigarem o lançamento oblíquo de uma objeto, e os alunos poderiam criar teorias que expliquem a sua trajetória. Em seguida o experimento pode ou não confirmar as expectativas anteriores. Por fim, com um debate pós-atividade o lecionando pode reinterpretar suas primeiras hipóteses. Contudo, para que uma atividade seja considerada de investigação, elas devem ser desenvolvidas pelo alunos e não podem se ater à simples manipulação ou observação, pois é preciso exibir um caráter reflexivo e de discussão (CARVALHO et al., 2004, p.21), na qual são introduzidos em algumas das aulas da sequência.

Araújo e Abib (2003) traz uma análise da produção acadêmica entre 1992 e 2001 em dois periódicos brasileiros sobre a temática de experimentação como estratégia de ensino de física. Cabe destaque ao pequeno número ainda de trabalhos sobre conceitos de física moderna. Neste trabalho ainda é exposto uma análise quanto ao grau de direcionamento das atividades, dentre as quais a maioria das aulas propostas nesta sequência se encaixa na questão de atividade investigativas, na qual atividades de demonstração aberta também podem ser consideradas como uma modalidade destes agrupamento, desde que o encaminhamento dessas atividades permita a participação dos alunos, o que ocorre em alguns momentos das aulas desta sequência. Possibilitando o aluno teste de hipóteses, descrição de fenômenos, desenvolvimento da capacidade de observação que proporcionam a elaboração de explicações pelos alunos, salientando o caráter reflexivo da atividade e contribuindo para o desenvolvimento intelectual do aluno (ARAÚJO E ABIB, 2003).

Como destaca Azevedo:

O objetivo é levar os alunos a pensar, debater, justificar suas ideias e aplicar seus conhecimentos em situações novas, usando os conhecimentos teóricos e matemáticos. (CARVALHO, cap.2, 2004)

Nas aulas desta sequência buscou-se explorar esse caráter de investigação nas atividades propostas, almejando desenvolver no aluno a capacidade de argumentar sobre suas hipóteses, o que fará parte de sua avaliação.

Algumas conclusões sobre o uso de laboratório de ciências destacada em Filho e Pietrocola:

- ❑ O laboratório didático sempre manteve um espaço prestigiado para discussão e apresentação de trabalhos;
- ❑ Sempre foi constante e manifesta a apreensão da comunidade quanto à função didática do laboratório no ensino de física;
- ❑ Quando o laboratório didático no ensino médio não está totalmente ausente, sua presença é restrita a experiências e iniciativas pessoais de professores;
- ❑ O papel delegado ao laboratório didático com mais frequência é o de comprovação da teoria, isto quando utilizado;
 - ❑ A influência dos projetos de ensino foi bastante forte quanto à "modernização" do acervo experimental;
- ❑ O movimento dos materiais alternativos, além de suprir necessidades de material experimental, continha a percepção de que fazendo o equipamento, era possível aprender;
- ❑ A concepção didática mais vulgarizada do laboratório didático é o de facilitador da aprendizagem;
 - ❑ As práticas experimentais mais populares têm características comprobatórias, o que as coloca em plena sincronia com o ensino tradicional dogmatizado, que por sua vez se apoia em uma concepção empirista de ciência;
 - ❑ Relativamente recente, as atividades com a mídia (simulações, internet, etc) se mostram atraentes e motivadores mas há que se fazer ressalvas. O excesso de sofisticação de algumas atividades podem produzir equívocos de interpretação por parte do aluno. É fundamental que o aluno consiga fazer uma relação direta e próxima da realidade que conhece, caso contrário não saberá transpor a idealização da "tela". Simulações atraentes mas mal feitas, nunca irão substituir uma simples prática experimental. (FILHO e PIETROCOLA, 2000)

Nem todas as conclusões ainda se aplicam no ensino de física atual, tendo decorrido um tempo razoável desde a realização deste trabalho. Contudo algumas características apontadas, podem ser utilizadas no discurso da utilização de atividades experimentais nas aulas de físico do ensino médio, tais como de o principal papel das atividades experimentais mostradas em sala de aula serem de comprovação da teoria.

A importância das atividades experimentais no ensino médio propostas nesta sequência didática possibilitar o teste de hipóteses tem destaque em Filho e Pietrocola:

A liberdade de testar hipóteses presentes no exercício experimental como tentativas de soluções de desafios propostos, dá a chance de propor diferentes meios ou caminhos para chegar ao resultado desejado. Diferentes exercícios e diferentes caminhos para a solução oferecerão condições ao estudante no desenvolvimento de táticas e estratégias que possam ser utilizadas em outras situações. (FILHO e PIETROCOLA, 2000)

As atividades propostas são sugeridas para serem realizadas em grupo, promovendo uma maior interação social em sala de aula, também proporcionando a troca de ideias e compartilhamento de hipóteses por diferentes alunos com conhecimentos e ideias prévias distintas.

4. A PROPOSTA

Os astros celestes, além de serem alvo de curiosidade e especulação humana, foram também usados para fins práticos. Os nossos antepassados utilizavam-nos em sua vida cotidiana, como na agricultura, arquitetura, navegação e localização. Atualmente, o tema desperta o interesse de muitos jovens pela ciência. Por essa razão, esta sequência didática aproveita-se do interesse pela astronomia para inserir um assunto de FMC no segundo ano do ensino médio por meio de oito aulas.

A motivação para a construção desta sequência didática se deu através das aulas da disciplina de Prática de Física Moderna. Essas aulas tornaram possível o pensamento de alternativas para a inserção de temas a princípio complexos de forma simples e criativa em aulas do ensino médio.

Face ao exposto, o tema escolhido para ser aplicado nas aulas foi a espectroscopia, cuja explicação passa pelos modelos de estrutura eletrônica dos átomos. A espectroscopia possibilita relacionar a composição química de objetos cotidianos com os dos astronômicos, visto que esses últimos não podem ser trazidos ao laboratório. Os espectros revelam a impressão digital dos componentes químicos. Com isso, é realizada a ligação do microscópico (estrutura atômica) e o macroscópico (linhas do espectro).

Esta proposta visa a aplicar as aulas como uma vertente de exploração dos limites clássicos, associadas ao tema de ondas mecânicas clássicas. Um aspecto essencial nesta sequência didática é a abordagem experimental. Optou-se por salientar a vertente exploratória e investigativa das atividades experimentais, utilizando-se basicamente de experimentos simples e de fácil acesso pelos alunos. É um equívoco insistir que para realização de trabalhos experimentais se faz essencial o uso de instrumentos ou aparelhos sofisticados (BORGES, 2002).

As atividades experimentais propostas têm finalidade de inserir os alunos num campo da investigação e exploração de objetos. Assim,

eles serão capazes de testar suas ideias iniciais, perfazendo o que é citado na Proposta Curricular de Santa Catarina:

Como característica da área Ciências da Natureza e Matemática há possibilidade de se executarem experimentações, de se refutarem ou confirmarem hipóteses, de se realizarem prospecções empíricas que antecedem e modelagens ou elaborações teóricas. (SANTA CATARINA, p.170, 2014).

Examinando o caráter interdisciplinar das atividades experimentais, é válido apresentar o destaque que se tem dado a esta abordagem:

Na proposta de reforma curricular do Ensino Médio, a interdisciplinaridade deve ser compreendida a partir de uma abordagem relacional, em que se propõe que, por meio da prática escolar, sejam estabelecidas interconexões e passagens entre os conhecimentos através de relações de complementaridade, convergência ou divergência. A integração de diferentes conhecimentos pode criar as condições necessárias para uma aprendizagem motivadora, na medida em que se ofereça maior liberdade aos professores e alunos para a seleção de conteúdos mais diretamente relacionados aos assuntos ou problemas que dizem respeito à vida da comunidade. Todo conhecimento é socialmente comprometido e não há conhecimento que possa ser aprendido e recriado se não se parte das preocupações que as pessoas detêm. (BRASIL, 2000, p. 21)

Consentindo com o que é versado nos Parâmetros Curriculares Nacionais:

O conceito de interdisciplinaridade fica mais claro quando se considera o fato trivial de que todo conhecimento mantém um diálogo permanente com outros conhecimentos, que pode ser de questionamento, de confirmação, de contemplação, de negação, de ampliação, de iluminação de aspectos não distinguidos. (BRASIL, 2000, p. 75)

Compete ressaltar que esta sequência didática pressupõe alguns conhecimentos anteriores dos alunos, dentre eles: relação entre comprimento de onda e frequência, reflexão, refração e interferência. Esses conhecimentos não são obrigatórios, porém são desejáveis para a

melhor realização principalmente nas primeiras aulas da sequência. Como um dos objetivos é a exploração dos limites clássicos, é aconselhável que os alunos já estejam familiarizados com o tema de ondas mecânicas, em especial a interferência de ondas, e com a dispersão da luz em óptica geométrica.

A alternativa proposta para a avaliação dos alunos será em especial voltada às atividades práticas e aos questionamentos ao longo das aulas. O papel do professor é atentar-se às perguntas, hipóteses e dúvidas dos alunos. A participação do aluno em sala, seja na organização do trabalho em grupos ou nas atividades individuais, é de extrema importância para que se possa perceber alguma aprendizagem. Tendo em conta essa abordagem, Borges recomenda que

[...] o professor utilize-se de atividades pré-laboratório para clarificar os objetivos pretendidos, ideias iniciais dos estudantes e suas expectativas acerca do fenômeno estudado.

Após a atividade prática, recomenda-se a discussão dos resultados obtidos, bem como as limitações da atividade. Para evitar que os estudantes adquiram uma concepção errônea do que é feito nos laboratórios é necessário que o professor distinga claramente as atividades práticas para fins pedagógicos da investigação experimental executada por cientistas. (BORGES, 2002)

Ainda em Borges (2002) é sugerido que os alunos escrevam suas expectativas, hipóteses e previsões antes da realização da atividade, para que posteriormente possam ser analisadas e discutidas. Essa seria uma forma de experimentar a capacidade de previsão dos alunos e sua forma de justificá-la.

4.1 SEQUÊNCIA DE AULAS

A sequência didática e os planos de aulas são apresentados integralmente nas seções seguintes. O Quadro 1 dispõe a sequência das aulas, assim como seus temas referentes. As aulas estão divididas em momentos didáticos.

Quadro 1 – Distribuição das aulas

Aula 1 O espectro eletromagnético.
Aula 2 Dispersão.
Aula 3 Interferência.
Aula 4 Espectrógrafos.
Aula 5 Composição química (dos gases) das lâmpadas.
Aula 6 Mecânica Quântica.
Aula 7 Espectros: do micro ao macro.
Aula 8 O efeito Doppler e a expansão do Universo.

4.1.1 Aula 1 - O espectro eletromagnético

O principal objetivo desta aula é ampliar o conhecimento dos alunos em relação ao espectro eletromagnético, analisando outras faixas além do visível.

Dentre os objetivos de aprendizagem apresentados na Base Nacional Comum Curricular, destacam-se:

- I. Classificar as radiações eletromagnéticas, como infravermelho, luz visível, ultravioleta, raio-X e gama, encontradas no cotidiano individual, na indústria e nos serviços, investigando fontes e tipos de uso em função de sua frequência, energia e comprimento de onda;
- II. Reconhecer o caráter dual da radiação e da matéria, a um só tempo onda e partícula, e associar a tais manifestações complementares à forma com que se dão suas propagações e suas interações. (BRASIL, 2016, p. 610-611)

Tendo como alicerce um embasamento político e educacional que vise a tratar estes conceitos como destacado na Base Nacional Curricular, fez-se justificável a introdução do tema do espectro eletromagnético para esta sequência didática de ensino. Assim, como este conteúdo é abordado na Física Clássica, tem-se uma ponte para a Física Contemporânea.

A ideia central para esta aula é o conhecimento das diversas faixas de radiação do espectro eletromagnético. Deixa-se claro que o objetivo final desta sequência didática é a relação entre o micro, o que ocorre dentro do átomo, e o macro, o que observamos em objetos do cotidiano e nos astronômicos.

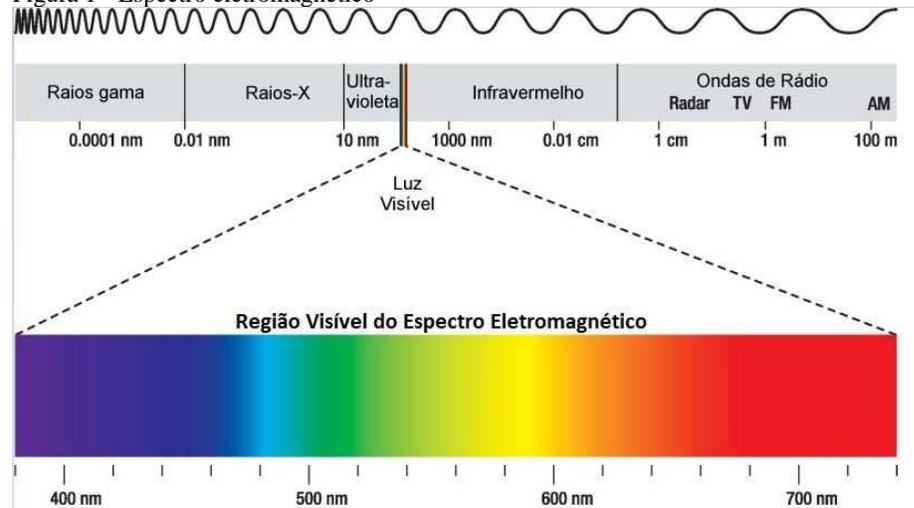
O espectro eletromagnético é o conjunto completo de todas as possíveis frequências de radiação, compreendendo desde da faixa do rádio (baixa frequência) até os raios gama (alta frequência). A parte visível ao olho humano corresponde a uma faixa de frequências de 400 a 700 hertz. Muitas informações e características podem estar escondidas nas outras faixas; não somos capazes por exemplo de enxergar as ondas que correspondem à faixa do ultravioleta, mas que mesmo assim podem

causar danos à nossa pele. Na Figura 1 é apresentado o espectro eletromagnético completo, com destaque para a faixa do visível.

Compreender que existem faixas com comprimentos de onda que não são possíveis de se enxergar com o olho humano é vislumbrar que existe um universo invisível aos nossos sentidos.

A aula está dividida em momentos, que podem variar quanto ao tempo de execução e ao número total de horas/aula, dependendo de diversos fatores, dentre os quais a compreensão e o tempo de aprendizagem da turma.

Figura 1 - Espectro eletromagnético



Fonte: Sepúlvera, 2016.

4.1.1.1 Momentos da aula 1

A. Divisão da turma e apresentação da proposta:

A proposta sugere que a turma seja dividida em sete grupos ou duplas conforme a quantidade de alunos. Atividades em grupos são importantes, como salientado nos Parâmetros Curriculares Nacionais:

[...] Aprender a viver
Trata-se de aprender a viver juntos, desenvolvendo o conhecimento do outro e a percepção das interdependências, de modo a permitir a realização de projetos comuns ou a gestão inteligente dos conflitos inevitáveis. (BRASIL, 2000, p.16).

Cada equipe ficará responsável por uma faixa do espectro, recebendo uma ficha, presente no APÊNDICE A, com as principais características de sua faixa. Espera-se que os alunos façam a relação dos conhecimentos adquiridos anteriormente, como frequência e comprimento de onda. Após uma breve discussão entre equipes, a turma montará o espectro eletromagnético. Os alunos poderão ser avaliados quanto à capacidade de relacionar objetos do cotidiano, como o aparelho de microondas, com a faixa correspondente.

B. Posicionamento dos alunos e argumentação:

Cada uma das equipes se posicionará sobre qual parte do espectro adequa-se à faixa que lhes foi designada, argumentando o porquê da escolha e suas conclusões acerca da sua faixa designada. É importante neste momento o professor notar as justificativas e argumentos usados. Como salientado em Carvalho:

[...] Agora a aula proporciona espaço e tempo para a sistematização coletiva do conhecimento e da tomada de consciência do que foi feito. Ao ouvir o outro, ao responder à professora, o aluno não só relembra o que fez como também colabora na construção do conhecimento que está sendo sistematizado.
(CARVALHO, 2003)

C. Disposição final do espectro eletromagnético:

Se não houver divergência quanto à disposição de cada faixa do espectro, ou seja, quando todos os alunos participantes concordarem com a distribuição do espectro, o professor deverá levantar a discussão se a atividade proposta alcançou o objetivo pretendido, que é conhecer o espectro eletromagnético em sua integridade.

D. Parte visível do espectro eletromagnético:

Deve-se deixar claro que a parte interessante daqui em diante é a parte visível do espectro eletromagnético, assim como os fenômenos que são correspondentes a essa faixa de comprimentos de onda.

Deve-se destacar dois fenômenos da luz visível: dispersão e interferência, salientando que são usados em instrumentos astronômicos para separar os feixes de luz em diferentes comprimentos de onda (prisma, para a dispersão, e rede de difração, para a interferência).

4.1.2 Aula 2 - Dispersão

O objetivo desta aula é introduzir ou reapresentar o conceito de dispersão aos alunos, facilitando a atividade das próximas aulas. É essencial que, para ocorrer como planejado, seja providenciado um prisma.

Esta aula é a primeira do estudo dos dois fenômenos que são empregados na separação do feixe de luz em diferentes comprimentos de onda.

Assim como as demais atividades práticas, esta seguirá o proposto por Borges:

O fato de o estudante realizar uma atividade adequadamente planejada não garante que ele aprenda aquilo que era pretendido. Estas considerações sugerem a necessidade de atividades pré e pós-laboratório, para que os estudantes explicitem suas ideias e expectativas, e discutam o significado de suas observações e interpretações. Antes de realizar a atividade prática, deve-se discutir com os estudantes a situação ou o fenômeno que será tratado. Pode-se pedir que eles escrevam suas previsões sobre o que deve acontecer e justificá-las. Na fase pós-atividade, faz-se a discussão das observações, resultados e interpretações obtidos, tentando conciliá-las com as previsões feitas. (BORGES, 2002)

Este tratamento propicia uma atuação investigativa, na qual os alunos estarão gerando hipóteses e testando-as.

4.1.2.1 Momentos da aula 2

A. Prequestionamento:

Os alunos serão questionados quanto ao que ocorre quando a luz de uma lanterna (do celular, por exemplo) e de um laser atravessa um prisma. É sugerido que o professor anote as expectativas no quadro, para que após a realização da atividade sejam retomadas. Quais e quantas cores aparecem? A ordem que o feixe de cada cor é apresentado? São algumas das perguntas que podem aparecer nesta discussão.

B. Realização da atividade de dispersão da luz branca e com laser:

Dependendo da disponibilidade de prismas para a turma, a atividade será feita por grupos maiores. Contudo, se o material for muito limitado, o professor deverá conduzir a turma na atividade, realizando-a primeiramente para que depois cada grupo de alunos consiga realizar novamente a experiência.

Para a primeira parte da experiência deve-se deixar que os alunos observem o fenômeno de dispersão da luz branca e apontem seus questionamentos sobre a ordem das cores que aparecem. As expectativas dos discentes deverão ser abrangidas, dando ênfase àquelas que não correspondem ao experimento. Propicia-se assim um choque de hipóteses prévias.

É indicado que o professor utilize o material indicado no ANEXO A para melhor visualização do processo de dispersão, que utiliza um prisma incidido por um feixe de luz branca através de um pequeno orifício.

O processo observado é chamado de dispersão da luz, que consiste na separação em diferentes frequências. Quando a luz se propaga de um meio para outro, do ar para o vidro neste caso, as ondas de diferentes frequências tomam distintos ângulos na refração, fazendo surgir várias cores.

Para a segunda parte da experiência é proposto a utilização de um laser com comprimento de onda de aproximadamente 650 nm, que será incidido sobre o prisma de maneira semelhante a primeira etapa da experiência. Os estudantes confrontam os resultados com suas expectativas.

Quando se utiliza um feixe com apenas um comprimento de onda, ou uma faixa muito estreita espera-se que o feixe mude de direção

ao passar de um meio a outro. Fenômenos de reflexão e refração serão agora observados.

Essas duas partes da experiência servem para demonstrar que a luz branca apresenta diferentes componentes com diferentes comprimentos de onda, que não é devido a impurezas no experimento que as cores aparecem.

C. Voltando às questões iniciais (pós-questionamento):

Fazer uma retomada das expectativas e questões iniciais dos alunos, apontando para quais cores aparecem e suas ordens.

Visando a um aproveitamento maior dessa discussão pós-atividade, poderá ser requisitado aos alunos que conflitem suas ideias iniciais, e que sejam debatidas as suas interpretações.

Se necessário, poderão ser retomados alguns aspectos do conceito de refração da luz e o que ocorre com a luz ao atravessar meios com diferentes índices de refração e as faixas de frequências das diferentes cores que aparecem. Notando-se que quanto menor for o comprimento de onda, maior será o índice de refração para luz naquele meio. Sabendo que o comprimento de onda da cor azul é pequeno, o desvio que ela sofre é maior.

4.1.3 Aula 3 - Interferência

O objetivo desta aula é abordar os conceitos relativos à interferência da luz, através de experimentos de fenda simples e dupla, chegando a explorar a rede de difração. A rede de difração será importante para o estudo dos espectros das próximas atividades.

Os alunos devem perceber o que acontece com a luz visível ao passar por uma ou duas fendas. Deve-se lembrar que nesta aula a base é óptica ondulatória, e a luz é modelada como uma onda plana.

4.1.3.1 Momentos da aula 3

A. Aparato experimental de fenda simples e dupla:

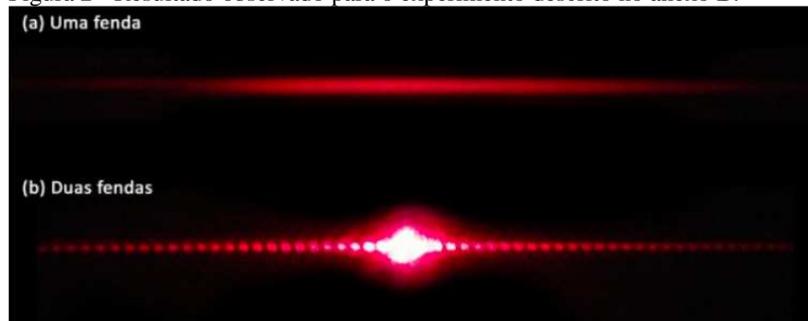
Os estudantes devem ser lembrados das expectativas da experiência da aula anterior, agora a luz não está passando de um meio a outro, ela estava atravessando um obstáculo.

A etapa inicial da aula utilizará uma atividade experimental abordada em Franzão et al. (2013) e descrita no ANEXO B. Essa atividade consiste em observar o que ocorre quando o feixe do laser atravessa uma ou duas fendas feitas pelos dentes de um pente.

É sugerida nessa abordagem a realização do experimento de dispersão, no qual os alunos indicarão hipóteses iniciais, que serão conflitadas após a experiência.

Deve-se esperar a presença de um padrão de difração para a fenda dupla. Obtendo-se no anteparo máximos e mínimos de luz, como mostrados na figura 2.

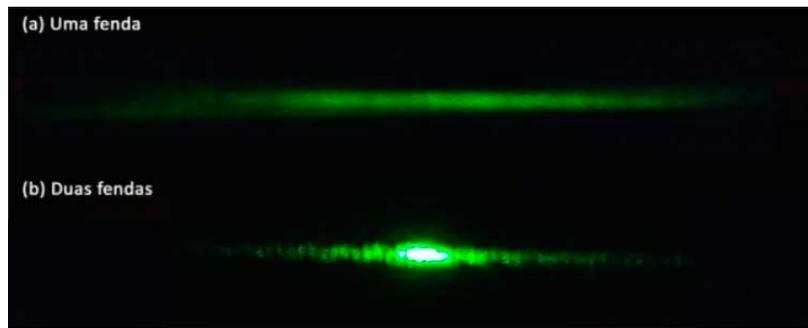
Figura 2 - Resultado observado para o experimento descrito no anexo B.



Fonte: Franzão et al. 2013.

Na figura 3 é mostrado o experimento de fenda simples e dupla com o pente para um laser verde (comprimento de onda de aproximadamente 532 nm).

Figura 3 - Resultado observado para o experimento de fenda simples e dupla para um laser verde.



Fonte: Desenvolvido pela autora.

B. Agregando N fendas:

Para a atividade experimental com N fendas é interessante conduzir os alunos a pensarem o que poderia ser usado além do pente para essa experiência. Espera-se chegar a menção do uso de um CD (*compact disc*). Deve-se indagar qual deverá ser o padrão encontrado no anteparo, deixando que busquem hipóteses para apoiar suas ideias preliminares, e anotando-as para a próxima aula.

4.1.4 Aula 4 - Espectrógrafos

Nesta aula, a atividade experimental a ser realizada pode ser feita individualmente. É necessário fazer uma conexão com a aula anterior, pois serão retomadas as primeiras ideias sugeridas sobre o padrão formado no anteparo quando se utiliza um CD como objeto no qual se incide luz.

4.1.4.1 Momentos da aula 4

A. Relembrando a aula anterior:

Relembrar das atividades experimentais realizadas na aula passada, dando especial destaque às hipóteses elaboradas pelos alunos sobre como seria o padrão formado por N fendas, ou seja, por uma rede

de difração (CD). Questionar os alunos sobre quais outros objetos que poderiam ser utilizados como rede de difração.

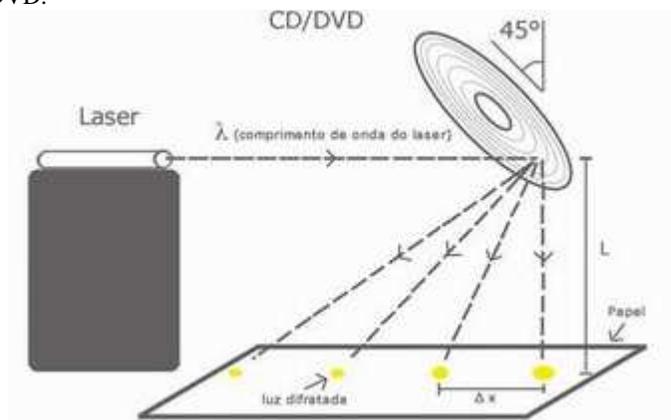
B. Trabalhando os objetos (CD e DVD):

Explicitar que o CD e DVD (*digital versatile disc*) podem servir de rede de difração, pois dispõem de múltiplas fendas/ranhuras.

Salienta-se as principais diferenças entre os dois objetos, incidindo um feixe de luz de uma lanterna comum, verticalmente sobre o CD e depois sobre o DVD. Espera-se que os alunos observem que o DVD espalha as cores da luz sob ângulos maiores do que o CD, devido à distância entre as ranhuras no DVD ser menor. Outro fato que pode ser explorado é que, devido à distância entre as ranhuras no DVD ser menor, ele consegue armazenar mais informações que em um CD.

Podemos notar a diferença entre o espaçamento das ranhuras de um CD/DVD posicionando-os a 45° e incidindo um laser de comprimento de onda aproximadamente 650nm , o esquema de montagem é mostrado na figura 4, onde Δx é a distância entre as ranhuras.

Figura 4 - Esquema de montagem da visualização da diferença entre as ranhuras do CD/DVD.



Fonte: Portal do Professor, 2011.

C. Atividade experimental da aula anterior com N fendas:

Fazendo o mesmo experimento da aula anterior, agora com vários dentes do pente, ou seja, como múltiplas fendas. Os estudantes devem conseguir enxergar os padrões no anteparo.

D. E quando a luz não é monocromática?

Atentar os alunos sobre a questão da luz da atividade experimental ser monocromática, isto é, possui apenas um comprimento de onda. Deve-se questioná-los sobre o que ocorreria se a luz não fosse monocromática, como o Sol: como aparecia o padrão no anteparo? Deve-se atenção para o índice de refração.

Realizar a experiência com N fendas agora com uma lanterna comum e verificar as diferenças observadas pelos estudantes.

E. Construção de espectrógrafos:

Como uma alternativa para mostrar o que ocorre quando uma luz não monocromática atravessa uma rede de difração, deve-se propor aos alunos que construam individualmente um espectrógrafo, tal qual descrito no ANEXO C (PUBLIC LAB). É essencial o uso deste material para a próxima aula da sequência, uma vez que espectros de diversas lâmpadas serão investigados.

4.1.5 Aula 5 - Composição química (dos gases) das lâmpadas

Tendo construído na aula anterior o instrumento de análise (espectrógrafo), o objetivo desta aula é propor uma investigação dos possíveis elementos químicos presentes em diferentes lâmpadas.

Sugere-se que a turma seja dividida em grupos de alunos novamente, visando a troca de experiências e contribuindo para o Aprender a Viver (BRASIL, 2000), da mesma maneira que ocorre em outras atividades em grupo ao longo desta sequência didática.

Os educandos serão questionados quanto à natureza atômica de lâmpadas incandescentes, fluorescentes, de vapor de sódio e de halogênio (lâmpada incandescente com filamento de tungstênio contido em um gás inerte de bromo ou iodo), através da análise dos espectros produzidos.

As lâmpadas indicadas devem ser adquiridas e montadas antes do início da aula. Caso não haja disponibilidade de todas, as lâmpadas incandescentes e fluorescentes já são suficiente para cumprir com o objetivo da aula, mostrando as diferenças no espectro produzido por luz não monocromática.

Nesta aula os alunos têm o primeiro contato com a espectroscopia, que nada mais é do que o estudo das componentes da luz que aparecem quando essa passa por um prisma ou uma rede de difração (PRATA, 2011). A sequência de cores gerada é nomeada de espectro.

4.1.5.1 Momentos da aula 5

A. Organização inicial:

As lâmpadas devem ser montadas com seus soquetes e os espectrômetros construídos nas aulas anteriores distribuídos pela sala para que os grupos de alunos possam se revezar quanto à investigação dos espectros correspondentes.

B. Investigando o espectro: Parte 1

Cada uma das equipes deverá analisar as diferentes lâmpadas através dos espectrógrafos, prestando atenção ao espectro de cores formado. Deve registrar o que foi observado. Todos os grupos deverão visualizar primeiro a lâmpada incandescente e posteriormente as demais.

C. Discussão sobre espectros:

Cabe o destaque sobre o por quê do aparecimento de apenas algumas linhas no espectro das lâmpadas fluorescentes, já que na atividade de dispersão com o prisma e a lanterna (aula 2), o espectro encontrado era caracterizado pelo aparecimento todas as cores, ou seja, era um espectro contínuo.

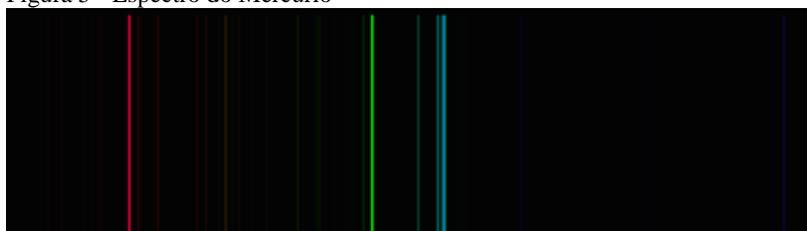
Alguns questionamentos se faz necessário neste momento: Qual a diferença entre as lâmpadas utilizadas? Quais as hipóteses básicas para o aparecimento de apenas algumas linhas no espectro?

O professor questionará os alunos sobre como fazemos para verificar de quais elementos as lâmpadas são constituídas.

D. Investigando o espectro: Parte 2

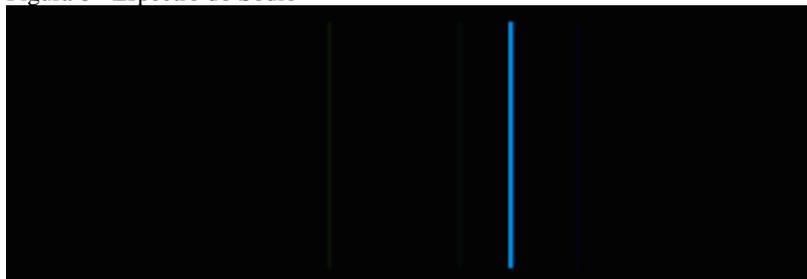
Depois da investigação inicial dos espectros das lâmpadas e do seu registro (por exemplo, a partir de desenhos ou de fotografias), deverá ser feita a comparação dos espectros obtidos com os dos elementos químicos. Indicam-se os seguintes elementos para comparação: mercúrio, sódio, bromo, iodo. As figuras 5, 6, 7 e 8 mostram seus respectivos espectros.

Figura 5 - Espectro do Mercúrio



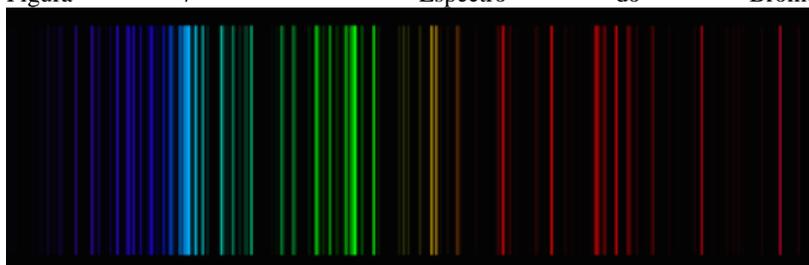
Fonte: Visible spectra of elements.

Figura 6 - Espectro do Sódio



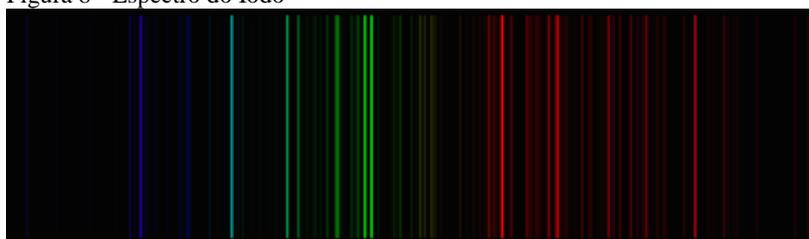
Fonte: Visible spectra of elements.

Figura 7 - Espectro do Bromo



Fonte : Visible spectra of elements.

Figura 8 - Espectro do Iodo



Fonte : Visible spectra of elements.

4.1.6 Aula 6 - Mecânica Quântica

Esta é a aula chave para a transposição da física clássica para a moderna. A partir deste momento conceitos mais abstratos serão inseridos no contexto escolar, através do uso de analogia.

Deve-se atentar para as possíveis dificuldades que surgirão quando se tentar apresentar a analogia. Para tal, orienta-se que o professor efetue a sua inserção da forma mais sutil possível, com paciência para explicar a analogia mais de uma vez, se necessário.

Utilizando as ideias das atividades investigativas anteriores, pode ser solicitado aos alunos que tentem explicar com as suas palavras

qual razão das linhas escuras aparecer nos espectros observados na aula anterior, fazendo o uso da analogia apresentada ou ainda fazendo o emprego de outras analogias.

4.1.6.1 Momentos da aula 6

A. Introdução as leis de Kirchoff:

Mantendo-se os mesmo grupos da atividade experimental anterior, o professor deve encorajar os alunos a buscarem hipóteses sobre por que algumas linhas aparecem no espectro e outras não. Pedese para anotarem suas hipóteses para discussão posteriores.

Não se espera que o aluno consiga fazer a relação das linhas que ele observa através do espectrógrafo e a estrutura atômica das diferentes lâmpadas. Entretanto, como a atividade de investigação dos espectros contou com a comparação dos espectros dos elementos, pode-se esperar que os alunos criem alguma associação entre a composição das lâmpadas e o seu espectro característico. Por exemplo, a lâmpada incandescente (composta de um gás quente e denso) tem um espectro contínuo, já a lâmpada de vapor de sódio aparecem algumas linhas espectrais brilhantes. Espera-se buscar uma correlação com as leis de Kirchoff, a qual será conduzida pelo professor da turma.

Espectros podem ser caracterizados em termos de três componentes básicas: espectro contínuo, linhas de absorção e linhas de emissão. As condições sob as quais estas componentes aparecem são descritas por três regras deduzidas pelo físico alemão Gustav Kirchoff no século XIX:

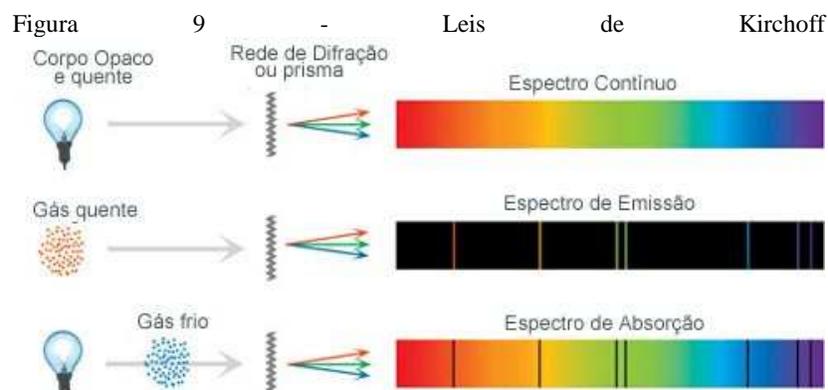
1° lei: Gases densos e quentes, sólidos e líquidos emitem um espectro contínuo.

2° lei: Gases rarefeitos e quentes produzem um espectro com linhas de emissão, cujos comprimento de onda dependem da composição química do gás.

3° lei: Se o espectro contínuo de um gás denso e quente atravessa um gás rarefeito e de menor temperatura, linhas escuras (de absorção) aparecem superpostas ao espectro contínuo. Os comprimentos de onda dessas linhas dependem da composição química do gás frio (CID FERNANDES; KANAAN; GOMES. 2002).

B. Analogia com a Mecânica Quântica:

Nesta segunda parte da aula, os alunos devem ser conduzidos aos questionamentos e hipóteses geradas no momento anterior. Pode-se dar um destaque maior as leis de Kirchoff, relacionando com as lâmpadas que foram trabalhadas durante a atividade experimental (Figura 9).



Fonte: Primeira, segunda e terceira leis de Kirchoff, respectivamente. Apollo11.

A partir desse momento, conceitos de mecânica quântica serão postos em pauta. Faz-se uma ponte direta entre o macro, através das informações obtidas a partir das linhas no espectro, e o micro, sabendo o que sucede dentro do átomo para que o ocorra o aparecimento ou não de determinadas linhas espectrais. Esta relação é apresentada através de uma analogia, na qual busca-se fazer a transição da física clássica, com os fenômenos de dispersão e interferência para a física moderna, em que o conceito de quantização é essencial.

Usando a analogia com o sistema de transporte público de ônibus, descrita abaixo, espera-se explicitar o porquê do aparecimento das linhas no espectro.

ANALOGIA: Imagine um percurso de ônibus em sua cidade, a passagem tem um determinado valor, por exemplo R\$ 3,90. Só é permitida a entrada quem tiver exatamente esse valor ou seus múltiplos em dinheiro. Ao entrar no ônibus a quantidade de dinheiro aumenta um número fixo. Quando o ônibus está com um passageiro apenas e faz uma parada na qual mais um passageiro entra, a quantidade de dinheiro agora será de R\$ 7,80.

Um processo parecido acontece na estrutura eletrônica do átomo, e isso explica o aparecimento de linhas de absorção no espectro contínuo. Um fóton (passageiro) de energia $h\nu$ (preço da passagem, R\$ 3,90) incide sobre um átomo (entra no ônibus) e eleva um de seus elétrons para um nível de energia mais alto (o passageiro paga a passagem e a quantidade de dinheiro que o ônibus têm agora é maior de um número inteiro múltiplo de R\$ 3,90). Os níveis de energia são quantizados, ou seja, esse processo só ocorre para determinados valores de $h\nu$ (valor da passagem). A figura 10 exemplifica esse processo.

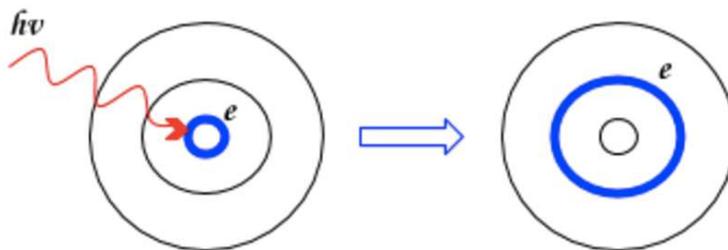


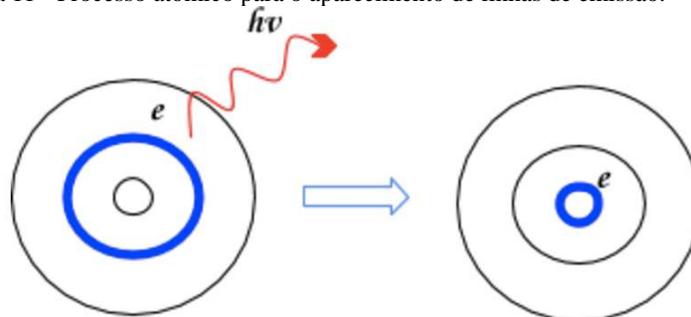
Figura 10 - Processo atômico para o aparecimento de linhas de absorção.

Fonte: Adaptado de Cid Fernandes, Kanaan e Gomes, 2002.

Já as linhas de emissão se formam pelo processo inverso ao que dá origem a linhas de absorção. Imagine que, nesse sistema maluco de transporte, quando o passageiro desce do ônibus o valor da passagem é devolvido. Então, quando isso ocorre, o dinheiro que o ônibus possuirá

após a descida de um passageiro, decai de um valor fixo da passagem. A Figura 11 representa esse processo.

Figura 11 - Processo atômico para o aparecimento de linhas de emissão.



Fonte: Adaptado de Cid Fernandes, Kanaan e Gomes, 2002.

C. Interpretando a analogia:

Neste momento final da aula, os estudantes devem desenhar e/ou escrever, expressando quais os conhecimentos adquiridos pela analogia, ou seja, que expliquem o aparecimento das linhas de emissão e absorção nos espectros.

Esta é uma parte importante da sequência de aulas, já que mostra efetivamente qual a compreensão dos alunos, por se tratar de uma atividade individual e avaliativa.

Cabe destacar aqui as falhas e limitações dessa analogia. Deixar que os alunos indiquem essas falhas. Uma delas é que no sistema real de transporte coletivo ao descer do ônibus o passageiro não recebe o dinheiro da passagem de volta. Além disso, a quantidade de dinheiro "recebida" pelo ônibus não é fixa, sendo que alguns passageiros pagam no cartão um valor menor.

4.1.7 Aula 7 - Espectros: do micro ao macro

Pretende-se nesta aula estabelecer uma relação muito mais sustentada entre o micro e o macro. Para isso será solicitado aos alunos

que investiguem quais possíveis elementos determinados corpos celestes possuem, como estrelas, galáxias e nebulosas. De acordo com o discurso de Salcides e Prata:

O vislumbre do céu estrelado sempre foi uma forma do ser humano buscar respostas e contemplações acerca de sua natureza, origem, desejos, fé, enfim, sua própria essência. A admiração e busca por respostas impulsionou várias pessoas à diversos comportamentos, desde o amor ao estudo sistematizado de suas propriedades. As estrelas que enfeitam e iluminam o céu noturno, sempre foi motivo de inspiração e mistério para a humanidade. Graças à Astronomia, hoje podemos compreender um pouco melhor o universo que nos circunda. Para tal conhecimento, a espectroscopia foi de uma importância fundamental. (SALCIDES e PRATA, 2011).

Tencionase assim que os alunos sejam capazes de forjar a intuição de que todo elemento químico possui um espectro que lhe é singular, outorgando com Peduzzi:

[...] a espectroscopia passou a ser utilizada para o estudo e a determinação da composição de uma substância. Assim, as linhas escuras e delgadas no espectro da luz solar representam a absorção de radiação de determinadas frequências, pela atmosfera do Sol. A identificação dessas linhas com as existentes em espectros de elementos químicos conhecidos permite inferir a presença dos mesmos no Sol. (PEDUZZI, 2008, p.106)

Como já mencionado, esta técnica é empregada para conhecer os elementos químicos presentes em uma infinidade de corpos celestes (SALCIDES E PRATA, 2011).

4.1.7.1 Momentos da aula 7

A. Instrumentos astronômicos:

Num primeiro momento descreve-se como descobrir a composição química do Sol, com boa precisão. Pode-se falar dos instrumentos astronômicos, como o telescópio.

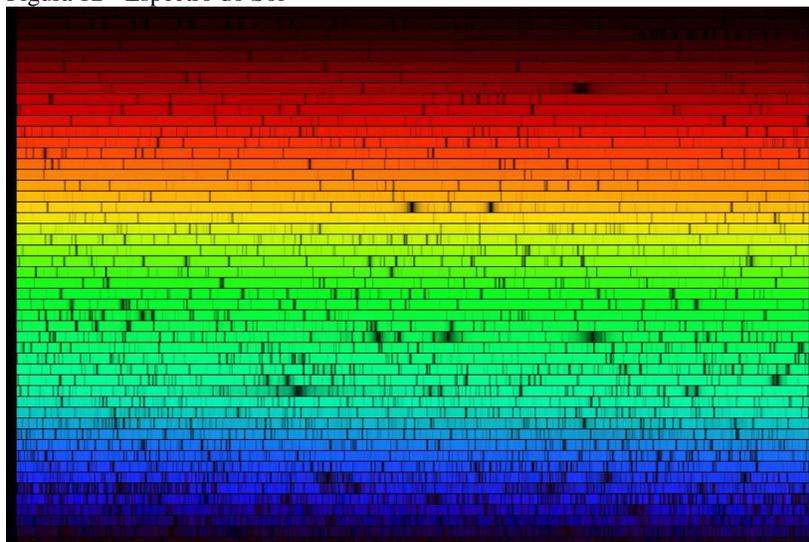
Em alguns telescópios pode-se acoplar instrumentos que atuam no feixe de luz focalizado, obtendo o espectro de luz. A atuação pode ser pela dispersão do feixe em diferentes comprimentos de onda (como um prisma) ou pela interferência entre as ondas de luz (rede de difração).

Esses instrumentos atuam de maneira semelhante aos que usamos na atividade experimental de composição das diferentes lâmpadas (espectrógrafo) das aulas 5 e 6.

B. Desvendando o Sol:

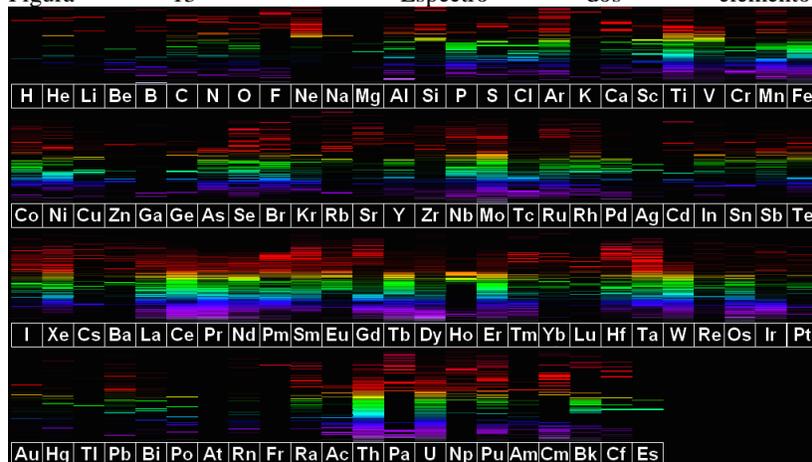
A figura 12 abaixo representa o espectro do Sol. Os alunos serão apresentados a sua composição química (Figura 13). Deve-se deixar que os alunos apontem para a complexibilidade do espectro mostrado, sendo difícil observar os elementos presentes no Sol.

Figura 12 - Espectro do Sol



Fonte: Amarante, 2015.

Figura 13 - Espectro dos elementos



Fonte: Visible spectra of elements.

Esta atividade de investigação pode ser feita inicialmente de forma individual, para que se tenha maior discussão quando for trabalhada a composição do Sol. O professor deverá mostrar seu espectro assim como o dos elementos de forma que todos possam participar. Recomenda-se para isso o uso de um computador e retroprojetor. Os alunos terão a oportunidade de expor suas ideias e o professor os conduzirá para que indiquem quais possíveis elementos estariam presentes.

C. Desvendando o espectro de corpos celestes:

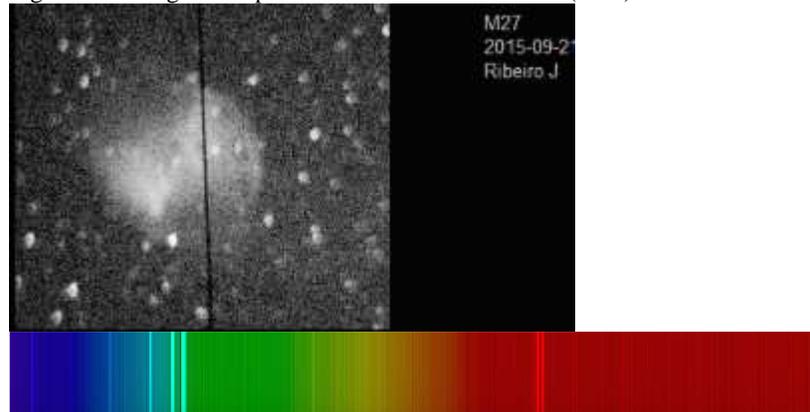
O estudo do espectro anterior tem sua valia, pois é a estrela que nos sustenta, nosso astro-rei. Porém o Universo não apresenta apenas estrelas, mas sim uma infinidade de objetos que podemos identificar através da análise de seu espectro comparando com os de determinados elementos.

Deixando que os alunos demonstrem seus conhecimentos acerca da estrutura do Universo, permitindo que esbocem sobre os demais astros que lhe são conhecidos.

Os espectros desses outros objetos astronômicos deverão ser mostrados aos alunos com o auxílio do retroprojetor, dando

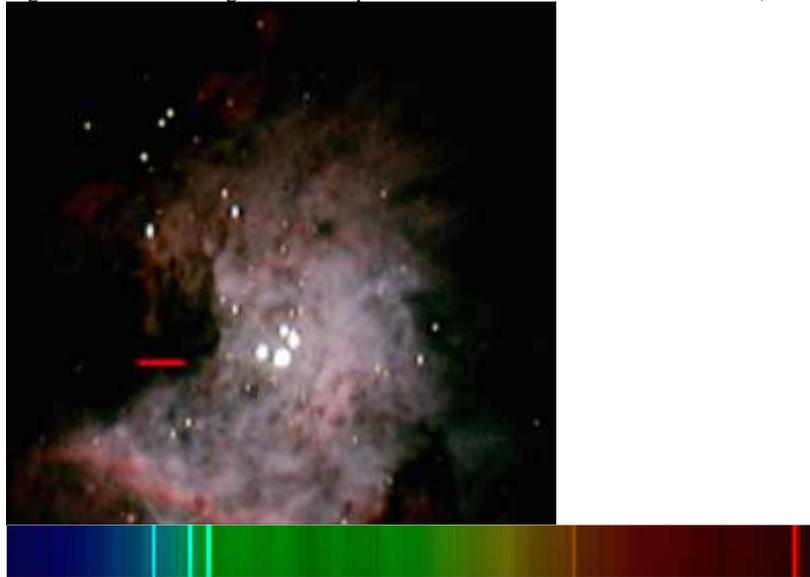
continuidade assim a atividade de investigação da composição química dos astros em conexão com a atividade de investigação da composição química das diferentes lâmpadas. As Figuras 14, 15, 16 e 17 mostram alguns exemplos de espectros de corpos celestes que podem ser tratados nesta atividade.

Figura 14 - Imagem e espectro da Nebulosa do Haltere (M27)



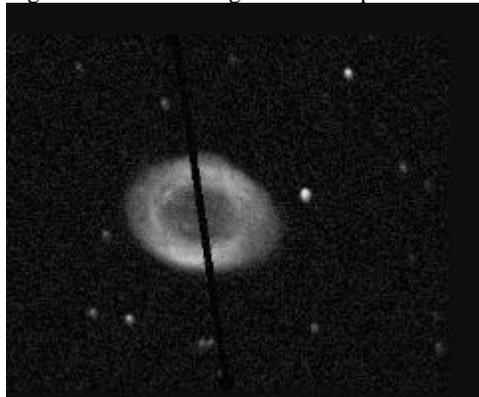
Fonte : Adaptado de Ribeiro, 2017b.

Figura 15 - Imagem e espectro da Nebulosa de Órion (M42)



Fonte : Adaptado de Ribeiro, 2017b.

Figura 16 - Imagem e espectro da Nebulosa do Anel (M57)





Fonte : Adaptado de Ribeiro, 2017b.

Figura 17 - Espectro da estrela Betelgeuse



Fonte : Adaptado de Ribeiro, 2017a.

D. Introdução ao Efeito Doppler:

Ao final desta aula é recomendado que o professor mostre um vídeo demonstrando o efeito Doppler com ondas sonoras. Este vídeo se encontra no Anexo D. Para isso é imprescindível que se utilize um computador, retroprojetor e principalmente caixas de som, possibilitando que os alunos escutem com clareza.

O objetivo aqui é deixar os estudantes curiosos para a próxima aula, na qual será feita a introdução do efeito Doppler da luz e em consequente abordando-se a questão da expansão do Universo.

4.1.8 Aula 8 - O efeito Doppler e a expansão do Universo

A última aula desta sequência destina-se à explicação sobre o efeito Doppler da luz. Destaca-se a importância desse efeito para a justificativa da expansão do Universo. Este tema gerou grandes conflitos entre no início do século XX.

4.1.8.1 Momentos da aula 8

A. Efeito Doppler com ondas sonoras:

Retomando a aula anterior, deve-se mostrar o vídeo sobre o efeito Doppler com o som, lembrando os discentes. Explicita-se, nesta

primeira parte da aula, que tipos de ondas estamos tratando, chegando ao efeito Doppler da luz na segunda etapa da aula.

Questiona-se os alunos sobre o que acontece quando uma ambulância passa por eles na rua. Quais as variáveis envolvidas? O que escutaríamos se o automóvel estivesse parado? O que acontece com o som à medida que o automóvel vai se afastando cada vez mais rapidamente? E se nós estivéssemos em movimento junto com o automóvel, o que escutaríamos? Pode-se pedir que os alunos anotem suas respostas, para um possível compartilhamento posterior.

Deve-se lembrar que o efeito Doppler é observado em ondas emitidas ou refletidas por fontes em movimento com relação a um observador. Este efeito, no entanto, não é apenas observado com as ondas sonoras, como visto no vídeo. Pode ocorrer com qualquer tipo de onda, e, portanto, acontece com a luz.

Ao analisarmos o efeito Doppler com as ondas sonoras, notamos uma diferença na frequência das ondas que chegam aos nossos ouvidos. Notamos um som mais agudo quando o carro buzinando aproxima-se, ou seja, maior frequência. E um som mais grave (menor frequência) quando este está se afastando.

B. Efeito Doppler para luz:

A relação entre o comprimento de onda λ , a frequência f e a velocidade da luz c é

$$\lambda = \frac{c}{f} . \quad (1)$$

Podemos, portanto, olhar por outro ângulo o efeito Doppler. Ao invés de frequência, estamos interessados agora no comprimento de onda, já que os espectros astronômicos no visível em geral são expressos em função do comprimento de onda. Quando a fonte de luz se afasta do observador, observa-se um comprimento de onda maior; quando se aproxima, o comprimento de onda é menor. A figura 18 representa esse fenômeno com a luz.

Figura 18 - Efeito Doppler para luz



Fonte: O desvio para o vermelho representa afastamento, já o desvio para o azul aproximação. Adaptado de Carciofi.

C. Retomada na análise dos espectros dos corpos celestes:

Para estudarmos o efeito Doppler com a luz, iremos analisar novamente os espectros dos astros, dando atenção agora para os deslocamentos em comprimento de onda no espectro, podemos analisar o movimento entre a fonte e o observador também para a luz, já que também se trata de uma onda.

A relação para o efeito Doppler em função do comprimento de onda é descrita pela equação 2. Para um fóton que sai do objeto com comprimento de onda λ_0 e se afasta do observador, o comprimento de onda final apresenta um deslocamento para o vermelho

$$\lambda = \lambda_0 + \Delta\lambda = \lambda_0(1+z), \quad (2)$$

onde z é chamado de desvio para o vermelho (*redshift*). descrita pela equação 3. Isolando z ,

$$z = \frac{\Delta \lambda}{\lambda} = \frac{(\lambda - \lambda_0)}{\lambda}, \quad (3)$$

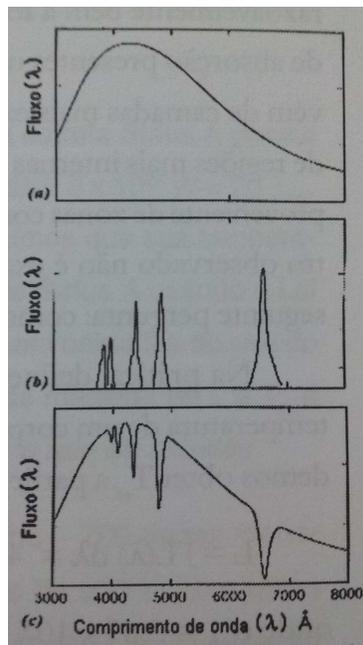
$$z = \frac{v}{c}, \quad (4)$$

A equação 4 representa a relação entre a velocidade do objeto e z .

Para observar o efeito Doppler, precisamos identificar certas marcas que sabemos serem originalmente produzidos por um espectro em um certo λ_0 quando observamos um espectro de uma fonte em repouso ($v = 0$), mas que são medidas em λ . Para isso utilizam-se as transições atômicas (linhas de emissão e absorção), nas quais um elétron salta de um nível a outro absorvendo ou emitindo um fóton cuja energia $h\nu$ é precisamente a energia associada a este salto quântico (CID FERNANDES; KANAAN; GOMES. 2002).

Pode-se fazer uma tradução do espectro que são apresentados tal qual seriam vistos através de um prisma, para uma forma gráfica do fluxo ou intensidade $F(\lambda)$ contra comprimento de onda λ (figura 19).

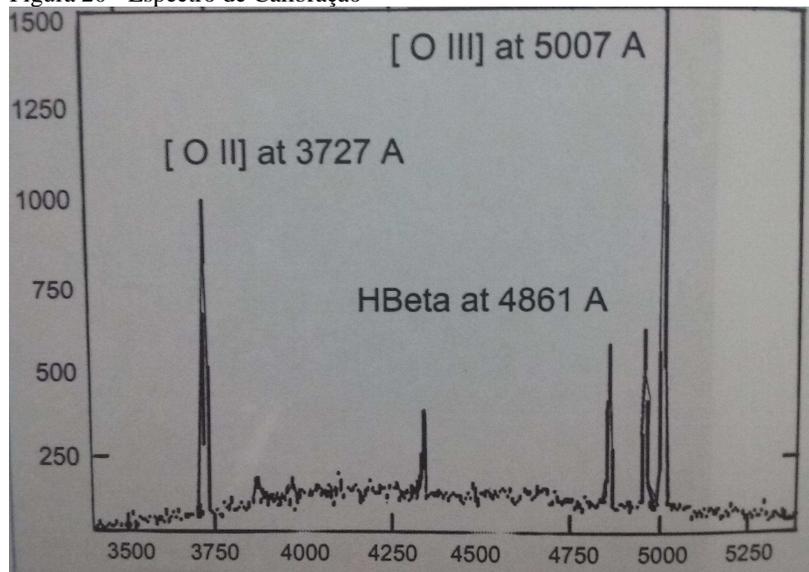
Figura 19 - As leis de Kirchoff na forma gráfica.



Fonte: Adaptado de Cid Fernandes, Kanann e Gomes, 2002.

Como percebe-se esse deslocamento para o vermelho em todos os espectros dos astros observados? Devemos ter, como na figura 16, um espectro de referência, no qual podemos comparar os deslocamentos ocorridos. Algumas transições de níveis tem comprimento de onda correspondentes, por exemplo a linha $H\beta$ da série de Balmer, que tem comprimento de onda de $\lambda_0 = 4861 \text{ \AA}$ (Angstroms) e $H\alpha$ com $\lambda_0 = 6563 \text{ \AA}$. A figura 20 é um exemplo de um espectro de comparação de uma fonte em repouso (CID FERNANDES; KANAAN; GOMES. 2002).

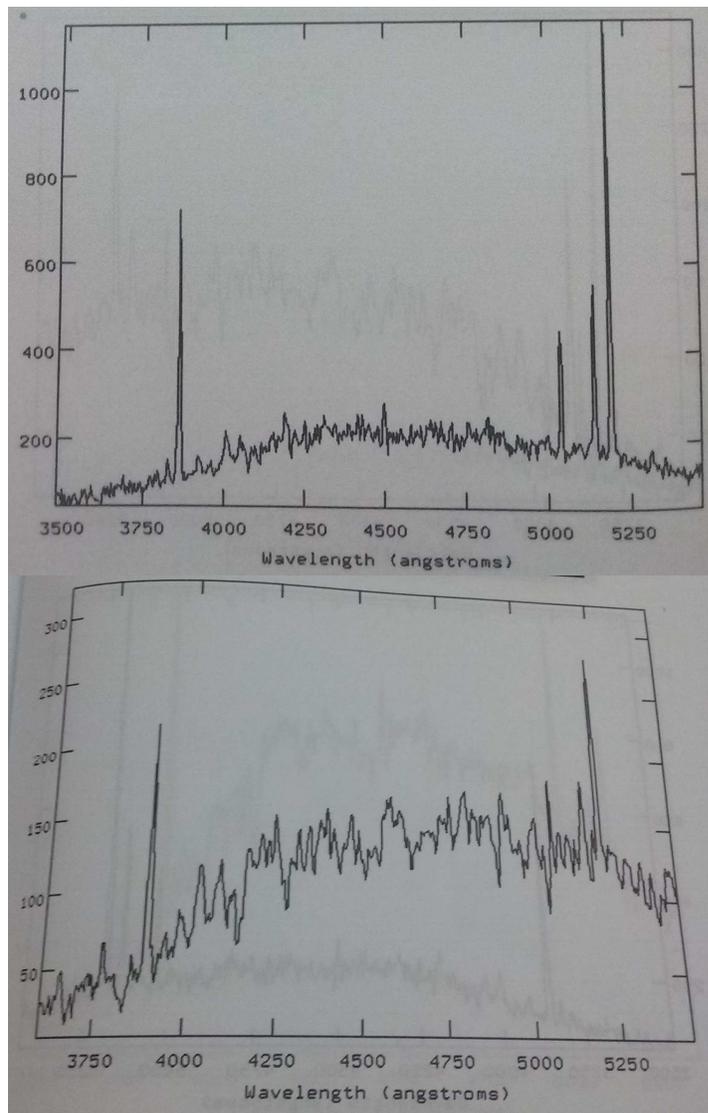
Figura 20 - Espectro de Calibração



Fonte: Linha do [OII] oxigênio uma vez ionizado em $\lambda_0 = 3727 \text{ \AA}$, [OIII] oxigênio duas vezes ionizado em $\lambda_0 = 5007 \text{ \AA}$, e $H\beta$ em . Cid Fernandes, Kanaan e Gomes, 2002.

Se analisarmos os espectros de duas galáxias, na forma gráfica, devemos perceber que as linhas estão deslocadas para valores de comprimentos de onda maiores (figura 21).

Figura 21 - Espectros de duas galáxias distintas.



Fonte: Cid Fernandes, Kanaan, Gomes, 2002.

Os alunos devem ser capazes de perceber que nesses espectros o deslocamento é para o vermelho, ou seja, para comprimentos de onda maiores. Pode-se, com esta informação, chegar à conclusão de que os objetos astronômicos estudados estão se afastando.

D. Estudo da expansão do universo:

Para apresentar o conceito de expansão do Universo, recomenda-se que o professor desenhe pontos num balão, representando galáxias. É necessário medir e registrar a distância entre as marcas e então começar a encher o balão. Com medidas repetidas da distância entre os pontos, conforme o balão for sendo enchido, é possível associá-lo ao Universo em expansão, com as galáxias se afastando umas das outras. Esta atividade foi adaptada de Wuensche (2009).

Encerra-se assim a sequência de aulas, esperando-se que os estudantes consigam fazer uma boa associação entre objetos astronômicos, a estrutura atômica dos átomos, e a comprovação da expansão do Universo.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este Trabalho de Conclusão de Curso apresentou uma proposta de uma sequência com oito aulas, interligando os estudos sobre espectroscopia e astronomia. Pesquisou-se uma alternativa para a implementação de Física Moderna Contemporânea no ensino médio, buscando auxiliar os professores que estão em busca de novas estratégias para o ensino de física.

Para cumprir esse objetivo, iniciou-se com o estudo do espectro eletromagnético, essencial para o prosseguimento das demais aulas. Restringindo-se à parte visível do espectro, foram considerados os fenômenos de dispersão e interferência, nos quais os alunos puderam elaborar e testar hipóteses a partir de atividades experimentais. Após isso, a sugestão de construção de espectrógrafos pelos alunos serviu de ferramenta imprescindível para a aula 5, na qual investigam-se os espectros emitidos por diferentes lâmpadas. Depois de obter-se a relação entre as linhas brilhantes dos espectros e o tipo de material estudado (lâmpadas fluorescente, de vapor de sódio e halogênio), estabelecem-se conjecturas com a mecânica quântica.

A aula 6 destina-se basicamente a melhor firmar as relações do macro (espectros que enxergamos) e o micro (o que ocorre dentro do átomo), empregando para tal uma analogia com o sistema de transporte público. É importante que as limitações e falhas da analogia empregada sejam expostas e trabalhadas com os discentes, uma vez que tem por finalidade a compreensão do aparecimento ou não de linhas brilhantes e escuras nos espectros.

Assim, realiza-se a ligação da espectroscopia com a astronomia, apresentado os espectros emitidos por diferentes corpos celestes. Essa ligação é mantida ainda na última aula, que encerra a sequência proposta com a inserção de um segmento significativo de astronomia, com o efeito Doppler da luz em consequência da expansão do universo.

Concerne ressaltar que a sequência didática proposta utilizou-se da aplicação de uma gama ampla de metodologias e processos avaliativos, tais como o uso de analogia, atividade experimental, uso de pequenos textos, atividades em grupo, recursos audiovisuais. Acredita-se que esta pluralidade tanto metodológica quanto avaliativa possibilite aos professores um conjunto de alternativas para a inserção de FMC no

ensino médio, servindo como material de consulta para suas aulas. O objetivo deste trabalho não é oferecer modelos de aulas pré-estabelecidas e inalteradas aos professores, e sim sugestões de condução das aulas.

Esta sequência didática é uma abordagem distinta sobre a mesma temática exposta na monografia apresentada por Fábio B. Santana nesta mesma universidade, na qual se fez uso da história da ciência e de simulações computacionais para a abordagem dos espectros, e cujo foco principal foi o tratamento do modelo atômico de Bohr (SANTANA, 2015). Este presente trabalho, em contraste, focou-se nos objetos astronômicos e como relacioná-los com as objetos cotidianos, fazendo uso de experimentos e analogias.

A relevância deste estudo pode ser afirmada na importância de sugestões dentro da academia de propostas de ensino que implementem a FMC no ensino médio. Permitiu-se uma reflexão sobre o uso de diferentes metodologias no encadeamento das aulas, não se restringindo a apenas uma forma de trabalhar os conteúdos oferecidos.

REFERÊNCIAS

- AMARANTE, R. O. de C. **O espectro demonstra todas as cores visíveis do Sol.** Astropt, 28, jun. 2015. Disponível em: <<http://www.astropt.org/2015/06/28/o-espectro-demonstra-todas-as-cores-visiveis-do-sol/>>. Acesso em: 12 jan. de 2017.
- APOLO11. **Entenda como os cientistas sabem a composição química dos planetas e estrelas.** Disponível em: <<http://www.apolo11.com/espectro.php>>. Acesso em 11 jan de 2017.
- ARAÚJO, M. S. T., ABIB, M. L. V. S. **Atividades experimentais no ensino de física: diferentes enfoques, diferentes finalidades.** Revista Brasileira de Ensino de Física, v.25, n.2, jun. 2003.
- BORGES, A. T. **Novos rumos para o laboratório escolar de Ciências.** Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v.19, n.3:p.291-313, dez. 2002.
- BRASIL. **Base Nacional Comum Curricular: proposta preliminar.** Segunda versão revista. Brasília, 2016.
- BRASIL. **Guia de Livros Didáticos PNLD 2015: Ensino Médio - Física.** Brasília, 2014.
- BRASIL. **Parâmetros Curriculares Nacionais (Ensino Médio).** Ministério da Educação. Brasília, 2000.
- CARCIOFI, A. C. **Aula 5: Radiação eletromagnética.** Slide player. Disponível em: <<http://slideplayer.com.br/slide/369889/>>. Acesso em 13 jan de 2017.
- CARVALHO, A. M. P. et. al. **Ensino de Ciências: Unindo a pesquisa e a prática.** São Paulo, 2004.

CARVALHO, A. M. P. **Produção de conhecimento científico pelos alunos em aulas de ciências.** IV Encontro Nacional de Pesquisa em Educação e Ciências, 2003.

CAVALCANTE, M. A., BARROS, J. A. A. **Inserção de física moderna no ensino médio: difração de um feixe laser.** Caderno Catarinense de Ensino de Física, v.16, n.2, p 154-169, ago. 1999.

CAVALCANTE, M. A., BENEDETTO, A. D. **Instrumentação em Física Moderna para o Ensino Médio: uma nova técnica para análise quantitativa de espectros.** Revista Brasileira de Ensino de Física, v.21, n.3, set. 1999.

CAVALCANTE, M. A., TAVOLARO, C. R. C. **Uma oficina de Física Moderna que vise sua inserção no ensino médio.** Caderno Catarinense de Ensino de Física, n.3, p. 298-316, dez. 2001.

CID FERNANDES, R.; KANAAN, JR. A.; GOMES, J. M. S. de M. **As ferramentas do astrônomo: O que medimos, como medimos e o que aprendemos.** Observatórios Virtuais, UFSC, Florianópolis, março 2002.

FILHO, J. P. A., PIETROCOLA, M. **Atividades experimentais: do método à prática construtivista.** Tese apresentada ao programa de Pós-Graduação em Educação da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000.

FRANZÃO, B., et. al. **O experimento da fenda dupla: Uma introdução à Física Quântica.** Trabalho apresentado ao curso de Bacharelado em Ciência e Tecnologia da Universidade Federal do ABC como projeto final da disciplina de Introdução às Engenharias. São Paulo, 2013.

GIL, D. P., SENENT, F., SOLBES, J. **Análisis crítico de la introducción de la física moderna en la enseñanza media.** Revista de Enseñanza de la Física, Rosario, v.2, n.1: p. 16-21, abr. 1988.

OLIVEIRA, F.; VIANNA, D. M.; GERBASSI, R. S. **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.

OSTERMANN, F.; MOREIRA, M. A. **Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa "Física moderna e contemporânea no ensino médio".** Investigações no Ensino de Ciências, Porto Alegre, v.5, n.1: p. 22-48, 2000.

OSTERMANN, F.; PRADO, S. D.; RICCI, T. S. F. **Investigando a aprendizagem de professores de física acerca do fenômeno de interferência quântica.** Ciência & Educação, v.14, n.1: p.35-54, 2008.

PEDUZZI, L. O. Q. **Do átomo grego ao átomo de Bohr.** Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2008.

PEREIRA, A. P., OSTERMANN, F. **Sobre o Ensino de Física Moderna e Contemporânea: Uma revisão da produção acadêmica recente.** Investigações em Ensino de Ciências, v 14, n.3, p. 393-420, 2009.

PORTAL DO PROFESSOR. **Difração: Medidas entre as distâncias das ranhuras de um CD/DVD e da espessura de um fio de cabelo.** Disponível em
<<http://portaldoprofessor.mec.gov.br/fichaTecnicaAula.html?aula=31390>>. Acesso em 28 maio de 2017.

PRATA, L. de A. **Espectroscopia: tirando a identidade estelar.** I Simpósio Nacional de Educação em Astronomia. Rio de Janeiro, 2011.

PUBLIC LAB. **Papercraft Spectrometry Starter Kit.** Disponível em:
<<https://publiclab.org/wiki/foldable-spec>>. Acesso em 11 jan. de 2017.

RIBEIRO, J. **Estrelas.** Disponível em:
<www.astrosurf.com/joseribeiro/pestrelas.htm> . Acesso em 12 jan. de 2017.

RIBEIRO, J. **Nebulosas.** Disponível em: www.astrosurf.com/joseribeiro/pespectros_de_nebulosas.htm. Acesso em 12 jan. de 2017.

SALCIDES, P. F., PRATA, L. A. **Proposta de uma aula interdisciplinar de Química e Astronomia: Espectroscopia.** I Simpósio Nacional de Educação em Astronomia. Rio de Janeiro, 2011.

SANCHES, M. B. **A Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio: Qual sua presença em sala de aula?** Universidade Federal do Maringá, Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência e o Ensino de Matemática. Maringá, 2006.

SANTA CATARINA. **Proposta Curricular de Santa Catarina: Formação integral na educação básica.** Florianópolis, 2014.

SANTANA, F. B. **Das estrelas ao átomo: Uma proposta metodológica para o ensino de Física Moderna no ensino médio.** Universidade Federal de Santa Catarina, Curso de Graduação em Física. Florianópolis, 2015.

SEPÚLVERA, G. **Espectro eletromagnético.** Knoow, 10 maio de 2016. Disponível em: <http://knoow.net/cienciasexactas/fisica/espectroeletromagnetico/>. Acesso em 07 jan. de 2017.

TERRAZAN, E. A. **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.

VALADARES, E. de C., MOREIRA, A. M. **Ensinando Física Moderna no segundo grau: Efeito fotoelétrico, laser e emissão de corpo negro.** Caderno Catarinense de Ensino de Física, v.15, n.2: p. 121-135, ago. 1998.

VISIBLE spectra of elements. Disponível em: <http://www.umop.net/spctelem.htm>. Acesso em: 09 jan. de 2017.

WIKI HOW. **Como fazer um prisma.** Disponível em: <pt.wikihow.com/Fazer-um-Prisma>. Acesso em 09 jan de 2017.

WUENSCHÉ, C. A. **Oficina temática - Expansão do Universo. Curso de introdução à Astronomia e Astrofísica.** Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, 2009.

APÊNDICE A – TEXTOS ILUSTRATIVOS DE CADA FAIXA DO ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO

RÁDIO

Esta faixa do espectro é caracterizada por frequências baixas. Apesar de não a vermos, ela está presente no dia-a-dia, principalmente em sistemas de telecomunicações, como televisão, Rádio e telefonia móvel. Também é usada em radares meteorológicos, controle de tráfego aéreo, terrestre e marítimo. As ondas de rádio provenientes de sistemas fora da Terra não são afetadas pela atmosfera. (CID FERNANDES et. al., 2002)

MICROONDAS

Faixa invisível ao olho humano. Sua principal aplicação é no aparelho de microondas, que é usado para o aquecimento e preparação de alimentos. Também usado em radares para medir velocidades e distâncias.

INFRAVERMELHO

Este nome é devido à sua localização no espectro eletromagnético. É o tipo de radiação emitida por corpos quentes. Apesar de não serem vistas pelo olho humano, são sentidas na forma de calor. O ferro de passar roupa e o aquecedor são exemplo de objetos que emitem nesta faixa. Também existem câmeras sensíveis a esta radiação, que conseguem mostrar as áreas mais quentes dos corpos. Outros exemplos são: controle remoto, mouse e leitores de código de barras.

VISÍVEL

É a faixa correspondente ao espectro de cores que conseguimos enxergar, vai desde o vermelho até o violeta.

Esta faixa de radiação quase não é absorvida pela atmosfera da Terra.
A luz visível permite o funcionamento de muitos instrumentos ópticos, do mais simples ao mais sofisticado, do espelho ao microscópio.

ULTRAVIOLETA

O nome designado representa sua localização no espectro eletromagnético.

A radiação ultravioleta pode ser muito perigosa para os seres vivos.

A luz negra é uma das aplicações desta radiação, usada para identificar dinheiro falso, por exemplo.

É a radiação mais energética daquelas emitida pelo Sol e pode ser classificada em três tipos: UVA (não é absorvida pela atmosfera terrestre), UVB (parcialmente absorvida) e UVC (completamente absorvida).

RAIO-X

Faixa invisível ao olho humano.

É usado principalmente na área da saúde, em radiografias e na cura de certos tumores.

RAIO GAMA

Faixa invisível do espectro ao olho humano.

Produzida por decaimento nuclear e geralmente produzida por elementos radioativos.

Radiação eletromagnética de alta frequência.
É capaz de penetrar profundamente na matéria.

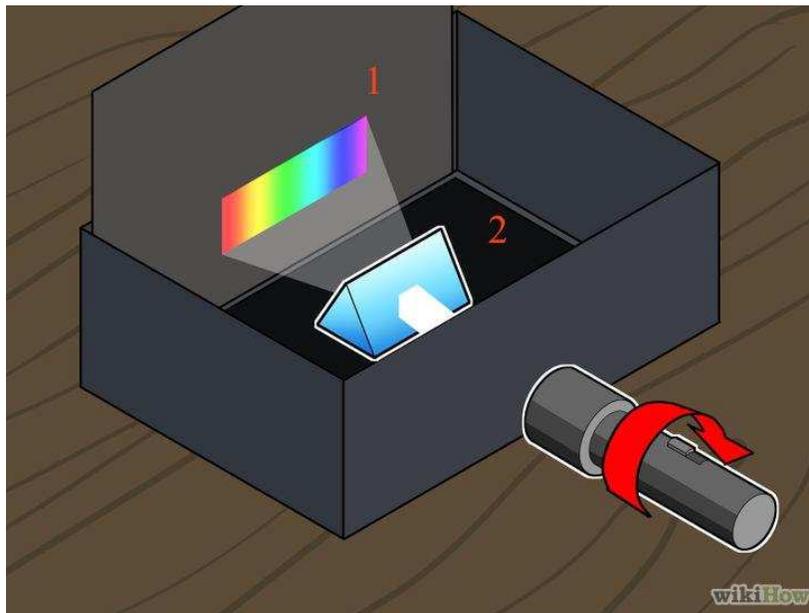
ANEXO A – ATIVIDADE DE DISPERSÃO DA LUZ

Material necessário

Caixa de sapato
Folha de papel branco
Folha de papel escuro
Prisma
Lanterna

Montagem

A montagem deve seguir o esquema mostrado abaixo. O número 1 representa como deve ser posicionada a folha branca e o 2 a folha escura.



Fonte: Adaptado de Wiki how. Obs: O espectro mostrado está equivocado, deveria ser na vertical começando pela faixa do vermelho.

É importante que a caixa esteja fechada de todos os lados, com exceção da parte superior e que em um dos lados da caixa seja feita um pequeno furo retangular para que a luz da lanterna possa passar e atingir o prisma.

ANEXO B – ATIVIDADE EXPERIMENTAL DE FENDA SIMPLES E DUPLA

Material necessário

Laser
Pente fino
Fita isolante
Suportes

Cuidados com o laser

Cabe o destaque para os principais cuidados que se deve ter com o uso do laser:

- Não exponha o feixe de laser diretamente aos olhos, pois ele pode causar sérias lesões na retina;
- Não armazene o equipamento em ambientes com temperaturas muito altas ou muito baixas;
- Não exponha a caneta laser direto aos raios de sol, chuva ou umidade excessiva.

Montagem

Primeiramente deve-se garantir que a luminosidade do local seja baixa o suficiente, para que após a montagem consiga-se ver o padrão de luz formado no anteparo.

Para a configuração das fendas desejadas, deve-se utilizar a fita isolante para cobrir os dentes do pente como um objeto opaco que iniba a passagem de luz, forçando-a a passar por apenas um número de fendas, no caso uma e duas fendas. Lembrando que as fendas devem possuir a menor largura possível, como mostra a Figura 1 abaixo.

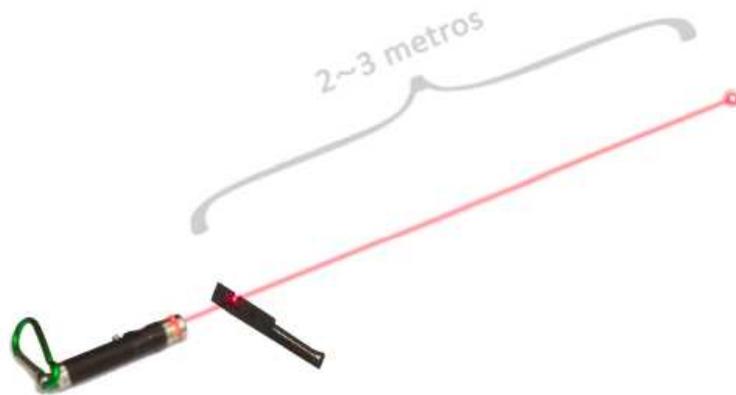
Figura 1 - Montagem das fendas



Fonte: Franzão et al., 2013.

O pente deve ser preso utilizando-se uma base suporte a cerca de 2 a 3 metros do anteparo, que pode ser uma parede. Os dentes visíveis do pente (fendas) devem estar voltados à região em que o laser será apontado. A figura 2 abaixo mostra esse esquema.

Figura 2 - Distância média entre o laser e o anteparo



Fonte: Franzão et. al.,2013.

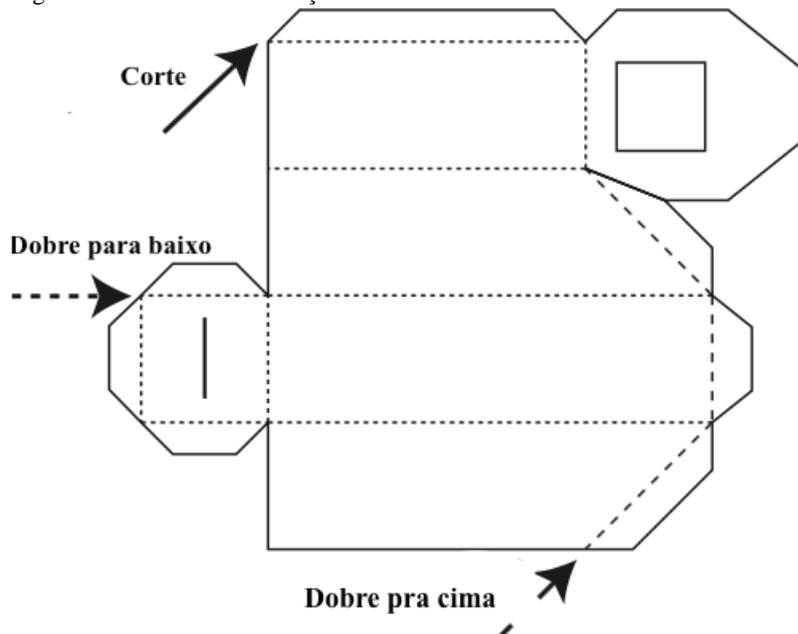
Então, o laser deve ser alinhado de forma que a luz incide exatamente sobre a região do pente que não foi recoberta com fita isolante (fenda). Se necessário, utilize um livro para nivelar o laser e o pente e prenda cuidadosamente o laser sobre o apoio (mesa ou livro).

Um vídeo apresentando passo a passo o experimento para fenda dupla pode ser encontrado sob o título "O experimento de Young: Fenda Dupla, acessado através do link: <https://www.youtube.com/watch?v=bB2J_bGogY0>

ANEXO C – ATIVIDADE EXPERIMENTAL DE CONSTRUÇÃO DO ESPECTRÓGRAFO

Antes de tudo, deve-se imprimir o PDF do material, representado na figura abaixo, em folha tamanho carta, em papel preto. Após isso, seguir as instruções abaixo.

Figura 1 - Modelo de construção



Fonte: Public lab, 2011 tradução nossa.

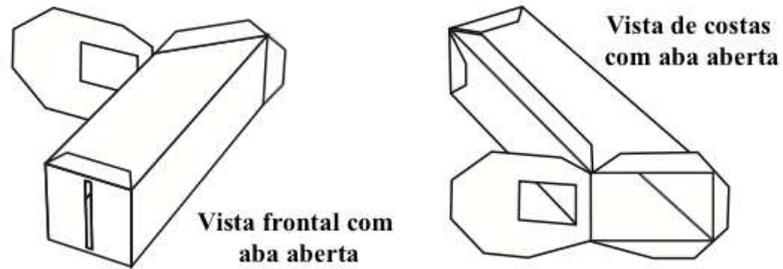
Instruções

1. Cortar e dobrar

Corte ao longo da borda. Dobre para cima e para baixo conforme indicado pelas linhas tracejadas e pontilhadas. Todas as etiquetas devem ficar do lado de fora. (Figura 1)

Depois dessa montagem, deve-se ter uma estrutura como apresentada na figura 2.

Figura 2 - Espectrógrafo depois da primeira etapa

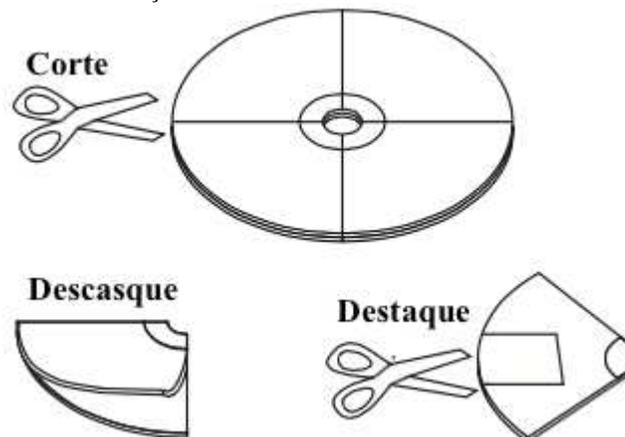


Fonte: Public lab, 2011 tradução nossa.

2. Faça uma rede de difração com o DVD

Para fazer uma rede de difração com o DVD, divida-o em quatro partes, descasque a camada reflexiva e destaque um pequeno quadrado limpo como mostra figura 3.

Figura 3 - Rede de difração com o DVD

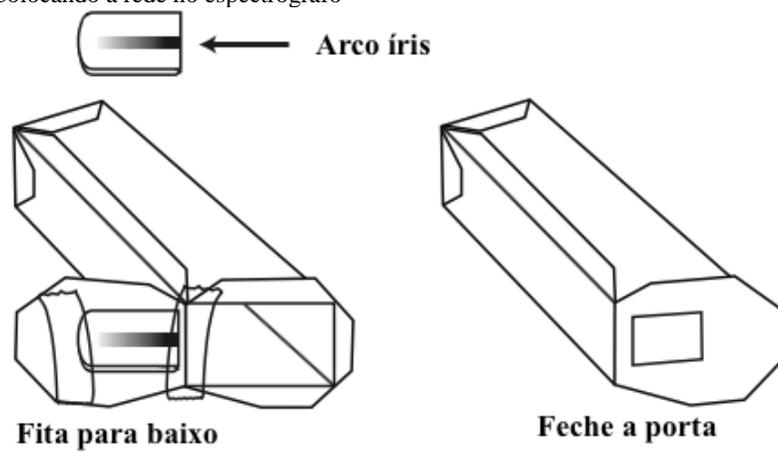


Fonte: Public lab, 2011 tradução nossa.

Para que o DVD funcione como uma rede de difração, ele deve ser colocado de modo que sua grade seja vertical, fazendo na horizontal um arco-íris espectral.

Cole o pedaço de DVD pelo lado de dentro da porta do espectrógrafo, depois feche com cola a porta. (Figura 4)

Figura 4 - Colocando a rede no espectrógrafo



Fonte: Public lab, 2011 tradução nossa.

ANEXO D – VÍDEO EFEITO DOPPLER COM ONDAS SONORAS

O vídeo pode ser encontrado na plataforma do youtube sob o título "Example of Doppler Shift using car horn", podendo ser acessado através do seguinte link: <<https://www.youtube.com/watch?v=a3RfULw7aAY>>.