

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA – UFSC
DEPARTAMENTO DE FÍSICA

SANDRO FERNANDES BARCELOS

**UMA ABORDAGEM HISTÓRICO-CONCEITUAL DA
MECÂNICA QUÂNTICA APLICADA NA DISCIPLINA DE
QUÍMICA PARA O ENSINO MÉDIO.**

**Florianópolis
2017**

Sandro Fernandes Barcelos

UMA ABORDAGEM HISTÓRICO-CONCEITUAL DA MECÂNICA
QUÂNTICA APLICADA NA DISCIPLINA DE QUÍMICA PARA O
ENSINO MÉDIO.

Dissertação de Mestrado
apresentada ao programa de pós-
graduação da Universidade
Federal de Santa Catarina –
UFSC, campus Florianópolis,
Departamento de Física, como
parte dos requisitos necessários à
obtenção de título de Mestre em
Ensino de Física.

Orientador: Prof. Dr. Jeferson de
Lima Tomazelli

Florianópolis
2017

FICHA CATALOGRÁFICA

UMA ABORDAGEM HISTÓRICO-CONCEITUAL DA MECÂNICA
QUÂNTICA APLICADA NA DISCIPLINA DE QUÍMICA PARA O
ENSINO MÉDIO.

Sandro Fernandes Barcelos

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, campus Florianópolis, no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física

Aprovada por:

Prof. Dr. Celso de Camargo Barros Jr.

Prof. Dr. Wagner Figueiredo

Prof. Dr. Evy A. Salcedo Torres

Florianópolis
2017

Agradecimentos

Primeiramente a Deus e a seu Filho Jesus Cristo pelo dom da vida e por me guiarem com segurança em todo o percurso nos finais de semana até Florianópolis.

A minha esposa Marta e ao meu filho Nicolas, que pacientemente aguentaram os meus momentos de stress, nervosismo, cansaço e impaciência.

Aos meus colegas do curso de mestrado, que em vários momentos me auxiliavam em minhas duvidas.

Aos professores pelo conhecimento e experiências repassados durante essa caminhada.

Ao corpo administrativo, docente e discentes da E.E.B. Frei Rogério pelo apoio e colaboração no desenvolvimento do projeto.

Ao meu caro amigo, professor e orientador Dr. Jeferson de Lima Tomazelli, pelo tempo dispendido nas orientações, e sempre colaborando e atendendo de forma cordial durante toda essa caminhada.

A Sociedade Brasileira de Física e Universidade Federal de Santa Catarina, em especial todo o Departamento de Física por meio de seu Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, que permitiram a realização desse trabalho.

A CAPES pelo apoio financeiro por meio da bolsa de estudos concedida ao longo do curso.

RESUMO

UMA ABORDAGEM HISTÓRICO-CONCEITUAL DA MECÂNICA QUÂNTICA APLICADA NA DISCIPLINA DE QUÍMICA PARA O ENSINO MÉDIO.

Sandro Fernandes Barcelos

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, campus Florianópolis, no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física

O trabalho apresentado tem como principal objetivo a produção de material educacional com aplicabilidade no Ensino Médio. Mediante a pesquisa com professores e alunos das escolas estaduais da região de Curitiba, quanto as dificuldades apresentadas no ensino de conceitos e conteúdos da Física Moderna, constatou-se a falta de um material paradidático que trouxesse uma abordagem conceitual para os alunos e também para os professores que atuam nas disciplinas de Física e Química e não possuem habilitação nas disciplinas supracitadas. Vale lembrar que na pesquisa realizada, a maioria dos professores que hoje atuam nessas disciplinas são professores de matemática ou outras áreas e que não possuem em sua habilitação a formação necessária que contemple conceitos de Física Moderna. Diante dessa problemática, muitos dos professores utilizam apenas livros didáticos, que na sua maioria não trazem uma abordagem da Física Moderna condizente com a necessidade para aprendizagem significativa dos alunos, tão exigida hoje para compreensão das inovações tecnológicas. A produção do presente material educacional em formato de *e-book*, traz conceitos da Mecânica Quântica ligada a disciplina de Química por meio de uma abordagem histórico-conceitual, material paradidático que pode ser utilizado como uma ferramenta no processo de ensino-aprendizagem auxiliando os professores em sala de aula, utilizando-se de recursos tecnológicos disponíveis para professores e alunos nas escolas. E por se tratar de um material histórico-conceitual, é utilizado uma linguagem acessível com simuladores e recursos audiovisuais que auxiliam no esclarecimento dos conceitos da Mecânica Quântica. Os recursos

também são ferramentas que proporcionam a motivação dos alunos, como ficou constatado na aplicação do produto educacional na E.E.B. Frei Rogério no município de Ponte Alta do Norte. Os alunos estudaram o material em sala de aula e apresentaram as discussões realizadas em grupos com o auxílio de recursos tecnológicos como: computadores, *smarthphones* e *tablets*. Um dos pontos destacado pelos alunos, foi a abordagem aplicada que possibilitou a compreensão de conceitos e das ligações entre cada tema tratado no *e-book*, motivando-os, a pesquisar mais sobre o assunto. De acordo com os alunos, sem os cálculos matemáticos é mais fácil para entender os conceitos da Mecânica Quântica e da Física Moderna.

Palavras-chaves: Física Moderna, Mecânica Quântica, *e-book*, aprendizagem.

ABSTRACT

A HISTORICAL-CONCEPTUAL APPROACH OF QUANTUM MECHANICS APPLIED IN THE CHEMISTRY DISCIPLINE FOR MIDDLE SCHOOL.

Sandro Fernandes Barcelos

Supervisor:

Prof. Dr. Jeferson de Lima Tomazelli

Abstract of master's thesis submitted to Programa de Pós-Graduação Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, campus Florianópolis no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), in partial fulfillment of the requirements for the degree Mestre em Ensino de Física.

The main objective of this work is the production of educational material with applicability in secondary education. Through the research with professors and students of the state schools of the Curitiba region, as well as the difficulties presented in the teaching of concepts and contents of Modern Physics, it was verified the lack of a paradigmatic material that would bring a conceptual approach for the students and also for the Professors who work in the disciplines of Physics and Chemistry and do not have habilitation in the disciplines mentioned above. It is worth remembering that in the research carried out, most of the teachers who currently work in these disciplines are teachers of mathematics or other areas and who do not have in their qualification the necessary training that contemplates concepts of Modern Physics. Faced with this problem, many of the teachers use only textbooks, most of which do not bring an approach to Modern Physics that is consistent with the need for meaningful learning for students, so required today for understanding technological innovations. The production of this educational material in e-book format, brings concepts of Quantum Mechanics linked to the discipline of Chemistry through a historical-conceptual approach. It is a paradigmatic material that can be used as a tool in the process of teaching-learning assisting the teachers in the classroom, using technological resources available for teachers and students in the schools. And because it is a historical-conceptual material, it is used in an accessible language with simulators and audiovisual resources that aid in the clarification of the concepts of

Quantum Mechanics. Resources are also tools that provide student motivation, as evidenced in the application of the educational product in E.E.B. Frei Rogério in the municipality of Ponte Alta do Norte. The students studied the material in the classroom and presented the discussions held in groups with the help of technological resources such as computers, smartphones and tablets. One of the points highlighted by the students was the applied approach that made possible the understanding of concepts and the links between each theme treated in the e-book, motivating them, to research more about the subject. According to the students, without mathematical calculations it is easier to understand the concepts of Quantum Mechanics and Modern Physics.

Keywords: Modern Physics, Quantum Mechanics, e-book, learning.

Lista de Figuras

FIGURA 1 – GRÁFICO REFERENTE PRIMEIRA QUESTÃO QUESTIONÁRIO DOS ALUNOS	48
FIGURA 2 – GRÁFICO REFERENTE A SEGUNDA QUESTÃO DO QUESTIONÁRIO DOS ALUNOS.....	48
FIGURA 3 – GRÁFICO REFERENTE A TERCEIRA PERGUNTA DO QUESTIONÁRIO DOS ALUNOS.....	49
FIGURA 4 – GRÁFICO REFERENTE A QUESTÃO COMPLEMENTAR DO QUESTIONÁRIO DOS ALUNOS	49
FIGURA 5 – GRÁFICO REFERENTE A QUESTÃO QUARTA DO QUESTIONÁRIO DOS ALUNOS.....	50
FIGURA 6 – GRÁFICO COM RELAÇÃO A PERGUNTA CINCO DO QUESTIONÁRIO DOS ALUNOS.....	50
FIGURA 7 – GRÁFICO REFERENTE A SEXTA QUESTÃO DO QUESTIONÁRIO DOS ALUNOS	51
FIGURA 8 – GRÁFICO DAS ATIVIDADES PESQUISA E LEITURAS DE LIVROS ONLINE DA SÉTIMA QUESTÃO DO QUESTIONÁRIO DOS ALUNOS	51
FIGURA 9 – GRÁFICO DAS ATIVIDADES DE ACESSO A E-MAILS E REDES SOCIAIS E DOWNLOAD DE FILMES, MUSICAS E SOFTWARES.....	52
FIGURA 10 – GRÁFICO DA OITAVA QUESTÃO DO QUESTIONÁRIO DOS ALUNOS	53
FIGURA 11 – RESPOSTAS REFERENTE A QUESTÃO 9 DO QUESTIONÁRIO DOS ALUNOS	53
FIGURA 12 – GRÁFICO REFERENTE A QUESTÃO 10 DO QUESTIONÁRIO DOS ALUNOS	53
FIGURA 13 – GRÁFICO COM RELAÇÃO A QUESTÃO 11 DO QUESTIONÁRIO DOS ALUNOS.....	54
FIGURA 14 – GRÁFICO COM RELAÇÃO A QUESTÃO DE NÚMERO 12 DO QUESTIONÁRIO DOS ALUNOS	54
FIGURA 15 – RESPOSTAS REFERENTE A QUESTÃO 12 DO QUESTIONÁRIO DOS ALUNOS - PROJETOS QUE JÁ PARTICIPARAM EM FEIRA DE CIÊNCIAS E MATEMÁTICA NAS DISCIPLINAS DE FÍSICA E QUÍMICA	55
FIGURA 16 – GRÁFICO REFERENTE A QUESTÃO 13 DO QUESTIONÁRIO DOS ALUNOS	56
FIGURA 17 – RESPOSTAS COM RELAÇÃO A QUESTÃO 13 DO QUESTIONÁRIO DOS ALUNOS	57
FIGURA 18 – GRÁFICO REFERENTE A PERGUNTA 1 DO QUESTIONÁRIO DOS PROFESSORES	58
FIGURA 19 – GRÁFICO REFERENTE A PERGUNTA 2 DO QUESTIONÁRIO DOS PROFESSORES	58

FIGURA 20 - GRÁFICO REFERENTE A PERGUNTA 3 DO QUESTIONÁRIO DOS PROFESSORES.....	59
FIGURA 21 – GRÁFICO REFERENTE A PERGUNTA 4 DO QUESTIONÁRIO DOS PROFESSORES.....	59
FIGURA 22 – GRÁFICO REFERENTE A PERGUNTA 5 DO QUESTIONÁRIO DOS PROFESSORES.....	59
FIGURA 23 – GRÁFICO REFERENTE A QUESTÃO 6 DO QUESTIONÁRIO DOS PROFESSORES.....	60
FIGURA 24 – GRÁFICO REFERENTE A QUESTÃO 7 DO QUESTIONÁRIO DOS PROFESSORES.....	61
FIGURA 25 – GRÁFICO REFERENTE A QUESTÃO 7 DO QUESTIONÁRIO DOS PROFESSORES – QUESTÃO COMPLEMENTAR.....	61
FIGURA 26 – GRÁFICO REFERENTE A QUESTÃO 8 DO QUESTIONÁRIO DOS PROFESSORES.....	62
FIGURA 27 – GRÁFICO REFERENTE A QUESTÃO 9 DO QUESTIONÁRIO DOS PROFESSORES.....	62
FIGURA 28 – GRÁFICO REFERENTE A QUESTÃO 10 DO QUESTIONÁRIO DOS PROFESSORES.....	63
FIGURA 29 – GRÁFICO REFERENTE A QUESTÃO 11 DO QUESTIONÁRIO DOS PROFESSORES.....	63
FIGURA 30 – GRÁFICOS REFERENTE A QUESTÃO 12 DO QUESTIONÁRIO DOS PROFESSORES.....	64
FIGURA 31 – GRÁFICO REFERENTE A QUESTÃO 13 DO QUESTIONÁRIO DOS PROFESSORES.....	65
FIGURA 32 – RESPOSTAS REFERENTE A QUESTÃO 14 DO QUESTIONÁRIO DOS PROFESSORES.....	66
FIGURA 33 – GRÁFICO REFERENTE A QUESTÃO 15 DO QUESTIONÁRIO DOS PROFESSORES.....	66
FIGURA 34 – RESPOSTAS REFERENTE A QUESTÃO 16 DO QUESTIONÁRIO DOS PROFESSORES.....	67
FIGURA 35 – GRÁFICO DOS CONCEITOS DE LANÇAMENTO OBLÍQUO E MECÂNICA NEWTONIANA DA QUESTÃO 17 REFERENTE AO QUESTIONÁRIO DOS PROFESSORES.....	68
FIGURA 36 – GRÁFICO DOS CONCEITOS DE POLARIZAÇÃO DA LUZ E LEI DE COULOMB DA QUESTÃO 17 REFERENTE AO QUESTIONÁRIO DOS PROFESSORES.....	69
FIGURA 37 – GRÁFICO DOS CONCEITOS EFEITO DOPPLER E CORRENTE ELÉTRICA DA QUESTÃO 17 REFERENTE AO QUESTIONÁRIO DOS PROFESSORES.....	70

FIGURA 38 - GRÁFICO DOS CONCEITOS DE LEI DE FARADAY-LENZ E TRANSFORMAÇÕES DE LORENTZ DA QUESTÃO 17 REFERENTE AO QUESTIONÁRIO DOS PROFESSORES	70
FIGURA 39 - GRÁFICO DOS CONCEITOS DE EFEITO FOTOELÉTRICO E PRINCÍPIO DA EXCLUSÃO DE PAULI DA QUESTÃO 17 REFERENTE AO QUESTIONÁRIO DOS PROFESSORES	71
FIGURA 40 - GRÁFICO DOS CONCEITOS LEI DE KEPLER E ATOMÍSTICA DA QUESTÃO 17 REFERENTE AO QUESTIONÁRIO DOS PROFESSORES.....	72
FIGURA 41 - GRÁFICO DOS CONCEITOS LEI DE LAVOISIER E ESTEQUIOMETRIA DA QUESTÃO 17 REFERENTE AO QUESTIONÁRIO DOS PROFESSORES	73
FIGURA 42 - GRÁFICO DOS CONCEITOS DE ELETROQUÍMICA E ESPECTROSCOPIA MOLECULAR DA QUESTÃO 17 REFERENTE AO QUESTIONÁRIO DOS PROFESSORES	73
FIGURA 43 - GRÁFICO DOS CONCEITOS HIBRIDIZAÇÃO DO CARBONO E FUNÇÕES ORGÂNICAS DA QUESTÃO 17 REFERENTE AO QUESTIONÁRIO DOS PROFESSORES	74
FIGURA 44 – RESPOSTAS DA QUESTÃO 18 DO QUESTIONÁRIO DOS PROFESSORES	75
FIGURA 45- DESTACANDO A FUNÇÃO DO <i>E-BOOK</i> NO PROCESSO ENSINO-APRENDIZAGEM	78
FIGURA 46 - O DIAGRAMA ACIMA DESTACA A IMPORTÂNCIA DAS DISCIPLINAS E O EMBASAMENTO TEÓRICO REPASSADO PARA A PRODUÇÃO DO <i>E-BOOK</i>	99

Sumário

Capítulo 1	19
Introdução	19
Capítulo 2	23
Referencial Teórico	23
LDB e Diretrizes Curriculares Nacionais	23
Panorama do Ensino Médio	24
As Dificuldades no Ensino/Aprendizagem da Física e da Química	27
A História da Ciência no Ensino da Física	33
A Importância da Física Moderna no Ensino Médio	37
Uso das Mídias e Tecnologias no Processo Ensino- Aprendizagem.	41
Capítulo 3	47
Análise da pesquisa realizada por meio de questionário com alunos e professores	47
3.1 Pesquisa com os alunos	47
3.2 Pesquisa com os professores	58
3.3 Considerações referente a análise dos questionários – alunos e professores	75
Capítulo 4	81
Metodologia e Aplicação do Produto Educacional	81
4.1 Perfil do município de Ponte Alta do Norte	82
4.2 Perfil da Escola de Educação Básica Frei Rogério	84
4.3 Aplicação do produto educacional <i>e-book</i>	85
4.3.1 1º Momento da Aplicação do produto educacional	86
4.3.2 2º Momento da Aplicação do produto educacional	87
4.3.3 3º Momento da Aplicação do produto educacional	87
4.3.4 4º Momento da Aplicação do produto educacional	88
4.3.5 5º Momento da Aplicação do produto educacional	90
4.3.6 6º Momento da aplicação do produto educacional	90
4.3.7 7º Momento da aplicação do produto educacional	91
4.4 Resultados da aplicação do produto educacional <i>e-book</i>	91

Capitulo 5.....	95
Considerações Finais	95
Capitulo 6.....	101
Referencias bibliográficas.....	101
Apêndice A	104
Produto Educacional - E-book.....	104

Capítulo 1

Introdução

Sabe-se que a Física está presente em vários campos da ciência, desde os átomos até as Galáxias. A Física se faz presente inclusive em processos químicos.

A Química surgiu com a Alquimia, porém, com a evolução para uma Química Moderna proposta por Antonie Laurent Lavoisier (Pai da Química), a Química começou a se utilizar de ideias e conceitos da Física, em vários de seus processos. Hoje sabemos que não existe mais uma distinção rígida entre o que é físico e o que é químico em processo de transformação da matéria. Pois, sendo a Física uma das ciências mais fundamentais, a mesma se faz presente inclusive no estudo de estruturas de moléculas, ligações, átomos e muitos outros conceitos que são trabalhos na área da Química.

Em Termoquímica, quando se trabalha as reações que liberam ou absorvem calor, e entalpia de ligações, em verdade se está estudando energia, aqui, novamente aparece a Física em todo processo de estudo da Termoquímica. Percebe-se assim, que a Física se mostra de fundamental importância dentro da Química, de forma que uma não pode ser comprovada sem a outra. O que se vê na educação, porém é uma, quase completa, separação entre as duas ciências/disciplinas.

Um dos poucos pontos onde há uma maior interação da Química com a Física Moderna é a Mecânica Quântica (MQ), que infelizmente na disciplina de Física no Ensino Médio não é repassada aos alunos. A Mecânica Quântica é a base de toda a Química atomística, desde os modelos atômicos que foram propostos até o modelo atômico mais atual. Inclusive todo o conceito de Ligações Químicas e a própria Classificação Periódica tem sua estrutura fundamentada na Mecânica Quântica.

É evidente que no Ensino Médio há problemas quanto a abordagem da MQ como conceito da Física Moderna, tanto na disciplina de Física, como também na disciplina de Química. OLIVEIRA, VIANNA, GERBASSI(2007), deixam claro que a lacuna provocada por um currículo de física desatualizado resulta numa prática pedagógica desvinculada e descontextualizada da realidade do aluno.

Isso, já nos leva a repensar quanto ao que realmente vem sendo abordado nos currículos escolares nas disciplinas de Física e Química. Que conceitos em Física e Química que podem explorar os

recursos tecnológicos (celular, *tablets*, computadores, internet) que hoje se fazem presentes na realidade do aluno do Ensino Médio? Será que os currículos nessas disciplinas não precisam de uma revisão? Os alunos não são motivados ao estudo nessas duas disciplinas, o que pode levar os mesmos a não observância dos fenômenos físicos e químicos inseridos nos avanços tecnológicos.

Com a presença da tecnologia inserida nas escolas, a mesma faz com que várias instituições de ensino, juntamente com professores, repensem em sua prática pedagógica para que haja uma inclusão de mídias e tecnologias da informação junto ao currículo escolar. Levy (1995) afirma que a informática é um campo de novas tecnologias intelectuais, aberto, conflituoso e, parcialmente, indeterminado. É de extrema importância que a escola e professores reflitam sobre as mudanças educacionais que a inserção das tecnologias pode trazer para o processo ensino-aprendizagem.

Iennaco (2009) enfatiza que apesar do grande número de estudos que vêm sendo desenvolvidos sobre o uso das tecnologias, ainda há uma grande resistência por parte dos professores no seu uso em sala de aula. A escola precisa traçar estratégias para superar entraves como esse.

Na internet há materiais como vídeos, apostilas e *e-books* interativos que ajudam o professor na sua prática pedagógica.

De acordo com Bergmann e Sams (2016), os alunos de hoje crescem com acesso à internet, *Youtube*, *Facebook*, *MySpace* e a muitos outros recursos digitais. Muitos desses estudantes relatam que quando chegam à escola precisam se desconectar e “emburrecer”, já que as escolas proíbem telefones celulares, *iPods* e quaisquer outros dispositivos digitais. A partir da colocação dos autores, a pergunta que se faz é: cabe à escola e professores combater a cultura da era digital com todas as suas tecnologias e mídias? Ou devemos explorar a mesma e assim obter os melhores resultados no processo ensino-aprendizagem?

Silva (2013), destaca que:

Quando o professor percebe que os alunos estão mais motivados em aprender quando ele faz uso das tecnologias em suas aulas, ele começa a compreender que sua prática ganha mais importância quando possibilita a conquista da autonomia, daí seu papel ultrapassa os limites de mero reprodutor de conhecimentos para produtor do saber.

A proposta apresentada vem trazer uma forma de explorar a mídia digital e assim auxiliar professores da área da Física e da Química a trabalharem de uma forma interdisciplinar abordando conceitos base da Mecânica Quântica por meio de uma abordagem histórico-conceitual, com a inserção de recursos midiáticos e das tecnologias em sala de aula.

A presente dissertação encontra-se dividida também da seguinte forma: Capítulo 2, traz o referencial teórico, em que na seção 2.1 da Lei das Diretrizes e Bases da Educação juntamente com diretrizes curriculares nacionais abordam o aprofundamento de conhecimentos, incluindo conhecimentos científicos, que são trabalhos no Ensino Médio, e dando base legal na abordagem histórico-conceitual no ensino das ciências, de acordo com as diretrizes curriculares nacionais.

Na seção 2.2 temos a abordagem do panorama do ensino no Brasil, quanto a qualidade e a sua importância, não somente do ensino médio, mas de toda a educação básica, enfatizando a necessidade de uma base sólida. Pois assim as Universidades podem atingir o seu grau de excelência quanto ao ensino superior.

A seção 2.3 traz as dificuldades no processo ensino-aprendizagem dentro do Ensino Médio nas disciplinas de Física e Química, as quais vão além da infraestrutura precárias das escolas. Passando por problemas de formação de professores, prática pedagógica e até questões sociais e culturais dos alunos.

A seção 2.4 apresenta a história da ciência no ensino de física como um recurso útil no processo ensino-aprendizagem e um meio de colaborar com a formação do aluno, seja na educação básica ou no ensino superior. Tratando o conhecimento científico como construção humana, o qual sofre influências do contexto sociocultural da sociedade em geral.

Na seção 2.5 é apresentada a importância do ensino da Física Moderna no Ensino Médio e sua integração nos currículos escolares, nas disciplinas de Física e Química. Sendo que a Física Moderna já se faz presente na sociedade há mais de um século e infelizmente a mesma ainda não é ensinada na Educação Básica. Não tem nem mesmo uma abordagem que enfatize as contribuições que a Física moderna trouxe para a sociedade atual. Ficando essa, como um ensino secundário no último ano do Ensino Médio.

A seção 2.6 aborda o uso das mídias e da tecnologia no processo ensino-aprendizagem na educação básica, apresentando os benefícios que a inserção das mesmas traz para a prática pedagógica do professor e também para o processo ensino-aprendizagem. Possibilitando ao aluno a integração das tecnologias, que o mesmo

convive em seu dia-a-dia, com o que se aprende na escola. Proporcionando até mesmo a ampliação do conceito sala de aula em termos de espaço e tempo.

No capítulo 3, trata-se da análise da pesquisa que foi realizada com alunos e professores das escolas de educação básica na região de Curitiba. Sendo que os professores são professores que atuam/atuavam em sala de aula nas disciplinas de Física e Química. Por meio de uma pesquisa quantitativa-qualitativa buscou-se entender a problemática quanto ao ensino de Física Moderna no Ensino Médio das escolas da Região de Curitiba e cidades vizinhas. Sendo que, na seção 3.1, tem-se os dados dos questionários dos alunos e seus respectivos infográficos que traz uma melhor observância quanto ao universo de resposta para cada pergunta.

Da mesma forma que na seção anterior; na seção 3.2, são apresentados os dados dos questionários que foram respondidos pelos professores da região, trazendo também, seus respectivos infográficos para uma melhor elucidação quanto a problemática.

Na seção 3.3, são apresentadas as considerações com relação a análise da pesquisa realizada por meio de questionário com alunos e professores e assim, apresentado o motivo para elaboração do material *e-book*, com foco na Mecânica Quântica com uma abordagem histórico-conceitual.

No capítulo 4, é apresentada a metodologia de aplicação do produto educacional junto as turmas de ensino médio da Escola de Educação Básica Frei Rogério na cidade de Ponte Alta do Norte. Capítulo 4 encontra-se dividido em seção 4.1, onde é descrito o perfil do município de Ponte Alta do Norte; na seção 4.2 descrevendo o perfil da Escola de Educação Básica Frei Rogério e sua corrente filosófica descrita em seu Projeto Político Pedagógico; na seção 4.3 tem-se a aplicação do produto educacional, dividido em 7 momentos de aplicação e na seção 4.4 é descrito os resultados da aplicação do produto educacional *e-book* junto as três turmas do Ensino Médio na E.E.B. Frei Rogério.

E por fim, no capítulo 5, são apresentadas as considerações finais quanto a aplicação do material *e-book* e sua eficácia como instrumento para uso em sala de aula com a integração das mídias e tecnologia no ensino da Mecânica Quântica no ensino da Química.

Capítulo 2

Referencial Teórico

LDB e Diretrizes Curriculares Nacionais

Sabe-se que a Lei das Diretrizes e Bases da Educação juntamente com os parâmetros curriculares nacionais destacam finalidades na Educação Nacional como:

“Art. 35. O ensino médio, etapa final da educação básica, com duração mínima de três anos, terá como finalidades:

I - a consolidação e o aprofundamento dos conhecimentos adquiridos no ensino fundamental, possibilitando o prosseguimento de estudos;

II - a preparação básica para o trabalho e a cidadania do educando, para continuar aprendendo, de modo a ser capaz de se adaptar com flexibilidade a novas condições de ocupação ou aperfeiçoamento posteriores;

III - o aprimoramento do educando como pessoa humana, incluindo a formação ética e o desenvolvimento da autonomia intelectual e do pensamento crítico;

IV - a compreensão dos fundamentos científico-tecnológicos dos processos produtivos, relacionando a teoria com a prática, no ensino de cada disciplina.”

(LDBE - Lei nº 9.394 de 20 de Dezembro de 1996).

Dentro das finalidades citadas pela LDBE, os incisos I e IV são bem claros quanto ao aprofundamento de conhecimentos, incluindo conhecimentos científicos, que são trabalhados no ensino médio.

Mesmo sabendo que conteúdos de Física e Química não são ensinados, diretamente, nos nove anos de Ensino Fundamental, apenas no último ano tem-se um apanhado geral da Química e da Física. Porém, em análise de material de Ensino Fundamental, se encontra de forma contextualizada vários conceitos da Física e da Química, que são repassados aos alunos, mas sem dar o enfoque devido a essas áreas.

Cabe, assim, no Ensino Médio aprofundar esses conceitos que

já foram trabalhados, juntamente, como cita o inciso IV da Lei nº 9.394 de 20 de dezembro de 1996, também proporcionar a compreensão dos fundamentos científicos-tecnológicos produtivos, e nesse caso, temos como principal fundamento os conceitos físicos em vários ramos da ciência e da tecnologia.

Um ponto a ser ressaltado aqui é o que as Diretrizes Curriculares Nacionais citam em um dos itens referentes ao compromisso que a Escola, como Instituição Educacional, tem ao cuidar e educar: “III - ensinar a compreender o que é ciência, qual a sua história e a quem ela se destina;” (Diretrizes Curriculares Nacionais, pág. 33, ano 2013), notamos que nesse ponto a ciência deve ser ensinada com uma base histórico-conceitual, ou seja, ensinar aos alunos que a ciência e seus conceitos, quando formulados, foi em um período diferente dos tempos de hoje, inclusive muitos conceitos científicos sofrem evolução já por não condizerem mais com a realidade dos dias de hoje.

Panorama do Ensino Médio

De acordo com o parecer o relatório I, do Parecer CNE/CEB Nº 5/2011, referente ao Processo 23001.000189/2009-72, o qual encontra-se junto as Diretrizes Curriculares Nacionais de 2013:

Para alcançar o pleno desenvolvimento, o Brasil precisa investir fortemente na ampliação de sua capacidade tecnológica e na formação de profissionais de nível médio e superior. Hoje, vários setores industriais e de serviços não se expandem na intensidade e ritmos adequados ao novo papel que o Brasil desempenha no cenário mundial, por se ressentirem da falta desses profissionais.

Não há como as Universidades, e até mesmo os Centros Tecnológicos, atingirem o grau de excelência necessário para que o Brasil avance em sua capacidade tecnológica e científica se não tivermos um Ensino Médio de qualidade e uma Educação Básica de base sólida.

Pois como sabemos, o Ensino Médio é a última fase de toda a Educação Básica, onde a formação dos estudantes que chegam ao Ensino Médio vai além da formação profissional, um dos focos que a

LDB e até mesmo as Diretrizes Curriculares Nacionais (DCN), deixam claro é a formação social e a construção da cidadania dos jovens e adolescentes.

A DCN de 2013 cita:

É preciso oferecer aos nossos jovens novas perspectivas culturais para que possam expandir seus horizontes e dotá-los de autonomia intelectual, assegurando-lhes o acesso ao conhecimento historicamente acumulado e à produção coletiva de novos conhecimentos, sem perder de vista que a educação também é, em grande medida, uma chave para o exercício dos demais direitos sociais.

Hoje, todas as discussões e estudos acerca do ensino no Brasil se referem, em sua grande maioria, ao Ensino Médio, já pelo motivo supracitado no paragrafo anterior. Nos estudos e discussões tem-se como destaque acerca do Ensino Médio, os conteúdos, a estrutura, bem como as condições em que se encontra. Tais condições e infraestrutura do Ensino Médio e até mesmo das Unidade de Educação (UE), estão longe de atender as necessidades dos alunos que hoje frequentam essas Escolas, tanto na questão da construção da cidadania como também na formação profissional.

Por causa do cenário supracitado no Ensino Médio, muitas propostas têm sido feitas no decorrer do tempo, desde a inclusão de novas disciplinas como também mudanças em conteúdos e currículos nas Escolas. Buscando assim uma melhoria na qualidade do ensino da Educação Básica. Tais propostas não se dão apenas para melhoria na qualidade, mas também, devido ao cenário que traz novas exigências educacionais, as quais são decorrentes da aceleração do conhecimento, o que acaba ampliando o acesso a informação.

Observamos ainda, nesse cenário, que devido a criação de novos meios de comunicação, alterações importantes foram trazidas para o mundo do trabalho e assim, mudando os interesses dos adolescentes e jovens, os quais estão sujeitos a essa etapa da educação. Podemos ressaltar que o aprendizado dos conhecimentos escolares tem significados diferentes conforme a realidade do estudante. Devido a tal fato, a escola necessita ser repensada para poder responder a estes desafios.

Um dos pontos que vale ressaltar aqui é o que tange a

formação dos professores, de acordo com o relatório inserido na DCN 2013:

...medidas que articulem a formação inicial dos professores com as necessidades do processo ensino-aprendizagem, ofereçam subsídios reais e o apoio de uma eficiente política de formação continuada para seus professores – tanto a oferecida fora dos locais de trabalho como as previstas no interior das escolas como parte integrante da jornada de trabalho – e dotem as escolas da infraestrutura necessária ao desenvolvimento de suas atividades educacionais.

As Escolas, principalmente as Estaduais, vêm sofrendo com a falta de professores habilitados em algumas áreas da Educação, principalmente no tocante as disciplinas da área das exatas: Matemática, Física e Química. Quando há professor habilitado, vamos tomar como exemplo a matemática, esse professor por propostas da Coordenadoria de Educação, acaba, em muitos momentos, absorvendo aulas das disciplinas de Física e/ou Química, sem a devida formação necessária para atuar como professor das disciplinas supracitadas.

No que diz respeito a formação continuada dos professores, tomamos aqui como os professores que atuam em Escolas Públicas, observamos que não há uma formação continuada adequada as necessidades da disciplina e do professor. Em sua maioria, as formações continuadas – quando oferecidas - são de assuntos abrangentes e não específicos a disciplina, ou seja, não há um direcionamento específico dos conteúdos abordados nas capacitações e/ou formações continuada, o que acaba desmotivando professores que hoje atuam em Escolas Estaduais e/ou particulares.

Vale lembrar ainda, que nas Escolas Estaduais tem-se o agravante da infraestrutura da UEs, muitas escolas do Estado de Santa Catarina, cito aqui a Escola em que foi aplicado o projeto de estudo, a Escola de Educação Básica Frei Rogério, situada no município de Ponte Alta do Norte-SC, a mesma não possui condições adequadas de infraestrutura para aplicação de um projeto que se utilize da mídia informática e internet.

Nesse sentido, a necessidade de uma infraestrutura ao desenvolvimento de atividades educacionais e a capacitação adequada dos professores, trata-se de uma política pública de educação que deveria ser tomada como básica para o funcionamento das Escolas,

principalmente, o funcionamento adequado do Ensino Médio. Vale citar ainda, que não há uma articulação dos conteúdos com o contexto do estudante e nem mesmo com os demais componentes das áreas de conhecimento, dessa forma afastando-se das finalidades propostas pela LDB, para o Ensino Médio.

É importante citar aqui, um estudo conduzido pela UNESCO, onde ficou observado pela mesma que:

Os ditames legais e normativos e as concepções teóricas, mesmo quando assumidas pelos órgãos centrais de uma Secretaria Estadual de Educação, têm fraca ressonância nas escolas e, até, pouca ou nenhuma, na atuação dos professores (UNESCO, 2009).

Tal estudo demonstra a falta de infraestrutura seja material e/ou profissional – nesse caso, a questão de formação dos professores – no Ensino Médio, o que acaba agravando a formação de profissionais de nível médio e superior.

As Dificuldades no Ensino/Aprendizagem da Física e da Química

As dificuldades no ensino vão além da infraestrutura precária das UEs estaduais e/ou municipais, como já citado anteriormente, temos a falta de formação dos professores, o que acaba contribuindo para as dificuldades, seja ela de forma abrangente, para toda a Escola, seja ela de forma específica, para a disciplina em questão.

Sabemos que se o profissional não tiver uma habilitação condizente na área, em vários momentos isso acaba prejudicando o processo de ensino/aprendizagem dos alunos e até mesmo colocando em dúvida sua didática como educador e metodologia utilizada, o que acaba acarretando em problemas tanto para o professor como para o ensino em geral.

As disciplinas de Física e Química, com certeza, são disciplinas que sofrem com a escassez de profissionais habilitados nas Escolas Públicas. Em virtude de tal problemática, muitas secretarias de educação, estaduais e municipais, acabam oferecendo tais disciplinas para professores que não possuem a habilitação necessária para exercer tal função. Trata-se na verdade de uma forma de resolver o problema momentaneamente, ou seja, “tapar o sol com a peneira”, pois tal atitude

pode trazer consequências para o ensino e também problemas no repasse de conceitos científicos aos alunos. Pois muitos professores, pela falta de habilitação e até mesmo experiência, acabam por não conduzir o conhecimento de forma adequada e assim não atingindo as expectativas e meta dos alunos, inclusive no que dita a LDB.

Além das dificuldades em termos de infraestrutura e profissional, tem-se ainda, as dificuldades de aprendizagem em vários alunos que hoje frequentam o Ensino Médio.

Assim, é possível perceber que são rotulados de incapazes os alunos que manifestam dificuldades na escola, a partir de um padrão ideal de "bom" aluno, e justificam-se estas dificuldades como consequência do ambiente "desfavorável" no qual estes alunos estão inseridos. Isso significa que a instituição escola não considera o aluno como um todo e acaba caindo na separação entre alunos bons e alunos ruins, sem se preocupar com as situações vividas pelo mesmo fora do ambiente escolar. (SILVÉRIO e ZIMMERMANN. 2001)

Isso acaba influenciando até mesmo em uma abordagem tecnológica, pois como sabemos hoje os alunos estão mais perto das novas tecnologias de informação e fora dos portões das escolas, do que dentro das próprias instituições de ensino. Tal situação acarreta em um desinteresse por parte dos alunos, no que é abordado dentro dos muros das escolas, muitas vezes sem uma conexão com as inovações científicas e tecnológicas, as quais os mesmos estão mais próximos no seu dia-a-dia.

Como sabemos, toda inovação científica e tecnológica se passa, em boa parte, no campo da Física. Porém, os alunos têm dificuldades de visualizarem tal situação. Assim, a dificuldade em poder visualizar esse avanço e relacionar com o que é ensinado em Física, na maioria das vezes depende exclusivamente da didática e da metodologia que é adotada pelo professor.

O uso de uma metodologia mais dinâmica e criativa se faz necessária por parte de professores que lecionam disciplinas de Física e Química, pois dessa forma o professor contribui para que o aluno raciocine melhor dando mais clareza a determinados conteúdos/conceitos nas disciplinas supracitadas. Vale lembrar, que para o uso desse tipo de metodologia, se faz necessário que os professores dessas disciplinas tenham uma base adequada de conhecimentos que

permeiem a didática, currículo e inclusive que domine a pedagogia específica para ensinar Física e Química.

Há vários motivos que acabam por interferir no ensino/aprendizagem dos alunos nas disciplinas supracitadas. Como já mencionado em parágrafos anteriores, existe a problemática de professores que não são habilitados nas disciplinas de Física e Química e acabam por assumi-las.

Outro ponto a ser levado em consideração, é a preocupação dos professores em dar conta dos conteúdos estipulados, na maioria das vezes, propostos por um livro didático adotado pelas Escolas. Tal situação acaba por “engessar” o professor e o mesmo se sente “obrigado” a dar conta do programa, fazendo com que se preocupe menos com a aprendizagem dos alunos. A partir desses dois pontos levantados, já se pode concluir, que infelizmente, esses profissionais, estão contribuindo para que a aprendizagem não aconteça de maneira significativa.

Hoje mesmo com todas as teorias de aprendizagem que são aplicadas nas escolas, ainda esperamos que o aluno chegue pronto para aprender, ou seja, na maioria dos casos professores ainda relatam que a dificuldade de aprendizagem está no aluno. Mesmo já sabendo que cada aluno tem características próprias e diferentes entre si, com personalidades diferentes e, por isso, cada aluno irá aprender de uma forma diferente e específica um determinado conteúdo seja em disciplinas como Física e Química, seja em disciplinas da área das humanas. Assim, a pergunta que fica é: será que a dificuldade de aprendizagem realmente está somente no aluno? Pelo que já foi exposto acima podemos afirmar que não.

A dificuldade de aprendizagem não é apenas culpa do aluno, mas também do professor, da escola e de todo o sistema educacional em geral. Nesse caso o melhor termo para designar tal problemática seria: dificuldades no ensino-aprendizagem, pois tal problemática trata-se de uma via de “mão-dupla”.

As dificuldades no ensino-aprendizagem, vão desde problemas e transtornos psicológicos dos alunos, como problemas de metodologia e didática do próprio professor. Como se sabe, quanto as dificuldades de aprendizagem por parte dos alunos, existe algumas concepções que norteiam tais dificuldades sendo a principal delas a dificuldades de aprendizagem dentro das perspectivas inatista e ambientalista.

Sendo que a perspectiva inatista, deixa claro, que como relatado em parágrafos anteriores, a dificuldade está no aluno (o que boa

parte dos profissionais da educação deduzem), sendo uma característica inata a sua personalidade, derivado de problemas hereditários e maturacionais (problema biológico), por esse tipo de concepção que muitos esperam que o aluno chegue na escola pronto para aprender, o que realmente isso não acontece.

As capacidades básicas de cada ser humano são inatas, ou seja, já se encontram praticamente prontas no momento do nascimento ou potencialmente determinadas e na dependência do amadurecimento para se manifestar" (Rego, 1996, p. 86).

De acordo com SILVÉRIO e ZIMMERMANN:

A concepção inatista de desenvolvimento humano é sustentada pelas teorias psicológicas maturacionais que naturalizam as funções psicológicas predominantes no saber sistematizado e socializado pela escola (SILVÉRIO E ZIMMERMANN, 2001).

Porém, até que ponto tal perspectiva se mostra clara e confiável, a ponto de dizer que a dificuldade do aluno se dá apenas por problemas biológicos? De acordo com Chauí (1995), ao se tentar compreender e até mesmo explicar tal perspectiva, se faz necessário percorrer o caminho da construção histórica da Filosofia Racionalista e Idealista.

No Mênon, Sócrates dialoga com um jovem escravo analfabeto. Fazendo-lhe perguntas certas na hora certa, o filósofo consegue que o jovem escravo demonstre sozinho um difícil teorema de geometria (o teorema de Pitágoras). As verdades matemáticas vão surgindo no espírito do escravo à medida que Sócrates vai-lhe fazendo perguntas e vai raciocinando com ele. Como isso seria possível, indaga Platão, se o escravo não houvesse nascido com a razão e com os princípios da racionalidade? Como dizer que conseguiu demonstrar o teorema por um aprendizado vindo da experiência, se ele jamais ouvira falar de

geometria?" (Chaui, 1995, p.70).

Assim, não se pode julgar as dificuldades de aprendizagem apenas dentro de uma perspectiva inata do sujeito.

Com relação a perspectiva ambientalista, a mesma encontra-se inserida e explicitada dentro de uma filosofia empirista, a qual se contrapõe ao racionalismo, pois enquanto para o "inatismo", o sujeito já nasce com essa dificuldade, para o "ambientalista", isso se dá devido ao ambiente no qual o sujeito está inserido. O ambiente não está favorecendo e/ou nem vai favorecer a estimulação adequada para que o sujeito aprenda.

"Pelo recurso a versões ambientalistas do desenvolvimento humano, reservando-se ao termo "ambiente" uma concepção acritica, compatível ao mesmo tempo com uma visão biologizada da vida social e com uma definição etnocêntrica de cultura: de um lado o ambiente é praticamente reduzido a estimulação sensorial proveniente do meio físico; de outro, valores, crenças, normas, hábitos e habilidades tidos como típicos das classes dominantes são considerados como os mais adequados à promoção de um desenvolvimento psicológico sadio" (Patto, 1993, p. 48).

Tal perspectiva, acaba preconcebendo um determinismo sociólogo, "tirando" a culpa do aluno e colocando a mesma no meio social, cultural e até mesmo na situação econômica em que o sujeito está inserido.

A partir do momento que citamos que o aluno tem falta de aptidões inatas para aprender devido a problemas biológicos ou até mesmo por causa de um meio inadequado, o qual não o estimula ou incentiva, estamos pressupondo que esse aluno, naturalmente, já tenha essas aptidões.

"Para que se conheçam as verdadeiras aptidões e se possibilite sua expressão, é preciso anular os efeitos do meio, trabalho realizado através da compensação do comportamento. Ora, não se pode demonstrar a existência de aptidões naturais pela noção de compensação das carências socioculturais, a menos que se suponha

aprioristicamente a existência de aptidões naturais. (Kramer, 1982, P. 38-39).

Partindo-se de uma concepção inatista, procurando no ambiente de convívio dos alunos as causas para estes não terem desenvolvido as capacidades inatas, que são necessárias para a aprendizagem. Afirma-se que as dificuldades estão nas qualidades ou capacidades inatas que os alunos ainda não possuem e dessa forma supõe que as causas destas ausências estejam no ambiente e nas histórias individuais.

Ao englobar todas as possíveis causas destas dificuldades tem-se ainda, junto a essas, o determinismo sociológico. Assim as dificuldades de aprendizagem que os alunos apresentam passam a ser consequência também do ambiente, ao qual, estão inseridos. Tais pontos não são desconsiderados, dos alunos que apresentam dificuldades, mas acabam sendo considerados perniciosos quando se trata do desempenho esperado dos alunos.

Todos os pontos elencados anteriormente, acabam por encerrar um pensamento e até mesmo construindo um paradigma “fatalístico”, por parte dos professores, que consideram o ato de ensinar muito difícil e/ou até mesmo impossível para esses alunos.

Quando se questiona os alunos em quais áreas os mesmos têm maior dificuldade, a maioria dos alunos destacam as áreas das ciências da natureza: Física, Química e Matemática. Sendo que muitos retratam as dificuldades no raciocínio matemático que há nas disciplinas supracitadas.

De acordo com Silvério e Zimmermann:

A concepção inatista de desenvolvimento humano implica uma atitude espontânea, que é a de esperar que o aluno amadureça. Não há nada que o professor ou a escola possa fazer, pois passa a ser uma questão biológica. Ficando assim muito evidente o determinismo biológico que decorre desta concepção. O trabalho individualizado que se faz é para garantir que tudo que era possível já foi feito, pois se considera o fato de que o ambiente não proporciona o desenvolvimento das capacidades e funções que o aprendiz requer. Neste sentido, a educação se vê com muito pouco ou quase nada a fazer em relação ao

desenvolvimento individual do sujeito e, o que se pode esperar, é que o aluno atinja uma maior maturação com a ajuda do meio, do grupo e do professor. (Silvério e Zimmermann, 2001).

Assim, pode-se ressaltar que o papel do professor não deve ser de apenas um mero transmissor de conhecimentos, pois isso implicaria em uma imobilidade do mesmo, uma acomodação do aluno e de sua família. Onde isso resulta, dentro da educação escolar, sob o ponto de vista da concepção inatista um fatalismo biológico e dentro da ambientalista um fatalismo sociológico.

Segundo Kramer, a escola com seus métodos tradicionais, com seus livros didáticos descontextualizados, com sua linguagem simples e comum, acaba dificultando a aprendizagem dos alunos e reafirmando a divisão social de classes. Dessa forma cabe a escola como instituição e aos professores como mediadores do processo de ensino-aprendizagem a repensar na prática educativa, pois hoje com a presença de novas tecnologias e telecomunicações, as mesmas trouxeram uma nova maneira de se comunicar e inclusive informar e aprender.

Nos dias de hoje o conhecimento é descentralizado, o professor não é mais o centro de todo o conhecimento, então, o mesmo não deve ser apenas um mero transmissor, espera-se mais do papel do professor, onde o mesmo deve se posicionar como um mediador diante das diversas linguagens e oportunidades educativas.

A História da Ciência no Ensino da Física

A muito se tem recomentado, que na educação científica, seja do nível mais básico ao nível mais avançado, seja utilizado a história e a filosofia da ciência (HFC), no processo de ensino-aprendizagem, sendo esse um recurso útil para dar uma formação de qualidade, visando assim aspectos epistemológicos da construção da ciência como um todo.

A partir de tal perspectiva, pode-se destacar a importância de se aprender a ciência como um empreendimento do ser humano, sem falar que a mesma pode ser usada como uma estratégia pedagógica, inclusive para discussões sobre certas características das ciências naturais (Física, Química e Biologia). Dessa forma trazendo para salas de aulas um contexto sócio-histórico-cultural, conferindo assim, significado a noções epistemológicas abstratas, ajudando a desvendar os vários processos que levaram a produção e construção de conceitos dentro das ciências naturais.

Tal abordagem ajuda na compreensão mais ampla do papel das ciências na sociedade. Sabemos que a Física tem um papel fundamental na compreensão e explicação de vários fenômenos em termos de Tecnologia e avanço científico na sociedade atual.

E por se tratar de uma área de base para várias outras áreas da ciência, como a Química, Biologia e área tecnológica a mesma deveria ser tratada com uma abordagem mais ampla, demonstrando seu papel fundamental dentro das ciências. E a abordagem supracitada deve ser parte integrante no ensino da Física, desde o ensino médio até o ensino mais avançado.

Ao se adotar a abordagem HFC no ensino da Física e da Química na formação dos alunos, estaremos dando a reconhecida importância dos conhecimentos que levaram a construção da Física e da Química como áreas da ciência de importância para a sociedade atual.

Hoje em sala de aula muitos professores se prendem apenas a repassar conceitos das disciplinas supracitadas, dentro de concepções puramente empírico-indutivista em termos da construção do conhecimento científico. Diante de tal situação, sem um aprofundamento de conceitos históricos, a transmissão da imagem da ciência e mesmo do conhecimento científico passa a ser uma imagem abstrata repassada aos alunos.

O educador que acaba tendo uma postura, como a citada no parágrafo anterior, acaba conflitando com as recomendações das Diretrizes Curriculares e mesmo dos Parâmetros Curriculares Nacionais e Estaduais. Ao se transmitir conhecimento científico, seja esse conhecimento nas disciplinas de Física e Química, ou em outra área das ciências e tecnologia, deve se levar em consideração alguns aspectos:

- A compreensão da ciência como uma atividade humana, historicamente construída, imersa no contexto cultural de cada época e de cada povo, e não como uma construção puramente racional, desenvolvida por um suposto “método científico” único e universal a partir apenas de observações, experimentos, deduções e induções logicamente fundados.
- Entender a ciência se desenvolvendo em um contexto cultural de relações humanas, dilemas profissionais e necessidades econômicas revela uma

ciência parcial e falível, contestável, influenciada também por fatores extra científicos.

- Conhecer sobre as ciências e não apenas os conteúdos científicos, mas também alguns de seus pressupostos e limites de validade, permite criticar o dogmatismo geralmente presente no ensino de ciências, além de promover o pensamento reflexivo e crítico.
- Possibilitar certo conhecimento metodológico como um antídoto à interpretação empírico-indutivista da ciência permite refletir sobre as relações e diferenças entre observação e hipóteses, leis e explicações e, principalmente, resultados experimentais e explicação teórica.

(FORATO; PIETROCOLA; MARTINS, 2011).

Hoje a forma com que muitos professores tomam como uma abordagem da Física e da Química no ensino médio, acaba por não favorecer a crítica por essa concepção ingênua da ciência e do conhecimento científico, dando a entender ao aluno, que trata-se de uma idéia, de uma verdade absoluta, a qual foi estabelecida apenas por um único método empírico universal. O que sabemos é que não existe apenas uma visão única e consensual quando se trata sobre a construção do conhecimento científico.

Dessa forma a metodologia do professor (mediador) deve ser, na Educação Básica, nesse caso no Ensino Médio, uma metodologia que venha abranger a crítica ao empirismo ingênuo, dessa forma apresentando aos alunos que o conhecimento científico dentro das disciplinas de Física e Química trata-se de uma construção humana.

Ao se tratar do conhecimento científico dentro das disciplinas supracitadas como construção humana, o professor e o aluno têm que ter a visão de que o mesmo sofre influencia inclusive do contexto sócio-cultural de cada época em que um determinado fenômeno e/ou conceito científico é analisado, registrado e formulado.

O professor como mediador e orientador pode trazer, também, em sua metodologia e sua abordagem quanto ao conhecimento científico as seguintes concepções:

- teorias científicas não podem ser provadas e não são elaboradas unicamente a partir da experiência;
- o conhecimento científico baseia-se fortemente, mas não inteiramente, na observação, evidência experimental, argumentos racionais e ceticismo.

(FORATO; PIETROCOLA;
MARTINS, 2011).

Dessa forma, dando ao aluno uma visão mais crítica quanto a construção do conhecimento científico e a dedução de conceitos nas disciplinas de Física e Química, quanto ao método empírico-indutivista. Naturalmente, caberá ao professor especificar a abordagem a ser adotada no processo ensino-aprendizagem pois a mesma pode ter um enfoque filosófico, histórico e/ou cultural, com relação a determinados conceitos das disciplinas de Física e Química.

Ao abordar aspectos históricos de conceitos dentro da Física e Química, como conceitos da Mecânica Quântica e demais abordagem da Física Moderna, deve-se levar em conta que:

Os documentos produzidos pelos cientistas do passado são analisados à luz de sua própria época, mediante aspectos culturais do período, considerando outras teorias alternativas propostas pelos contemporâneos, fatores políticos e sociais que podem ter interferido no desenvolvimento do conhecimento (MARTINS , 2005).

Podemos observar, não apenas na área das ciências, mas também em todas as demais áreas do conhecimento humano, que os aspectos culturais, sociais e históricos sempre interferirão no desenvolvimento e evolução do conhecimento humano, seja ele científico ou não.

Hoje, percebemos que o progresso e o avanço tecnológico também se dão em virtude dos aspectos culturais, sociais e inclusive fatores políticos em que nossa sociedade se encontra. Devido a tais fatores o conhecimento científico, não apenas nas áreas da Física e da Química, mas no geral, evolui de forma progressiva.

Dessa forma quando se trata de conhecimento humano deve-se tratar, também, por meio de uma abordagem histórico-cultural.

A Importância da Física Moderna no Ensino Médio

Ao analisar quanto ao ensino da Física e da Química no Ensino Médio, percebemos que o mesmo não acompanha o avanço tecnológico e científico pelo qual o mundo vem passando, principalmente nas últimas décadas, ficando muito distante da realidade a qual o aluno encontra-se inserido.

Nas grades curriculares de Física e Química, ao analisar o currículo escolar, percebe-se quanto o mesmo é obsoleto, desatualizado e descontextualizado, mas isso não se retrata apenas no currículo, mas também na prática pedagógica e na metodologia adotada por professores no processo ensino-aprendizagem. Tal problemática acaba por fazer com que os alunos venham a ter desinteresse pelas aulas, as quais acabam sendo monótonas e desconexas com a realidade atual do desenvolvimento tecnológico.

Pois sabe-se que a Física e a Química têm contribuído de forma grandiosa no desenvolvimento da Medicina e das Engenharias, mas o que se torna preocupante é o distanciamento do ensino de conceitos dessas disciplinas no Ensino Médio.

Como sabe-se o papel do professor nos dias atuais, passa a ser mediador e orientador, e não mais visto como detentor do conhecimento. Diante dessa mudança a mídia escrita e falada, hoje no alcance de todos, acaba trazendo maiores informações com relação ao mundo tecnológico e avanço científico do que a própria escola. Realidade essa para a maioria das Escolas do Brasil e do mundo.

Por vezes os alunos ao se depararem com o avanço científico por meio das mídias, acabam por trazer tais questionamentos para a sala de aula com relação aos fenômenos físicos e químicos envolvidos nesse avanço e, diante disso, percebe que o que é ensinado nas disciplinas de Física e Química, infelizmente, não condiz com o que eles aprendem, observam e se informam por meio das mídias mais atuais com relação ao mundo e sociedade atual.

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).

Por causa dessa descontextualização, currículo e prática pedagógica defasada, acabam por contribuir na não compreensão pelo aluno com relação ao mundo ao seu redor e a importância da Física e da Química na sociedade. E por tal motivo o aluno questiona o porquê de se estudar tais disciplinas, onde só se tem cálculos e fórmulas. Devido a “matematização” da Física e da Química, abordagem esta, adotada por muitos profissionais, acaba excluindo o papel histórico, cultural e social da Física e da Química, causando dessa forma um distanciamento do aluno junto as disciplinas supracitadas.

Em virtude desse distanciamento, alunos de Ensino Médio acabam por ter uma visão da Física e da Química somente nesse período da Educação Básica, pois após concluírem esse segmento do ensino, acabam por se dedicar em outras áreas que não são áreas científicas se distanciando ainda mais das disciplinas de Física e Química. Nota-se que a matematização e a não contextualização das disciplinas supracitadas, acaba por contribuir de forma negativa para o ensino e formação na área das ciências.

Diante desse cenário há a necessidade de propostas que tragam o ensino de Física e mesmo o ensino da Química mais atual, eficaz e contextualizado junto com os avanços tecnológicos e a prática atual. Dessa forma a introdução de conceitos de Física Moderna na grade curricular, no Ensino Médio, se faz necessária por meio de uma abordagem histórico-cultural e inclusive conceitual.

Tal proposta deve ser, de acordo com Ostermann e Moreira [4, p. 391], apoiados numa revisão de literatura sobre a atualização do currículo de Física do Ensino Médio. Os mesmos ainda destacam algumas razões:

- Despertar a curiosidade dos alunos e ajudá-los a reconhecer a física como um empreendimento humano;
- Os estudantes ouvem falar em temas como buracos negros e big bang na televisão ou em filmes de ficção científica, mas nunca nas aulas de física.
- O ensino de temas atuais da física pode contribuir para transmitir aos alunos uma visão

mais correta dessa ciência e da natureza do trabalho científico, superando a visão linear do desenvolvimento científico, hoje presente nos livros didáticos e nas aulas de física.

(OSTERMANN E MOREIRA. 2000).

Cita-se ainda, a ligação de conceitos dentro da Química com a Física, inclusive conceitos que remetem especificamente a Mecânica Quântica, conceitos esses, necessários para se entender com uma maior profundidade conceitos e fenômenos químicos, que são estudados no Ensino Médio, os quais, por vezes, são negligenciados por professores que ministram as aulas de Química, pela falta de conhecimento dentro da Física Moderna. O que também acaba por contribuir de forma negativa na formação da cidadania do aluno.

É perceptível, em especial, no ensino público, que não basta apenas reformular o currículo escolar, mas sim dar suporte necessário aos professores que hoje estão a frente do processo ensino-aprendizagem.

A formação inicial dos alunos de licenciatura nas disciplinas de Física e Química, tem que ter uma formação adequada para essas mudanças curriculares. Já com relação aos profissionais que são graduados e atuam como professores, os mesmos necessitam de uma formação continuada que venha dar a preparação adequada. Vale ressaltar que os professores precisam ser os atores principais para que as mudanças curriculares aconteçam, dessa forma há a necessidade adequada e de um bom material didático que venha contribuir para tal mudança.

[...] É viável ensinar FMC no EM, tanto do ponto de vista do ensino de atitudes quanto de conceitos. É um engano dizer que os alunos não têm capacidade para aprender tópicos atuais. A questão é como abordar tais tópicos [...] Se houve dificuldades de aprendizagem não foram muito diferentes das usualmente enfrentadas com conteúdos da física clássica [...] Os alunos podem aprende-la se os professores estiverem adequadamente preparados e se bons materiais didáticos estiverem disponíveis.

(OSTERMANN E MOREIRA. 2000).

É visível a necessidade de atualização curricular, porém, se

faz necessário, a busca de propostas que tratem assuntos da Física Moderna (FM) não apenas como tópicos isolados de maneira informal, como apenas uma curiosidade, mas que seja inserida como componente curricular e faça parte do planejamento anual.

Vários são os tópicos dentro da FM que podem ser trabalhos e inseridos no currículo escolar, inclusive, tópicos que podem ser trabalhados em Física e Química juntamente e de maneira interdisciplinar. Dessa forma demonstrando a importância da FM nos conceitos de Química e nos processos de transformações químicas.

Ostermann e Moreira (2000) em sua pesquisa elaboraram uma lista consensual sobre alguns tópicos da FM, que deveriam fazer parte do currículo escolar do EM da Educação Básica.

Efeito fotoelétrico, átomo de Bohr, leis de conservação, radioatividade, forças fundamentais, dualidade onda-partícula, fissão e fusão nuclear, origem do universo, raios-X, metais e isolantes, semicondutores, laser, supercondutores, partículas elementares, relatividade restrita, big bang, estrutura molecular e fibras ópticas.

(OSTERMANN E MOREIRA. 2000).

Ao analisar tal lista, observa-se que alguns dos tópicos citados pelos autores, são trabalhados em Química, porém, como já citado anteriormente, de forma superficial e sem dar a devida importância a FM. Um tópico a ressaltar é o átomo de Bohr, o qual é visto na Química em atômica, porém, tal tópico, na maioria das vezes, é apenas feito a leitura por parte dos alunos e passado adiante sem dar a devida ênfase ao modelo atômico de Bohr como deveria.

Nesses casos observa-se o despreparo do professor com relação a determinados conceitos da FM; vale ressaltar que referente ao despreparo, o mesmo se dá pela falta de formação continuada ou até mesmo na sua graduação. Porém, a falta da ênfase em conceitos de FM, não é totalmente culpa do profissional da educação, mas também pela falta de um material que traga a abordagem necessária para que o professor, juntamente com os alunos, possa trabalhar esses conceitos em suas aulas.

Com relação ao ensino de física nesse nível de ensino, indicam que a escolha dos temas a serem abordados deve ser feita de modo que o

conhecimento de física deixe de se estruturar como um objeto em si mesmo, passando a ser entendido como um instrumento para a compreensão do mundo.

(OLIVEIRA, VIANNA, GERBASSI. 2007).

Como já citado anteriormente, tais conceitos devem ser trabalhados de forma que os alunos possam ter um entendimento da Física e da Química como instrumentos para compreensão do mundo, e não apenas disciplinas que possuem várias equações e muita matemática.

Os conceitos físicos e mesmo químicos, devem ser contextualizados de forma que venham a interagir, inclusive com outras áreas e disciplinas, assim ganhando sentido quando aplicado ao dia-a-dia dos alunos na sociedade e no mundo tecnológico no qual se esta inserido. Dessa forma, professores e alunos terão a visão de que conceitos de física são fundamentais para a formação científica do cidadão no mundo tecnológico atual.

Sendo que os conceitos de FM, na sociedade atual, são indispensáveis para uma compreensão e entendimento mais abrangente das novas tecnologias e conhecimento científico no mundo atual.

Se faz necessário a construção de habilidades e competências no ensino de Física e de Química, de maneira que dê significado aos conhecimentos adquiridos pelos alunos e assim proporcionando uma formação científica mais critica, e conseqüentemente, proporcionando uma formação adequada de cidadania a esses alunos.

Uso das Mídias e Tecnologias no Processo Ensino-Aprendizagem.

A cada dia percebemos a nossa sociedade mais dependente da tecnologia, seja no campo do conhecimento das ciências exatas, das humanas ou até mesmo para o lazer. Pois toda essa tecnologia que nos rodeia acaba por facilitar a vida das pessoas e de toda a sociedade, seja no trabalho, ou como supracitado, para o lazer.

Graças ao advento da internet e da computação, temos as melhores tecnologias e mídias disponíveis para a sociedade mundial. O mundo se comunica através dessas duas mídias de uma maneira quase instantânea. Como podemos perceber, até mesmo no mercado financeiro mundial, onde qualquer evento em um determinado país que traga um

abalo financeiro, atinge quase que instantaneamente, outros lugares no mundo. Dessa forma, a sociedade atual é completamente dependente e influenciada pela tecnologia.

Como a escola é parte integrante da sociedade, de acordo com SILVA¹ (2013), é por meio dela que a tecnologia pode ser diferenciada em seus aspectos reflexivos. Sendo que é através da Escola que muitos alunos podem ter seu primeiro contato com a tecnologia e todos os seus recursos. Porém, o que se observa é que a escola como instituição, é uma das que mais impõe barreiras para o uso das tecnologias e mídias em sala de aula. Essa resistência se dá em partes por professores e principalmente pela infraestrutura da Escola.

Ao analisar tal resistência, parte da problemática que se refere a resistência pelos profissionais da educação, se dá devido a falta de conhecimento em conseguir aplicar os recursos tecnológicos nas aulas. Uma vez que, o modelo de ensino que ainda temos nos dias de hoje, é muito focado na forma como o professor deve desenvolver sua prática pedagógica. Tem-se ainda a problemática de muitas escolas terem um plano curricular fechado e estático, impossibilitando muitas vezes, que professores possam inovar suas aulas ou até mesmo trabalhar com uma abordagem diferenciada.

Se faz necessário que as escolas reflitam sobre seus objetivos diante da sociedade atual e diante de toda a tecnologia e do conhecimento científico em que o mundo se encontra inserido, para que assim possa oferecer aos alunos uma educação que garanta uma aprendizagem significativa, com respaldo da tecnologia e das mídias.

Para que haja essa integração das mídias e da tecnologia na educação, se faz necessária uma nova postura da escola e não apenas da escola como infraestrutura, mas dos professores, administração e mesmo coordenadores da Instituição de Ensino.

Como cita SILVA:

A presença das tecnologias na Educação requer dos professores, coordenadores e gestão uma nova postura, uma abertura a integração das mídias no contexto educacional, pois ela entra na escola como instrumento de auxílio à prática do professor, para melhorar ainda

¹ Luciene Amaral da SILVA, Graduada em Pedagogia e Especialista em Tecnologia. Professora da Rede Pública Estadual de Alagoas. E-mail: cieneamaral@hotmail.com.

mais o trabalho junto aos alunos. (SILVA. 2013).

A inclusão das mídias na educação é uma forma de auxiliar o professor diante da era tecnológica em que nossa sociedade se encontra inserida. Pois hoje, não há mais possibilidade de o professor trabalhar apenas com quadro negro, giz e antiga Balsa (enciclopédia que várias bibliotecas tinham como sendo o material mais atualizado em termos de informação).

De acordo com IENNACO (2009):

Nesse contexto, a questão do uso desses recursos, particularmente na educação, ocupa posição central e, por isso, é importante refletir sobre as mudanças educacionais provocadas por essas tecnologias, propondo novas práticas docentes e buscando proporcionar experiências de aprendizagem significativas para os alunos. (IENNACO, 2009).

É de responsabilidade da escola como instituição, democratizar e dar condições para que os alunos tenham acesso as tecnologias de comunicação às mídias, incentivando e principalmente preparando as novas gerações para apropriação crítica e ativa das tecnologias e mídias inseridas em nossa sociedade.

A tecnologia já está inserida na escola, mesmo havendo certa resistência. Não há mais como separar e nem pensar na separação da tecnologia com a sala de aula. Cabe ao professor aprender a introduzir as tecnologias e mídias de forma pedagógica em suas aulas, auxiliando o aluno e ao mesmo tempo incentivando-o a utilizá-la para os seus estudos.

A escola precisa acompanhar o ritmo da sociedade em que o aluno se encontra inserido. E por esse motivo, a prática pedagógica do professor deve ser dinâmica, o currículo flexível e também dinâmico, só assim novas práticas poderão ser vivenciadas por meio do uso das tecnologias e mídias na sala de aula.

Na sociedade atual, quando um aluno tem dificuldade ou dúvidas com relação a um determinado assunto, na maioria dos casos, o aluno faz uma pesquisa na internet, utilizando sites de buscas como o *Google*. Isso, porém, não ocorre apenas com os alunos, mas com toda a sociedade moderna, inclusive com vários professores, que quando se deparam com dúvidas também se utilizam de site de pesquisas, artigos

científicos publicados na internet e até mesmo matérias publicadas na web.

Naturalmente, que por meio dessa facilidade da utilização de um celular, muitos alunos acabam por utilizar-se dos mesmos para acesso a redes sociais em plena sala de aula, o que acaba trazendo um certo problema para as Escolas.

Todavia, se o professor der significado ao uso dessa tecnologia em sua prática pedagógica, a mesma ao invés de ser um entrave ou um motivo de atrapalho, acaba por auxiliar o professor em suas aulas. Não basta, contudo, o professor usar a tecnologia de forma mecânica, mas deve saber para que deve usar, como usar e qual o impacto que a utilização dessa tecnologia terá no processo ensino-aprendizagem.

O objetivo da inclusão das mídias e da tecnologia na prática pedagógica é inovar a mesma, e dessa forma, garantir a expansão das aulas em momentos virtuais, podendo até mesmo unificar o ensino presencial com um ensino a distância, ampliando assim o conceito de aula em termos de espaço e tempo.

Para que isso aconteça o professor precisa reconhecer a necessidade de a tecnologia fazer parte da sua prática pedagógica; não adianta fazer o professor participar de oficinas, cursos que demonstre a inovação da educação por meio da inclusão de tecnologias e mídias, se o professor não sentir essa necessidade.

De acordo com SILVA (2013):

O professor precisa adquirir conhecimentos técnicos e científicos sobre como desenvolver uma prática pedagógica inovadora e que contemple o desenvolvimento de competências úteis a formação completa do cidadão. Ele precisa conhecer melhor como o aluno utiliza a tecnologia em seu cotidiano e a partir daí buscar usá-la pedagogicamente na sala de aula. São as concepções que o professor tem sobre o que é ensinar que direcionam sua prática, como cabe a ele articular as mudanças sociais, bem como tecnológicas no espaço de sala de aula.

O professor precisa estar preparado para a inclusão das tecnologias e mídias em sua prática pedagógica. Inclusive, tem-se que citar que em muitos casos, o professor tem um certo “medo” em fazer essa inclusão. Medo, esse que vai sendo adquirido no decorrer da

formação do professor, inclusive, na formação acadêmica que, em muitas áreas da graduação, não aborda tópicos com relação a Tecnologia na Educação.

É necessário que o professor supere essa insegurança, para que assim possa incluir da melhor forma as mídias e tecnologias em sua prática pedagógica. Para isso, é necessário traçar estratégias que visem a formação desse profissional no intuito de superar esse ‘medo’ e essa insegurança, de uma forma que o profissional se sinta motivado enquanto aprende e assim, veja e perceba a motivação que poderá estar dando ao aluno com a inclusão da tecnologia e mídias em sua prática docente.

Outra estratégia que pode ajudar, na implementação das tecnologias e mídias na prática pedagógica dos professores, com certeza é a produção de materiais digitais, que estimulem o professor a se utilizar deles, ajudando dessa forma na inclusão das tecnologias em sua prática pedagógica. Materiais esses, que tragam uma abordagem que venha de encontro com o que o professor necessita.

Tem-se, hoje, vários materiais que podem ser usados pelos professores na sua prática docente, desde o uso de vídeos no *Youtube*, como sites de pesquisa de Universidades, apostilas digitais, simulações e mesmo e-books que podem ser encontrados na internet a partir de uma busca em sites como o *Google*. Sendo que muitos desses materiais são disponibilizados de forma gratuitas; e o professor pode se utilizar deles a partir de computadores, *tablets*, inclusive de um celular que possua a função condizente ao funcionamento do material.

A utilização de vídeos que hoje são disponibilizados em servidores como o *Youtube*, vem facilitar e ajudar o professor em sua prática pedagógica como uma forma de auxiliar e ajudar também o aluno a tirar uma dúvida ou conhecer melhor um conteúdo ou conceito que é abordado em sala de aula.

Muitos professores, em todo o mundo, vem adotando uma metodologia ativa de aprendizagem conhecida como sala de aula invertida. Essa metodologia, baseia-se na utilização de vídeo-aulas, em sua maioria produzidas pelos próprios professores, e disponibilizadas em sites como o *Youtube*. Dessa maneira, o aluno assiste essas vídeo-aulas em casa como tarefa e em sala de aula o professor se utiliza do tempo para esclarecimentos de dúvidas com relação a vídeo-aula e até mesmo para uma melhor abordagem quanto ao conceito.

Tal prática visa o aproveitamento do tempo em sala de aula para que o professor possa trabalhar inclusive com projetos com seus alunos e dar um melhor enfoque por meio de experiências, as quais

muitas vezes são deixadas de lado por causa do tempo das aulas serem curtos. Essa proposta metodológica demonstra que a inclusão das tecnologias e mídias na educação, trazem benefícios para a prática pedagógica do professor e também para a aprendizagem do aluno.

Assim sendo, com a inclusão das tecnologias nas salas de aulas, o aluno se sentirá mais motivado por ver que a escola se aproveita da evolução tecnológica, e mesmo midiática, para o repasse e mediação do conhecimento, dando um suporte para o seu progresso como aluno cidadão da sociedade atual.

Capítulo 3

Análise da pesquisa realizada por meio de questionário com alunos e professores

A presente análise refere-se a pesquisa realizada por meio de questionário investigativo com alunos e professores do Ensino Médio da região de Curitiba-SC, tendo como objetivo entender a problemática do ensino de Física Moderna no Ensino Médio das escolas públicas da referida região.

A pesquisa que foi realizada junto a esse universo de profissionais da educação e alunos trata-se de uma pesquisa quantitativa-qualitativa. Sabe-se que a pesquisa quantitativa se centra na objetividade. Influenciada pelo positivismo, considera que a realidade só pode ser compreendida com base na análise de dados brutos, recolhidos com o auxílio de instrumentos padronizados e que também recorre a linguagem matemática para descrever as causas de um evento ou fenômeno.

A pesquisa qualitativa busca explicar o porquê de um evento ou fenômeno, exprimindo o que convém ser feito. De acordo com Deslauriers: o objetivo da amostra é produzir informações aprofundadas e ilustrativas: seja ela pequena ou grande, o que importa é que ela seja capaz de produzir novas informações (DESLAURIERS, 1991, p. 58). Dessa forma a pesquisa qualitativa preocupa-se, com aspectos da realidade que não podem ser quantificados.

Nesse sentido, a utilização conjunta da pesquisa qualitativa e quantitativa permite recolher informações e dados mais significativos com relação a um evento ou fenômeno.

3.1 Pesquisa com os alunos

A pesquisa com os alunos se deu por meio de questionário investigativo como já supracitado.

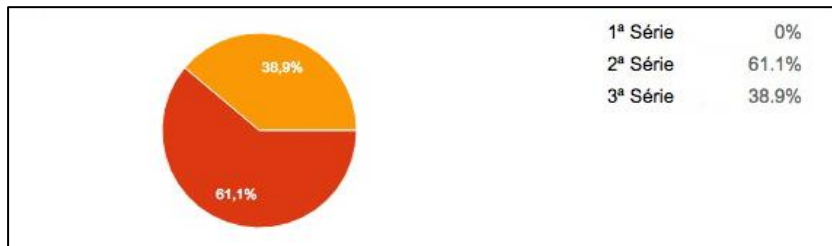


Figura 1 – Gráfico referente à primeira questão Questionário dos Alunos.

O primeiro gráfico que consiste a figura 1, diz respeito relação à série em que os alunos entrevistados frequentavam. Como pode-se observar, a maioria são alunos de 2ª série do Ensino Médio, esses sendo 61,1% dos entrevistados. Tendo como alunos da 3ª série apenas 38,9%. Não foi realizado a pesquisa com os alunos de 1ª série por ser o primeiro contato deles com a Física e a Química.

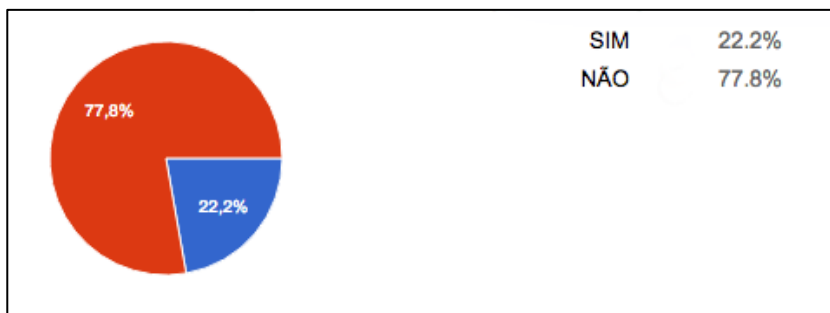


Figura 2 – Gráfico referente a segunda questão do Questionário dos alunos.

A figura acima, traz o gráfico referente ao item 2 do questionário aplicado aos alunos, onde a mesma perguntava se os alunos possuíam algum tipo de vínculo empregatício ou até mesmo se eram estagiários em empresas privadas ou departamentos públicos. Dos alunos entrevistados, apenas 22,2% tinham tal vínculo e 77,8% não possuíam nenhum vínculo empregatício.

Ao analisar tais respostas podemos notar que a grande maioria apenas estuda e não tem nenhuma outra atividade remuneratória ligada a empresas ou departamentos públicos.

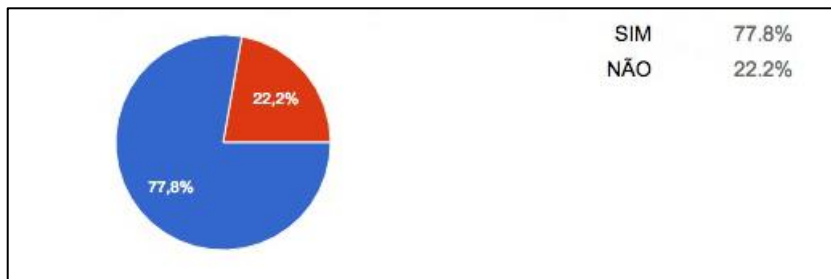


Figura 3 – Gráfico referente a terceira pergunta do Questionário dos alunos.

A figura 3 traz a análise dos entrevistados referente ao tempo de leitura, mostrando que 77,8% dos entrevistados dizem dedicar algum tempo à leitura, os outros 22,2% afirmam não dedicar tempo algum à leitura. Com esses dados, percebemos que tal questão vem ao encontro da segunda questão do questionário mostrando que os alunos que não dedicam tempo a leitura, provavelmente, são os mesmo que possuem algum vínculo empregatício.

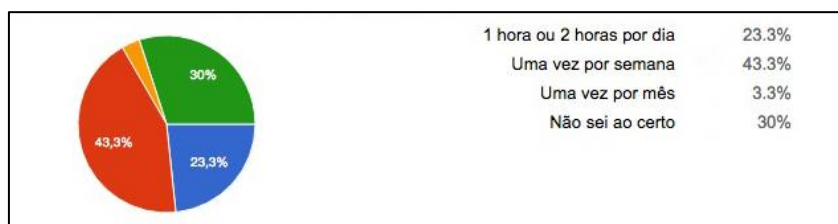


Figura 4 – Gráfico referente a questão complementar do Questionário dos alunos.

Na figura 4, temos o gráfico ainda com relação a terceira pergunta, mas nesse caso, uma questão complementar, que questiona os 77,8% dos alunos, sobre o tempo que os mesmos dedicam a prática da leitura. Ao analisar o gráfico, notamos que a maioria deles, 43,3%, leem apenas uma vez por semana. Aqui, percebemos que mesmo esses alunos tendo tempo apenas para os estudos, pouco desse tempo é dedicado à leitura.

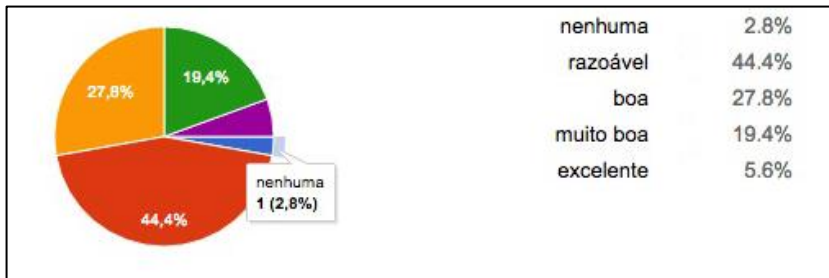


Figura 5 – Gráfico referente a questão quarta do Questionário dos alunos.

A figura 5 demonstra, por meio do gráfico, a experiência dos alunos no quesito informática. Os dados mostram que 44,4% se diz ter uma experiência razoável com a informática, apenas 2,8% não possui experiência com informática e os demais se dividem em boa, muito boa e excelente experiência.

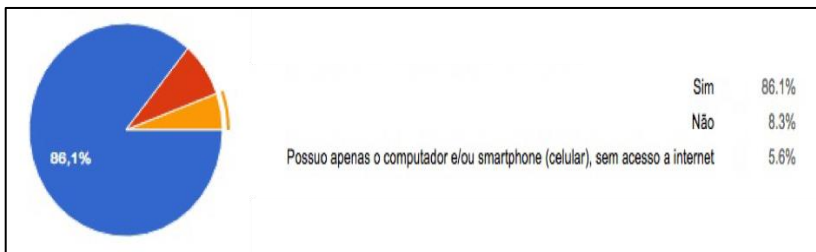


Figura 6 – Gráfico com relação a pergunta cinco do Questionário dos alunos.

O gráfico da figura 6 refere-se a quinta pergunta do questionário, interrogando os alunos se os mesmos possuem algum aparato tecnológico com acesso a internet, como computadores, *tablets* ou *smarthphones*. Dentro dessa amostra de entrevistados, 86,1% possuem aparelhos com acesso a internet, sendo que 5,6% possuem aparelhos, porém sem acesso a internet. O que notamos nessa questão, é que 91,7% possuem algum aparato tecnológico, mesmo sem acesso a internet, o que já demonstra uma certa familiaridade com as Tecnologias.

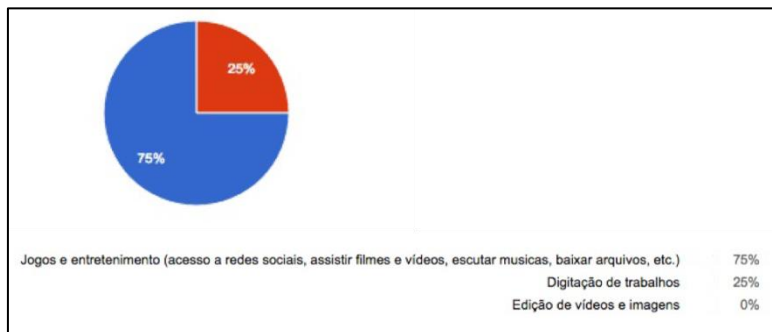


Figura 7 – Gráfico referente a sexta questão do Questionário dos Alunos.

Com certeza o gráfico acima nos faz pensar. A figura 7 nos traz o gráfico sobre a finalidade e uso da internet pelos alunos; e o que notamos é que a maioria, 75% dos entrevistados, utilizam a tecnologia para jogos e entretenimento.

A pergunta 7 do questionário questiona os entrevistados sobre o tempo de uso da internet. Os alunos deveriam enumerar em ordem decrescente (4 menor uso e 1 para maior uso) de atividades que eram listadas pela questão supracitada.

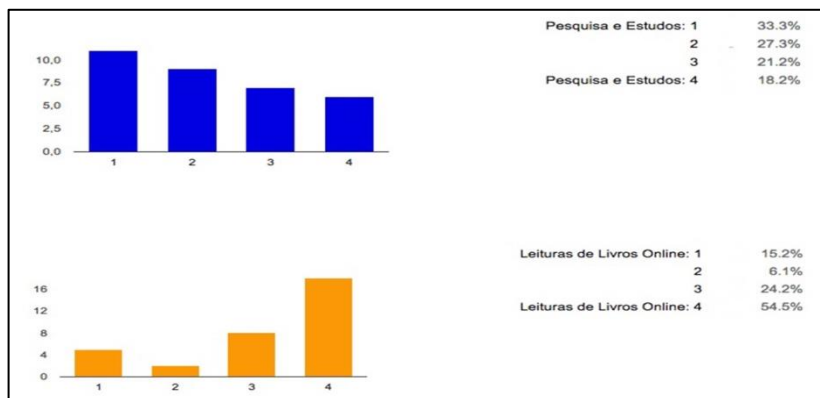


Figura 8 – Gráfico das atividades Pesquisa e Leituras de Livros online da sétima questão do Questionário dos Alunos.

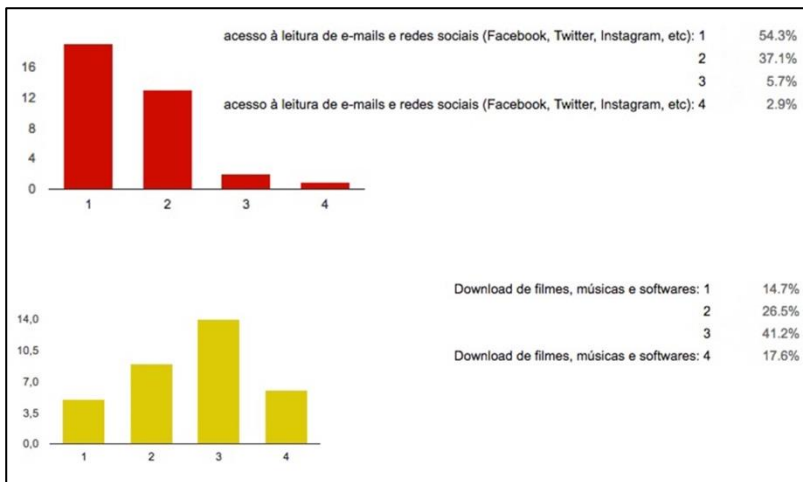


Figura 9 – Gráfico das atividades de acesso a e-mails e redes sociais e download de filmes, músicas e softwares.

As figuras 8 e 9 trazem os gráficos referentes às atividades da questão sete, essas atividades são as que os alunos despendem um maior tempo. Na figura 8 temos o gráfico das atividades Pesquisa e Estudos na cor azul e o gráfico da atividade Leitura de Livros online na cor laranja. Dos entrevistados, notamos que 33,3% tem um uso de maior importância nas pesquisas e Estudos. Sendo que a Leitura de Livros online ficou sendo o de menor uso, com uma amostragem de 54,5%.

O que se nota na figura 9, é que dos entrevistados 54,3% se utilizam do tempo na internet para acesso a leitura de e-mails e rede sociais, sendo essa classificada como o de maior uso.

O que podemos notar até o momento é que os alunos se utilizam da maior parte de seu tempo para fazer leituras de e-mail e acesso a redes sociais, mesmo eles se classificando com experiências na área de informática, de razoável à excelente.



Figura 10 – Gráfico da oitava questão do Questionário dos Alunos.

A figura 10, apresenta o gráfico com relação a questão de nº 8 do Questionário perguntando se a Escola em que os alunos frequentam possui infraestrutura em informática para os alunos e professores. De acordo com a pesquisa se comprova que 94,4% dos entrevistados responderam que sim; a Escola possui tal infraestrutura.

9. Do seu ponto de vista, você considera que a internet seja uma ferramenta educacional útil? Comente nas linhas abaixo.

SIM, POIS TEM TUDO QUE PRECISAMOS.

EM CERTOS CASOS SIM, MAS NÃO TOTALMENTE EDUCACIONAL

SIM, POIS FACILITA MAIS A PROCURA DE ALGUM TEMA

SIM, POIS COM A INTERNET TEMOS MAIS INFORMAÇÕES SOBRE AS COISAS

SIM, POIS VAI TENDO UM CONHECIMENTO AVANÇADO DESDE PEQUENO

sim, se usada para fins necessários é muito útil

Sim

Figura 11 – Respostas referente a questão 9 do Questionário dos alunos.

A questão nove apresenta, pela figura 11, a opinião dos alunos e ressalta o quesito de que a internet é uma ferramenta educacional útil, porém o que vemos em algumas respostas é discordância quanto ao seu uso.



Figura 12 – Gráfico referente a questão 10 do Questionário dos Alunos.

A figura 12 apresenta o gráfico referente ao item 10 do questionário, o qual indaga os alunos se os professores de Física e Química, em suas aulas, já apresentaram conceitos de Física Moderna. De acordo com os mesmos, 58,3% afirmam que não foram apresentados tais conceitos. Porém, dentro dos entrevistados 41,7% afirmam que já foram apresentados alguns conceitos como: “Velocidade da Luz, Teoria da Relatividade e Astronomia”, sendo estes os mais citados no Questionário.

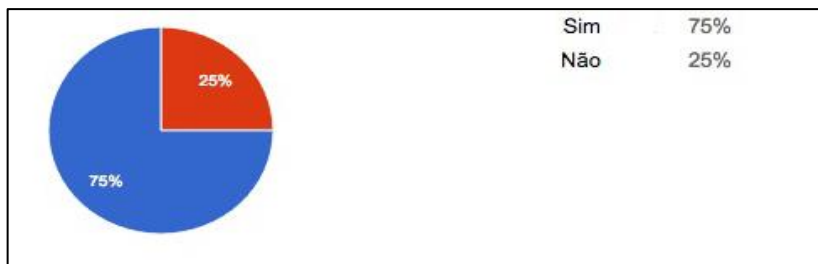


Figura 13 – Gráfico com relação a questão 11 do Questionário dos alunos.

A figura 13 apresenta o gráfico referente a questão 11, que pergunta aos entrevistados se os mesmos têm interesse em se manterem atualizados com as pesquisas na área científica. De acordo com a pesquisa, 75% dos entrevistados têm esse interesse quanto as atualizações dentro da área científica.

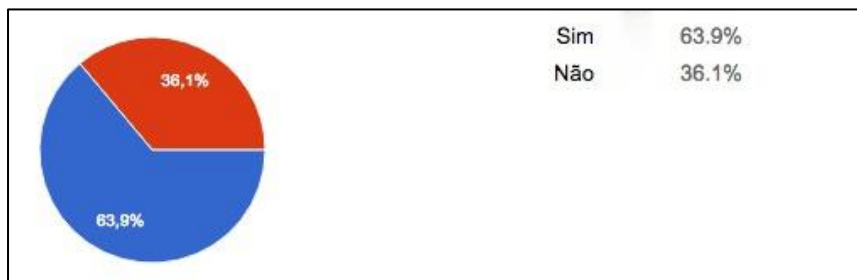


Figura 14 – Gráfico com relação a questão de número 12 do Questionário dos alunos.

A figura 14, apresenta o gráfico das respostas com relação ao questionamento sobre a participação dos alunos com projetos dentro da Física e/ou Química, apresentados em Feiras de Ciência e Matemática.

De acordo com as respostas, observa-se que 63,9% já fizeram apresentações dentro das disciplinas de Física e Química. Porém, na mesma questão, foi deixado um espaço onde os alunos deveriam descrever os projetos que apresentaram nas Feiras dentro das disciplinas supracitadas.

Algumas respostas estão representadas na figura 15, abaixo.

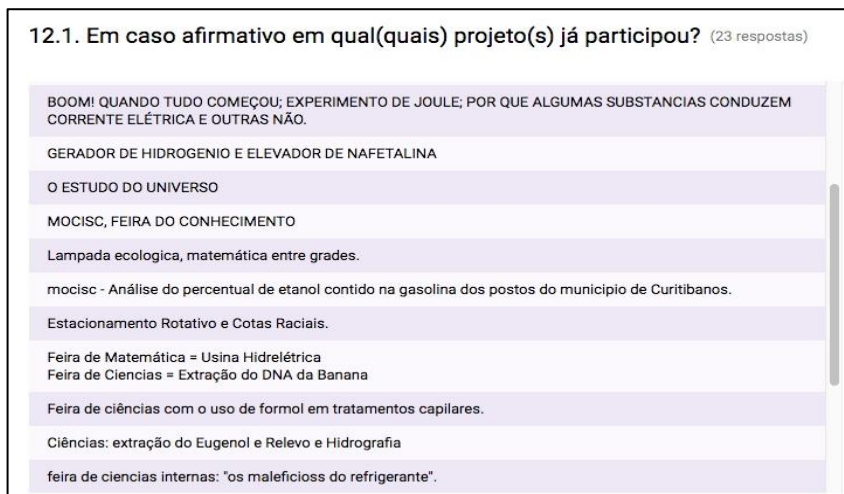


Figura 15 – Respostas referente a Questão 12 do Questionário dos alunos - projetos que já participaram em Feira de Ciências e Matemática nas disciplinas de Física e Química.

Nas respostas apresentadas na figura 15, o que se observa é que apesar de termos assuntos ligados as disciplinas e ao conhecimento científico, vemos também projetos que os alunos apresentaram dentro das disciplinas de Física e Química que não se encaixam em nenhum conhecimento científico ensinado dentro das disciplinas supracitadas. Nesse caso fica o questionamento: que tipo de projetos estão sendo apresentados nas feiras de conhecimento dentro de Física e Química pelas escolas da região? Se é que estão sendo apresentados!



Figura 16 – Gráfico referente a questão 13 do Questionário dos alunos.

A figura 16, demonstra o gráfico com relação ao questionamento feito aos entrevistados, se os mesmos apresentavam dificuldades na compreensão de conceitos e/ou conteúdos dentro das disciplinas de Física e Química. O que se observa com a coleta dos dados é que 72,2% dos entrevistados têm dificuldades na compreensão dos conceitos e conteúdos, sendo que apenas 27,8% não apresentam tais dificuldades.

Ainda dentro da questão 13, foi deixado espaço para os alunos exporem suas dificuldades dentro das disciplinas supracitadas, bem com suas expectativas com relação a elas. Ainda dentro da mesma questão foi ressaltada a importância dos conteúdos abordados no Ensino Médio, se os mesmos contribuem para o futuro exercício da cidadania plena. Tais dificuldades, expectativas e algumas opiniões estão representadas na figura 17, abaixo.

13.1 Em caso afirmativo, descreva suas dificuldades nas disciplinas de Física e Química, e suas expectativas com relação às mesmas. Você acredita que seus conteúdos, da forma com que são abordados no Ensino Médio, contribuam para o futuro exercício da cidadania plena?

(22 respostas)

Tenho dificuldades mais no compreender as formas de resolução de questões e exercícios.

Muitas vezes a dificuldade é na explicação.

Eles contribuem para o futuro exercício da cidadania plena, por que muitas coisas em Física são relacionadas a disciplina.

Nos calculos e nas nomenclaturas que eu possa aprender mais.

Apresento muita dificuldade em Física e matemática, mais em Química me considero razoável oque me deixa intrigada pois ambas as três matérias servem uma para complementar a outra. Acho que para eu conseguir aprender física o professor teria que ter muita paciência e não usar muito da teoria exemplo texto, explicações etc.. Pois isso embaraça minha cabeça e aumenta Ainda mais minha dificuldade

Dificuldade em matemática, contas, etc.

Pra mim as matérias que tenho mais dificuldade é Química e Física, pois sinto que tenho que me esforçar mais para isso.

Eu não entendo nada de Física na verdade, pra mim Física foi lei de Newton e parou ali, dai veio esses calculos não entendi mais nada.

Minha dificuldade e nos calculos no demais consigo entender.

Figura 17 – Respostas com relação a questão 13 do Questionário dos Alunos.

De acordo com o apresentado pela figura 17, observa-se que algumas das dificuldades mais citadas em todas as respostas dadas pelos alunos, estão nos cálculos que são realizados em sala de aula. Teve relatos de alunos que citaram que a linguagem empregada nas disciplinas de Física e Química é de nível de Faculdade (Ensino Superior), o que torna, de acordo com os mesmos, mais difícil de aprender.

O que se observa pelo relato dos alunos é que o ensino da Física e da Química, está muito ligado ao “fazer contas”, que do ponto de vista dos mesmos, acaba se tornando muito difícil. Porém sabemos que os cálculos são consequências de teorias e leis formuladas, apenas uma forma de comprovação. De acordo a descrição dos alunos na questão 13, observamos que o problema possa estar ligado a forma como o conceito físico ou químico é repassado ao aluno e não tanto ao cálculo propriamente dito.

3.2 Pesquisa com os professores

Da mesma forma que foi realizada a pesquisa com os alunos, foi realizada também a pesquisa com os professores por meio de questionário.

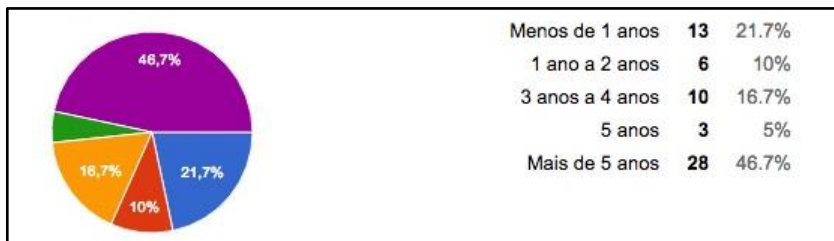


Figura 18 – Gráfico referente a pergunta 1 do questionário dos professores.

A figura 18 questiona os professores entrevistados quanto ao tempo que leciona ou lecionou nas disciplinas de Física e Química, observa-se que maioria dos entrevistados, 46,7%, trabalha com as disciplinas há mais de 5 anos.

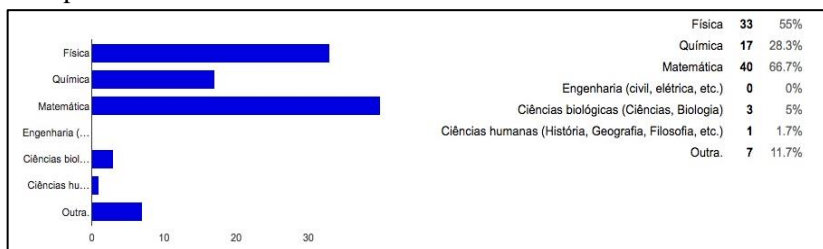


Figura 19 – Gráfico referente a pergunta 2 do Questionário dos professores.

Na figura 19, ao analisar a segunda pergunta do questionário dos professores, conhece-se a formação acadêmica de cada um dos entrevistados, mostrando que 66,7% dos professores entrevistados são formados em matemática. Podemos ressaltar ainda, que mesmo os formados em Física se apresentando em segundo lugar com 55%, e em terceiro lugar os formados em Química com 28,3%, boa parte desses professores têm uma formação acadêmica que abrange as três disciplinas.

Mas o que realmente surpreende é que tem profissionais

lecionando Física e Química que são formados em informática e até mesmo Administração, ou seja, profissionais que não têm uma formação adequada para atuarem como professores nessas duas disciplinas. O que se observa é que esses profissionais abrangem 11,7% dos entrevistados.



Figura 20 - Gráfico referente a pergunta 3 do Questionário dos professores.

A figura 20 demonstra que dos professores entrevistados 92,9% lecionam na rede pública, sendo ela Estadual e/ou Municipal.

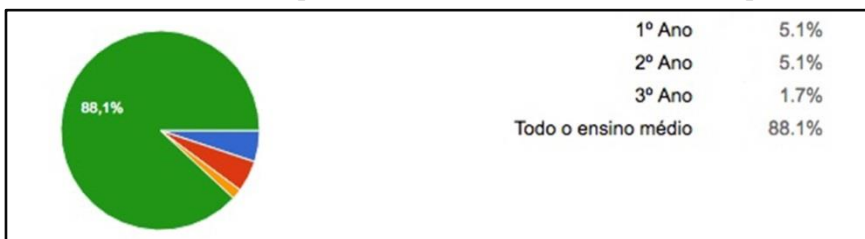


Figura 21 – Gráfico referente a pergunta 4 do Questionário dos professores.

A figura 21 demonstra as respostas com relação as turmas que os professores entrevistados lecionam, mostrando que 88,1% trabalham com todo o Ensino Médio; 5,1% trabalham só com o 1º ano e 2º ano e somente 1,7% trabalha com o 3º ano.

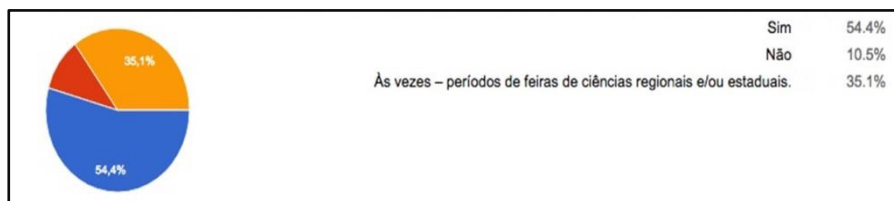


Figura 22 – Gráfico referente a pergunta 5 do Questionário dos professores.

A Figura 22 nos apresenta o gráfico referente ao questionamento, se os professores têm apoio da direção e da coordenação pedagógica para desenvolvimento de projetos, os dados mostram que 54,4% dos entrevistados têm esse apoio, 35,1% têm esse apoio em períodos de feiras de ciências sejam elas regionais ou estaduais e 10,5% afirmam não ter apoio da direção e coordenação pedagógica.

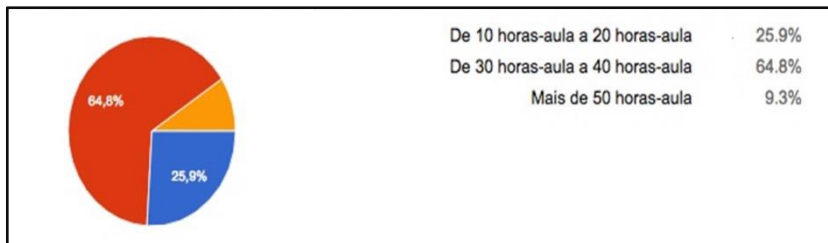


Figura 23 – Gráfico referente a questão 6 do Questionário dos professores.

A questão 6 da pesquisa dos professores, questiona os entrevistados quanto a carga horário de trabalho em sala. Por meio da figura 23 temos o gráfico que representa a maioria dos entrevistados, 64,8%, trabalham de 30 horas-aula até 40 horas-aula.

Observa-se, ainda, que 25,9% tem uma carga horária de 10 horas-aula até 20 horas-aula; sendo que dos entrevistados apenas 9,3% tem uma carga horária superior a 50 horas-aula.

O que se nota é que, com exceção dos 9,3% que tem uma carga horária de trabalho grande, a maioria tem uma carga de trabalho adequada, naturalmente consideramos que dentro de suas cargas horárias tem-se as horas atividades para preparação de aula e projetos de acordo com a lei vigente.

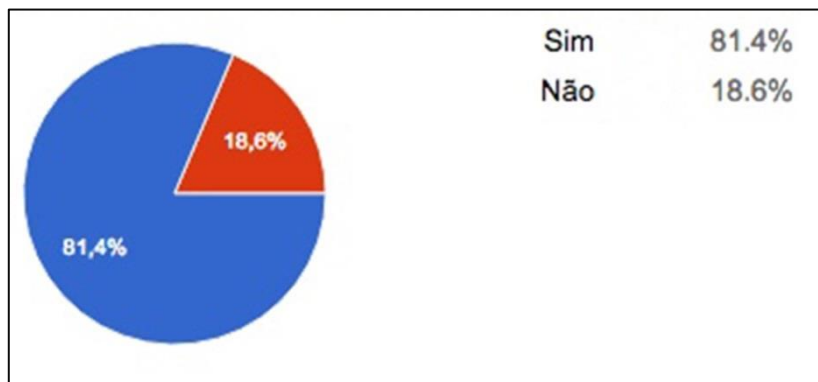


Figura 24 – Gráfico referente a questão 7 do Questionário dos professores.

A figura 24 demonstra que se levando em consideração a carga horária de trabalho dos entrevistados, os mesmos conseguem dedicar algum tempo a leitura. Observa-se que dos entrevistados 81,4%, consegue dedicar um tempo à leitura. Já 18,6% dos entrevistados não conseguem dedicar esse tempo, provavelmente pela sua carga horária de trabalho.

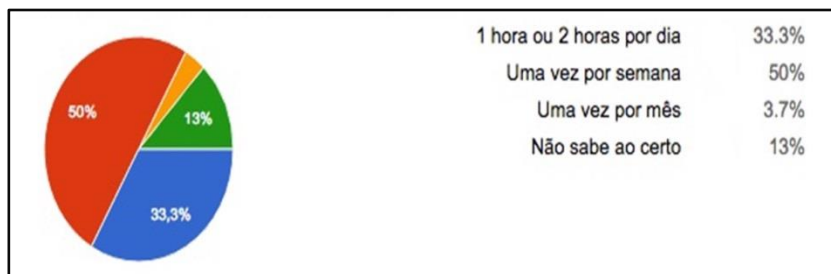


Figura 25 – Gráfico referente a questão 7 do Questionário dos professores – questão complementar.

Ainda com relação a problemática abordada na questão 7, a figura 25 nos mostra que dentro do tempo que os entrevistados dispõem para a leitura, 50% deles dedicam o tempo de apenas uma vez por semana. Os outros 50% dos entrevistados se dividem da seguinte forma: 33,3% de 1 hora até 2 horas por dia, 13% não sabem ao certo o tempo que dedicam à leitura e 3,7% apenas uma vez ao mês.

Ao observar tal situação, percebemos que a leitura para os professores está se tornando uma atividade fora do cotidiano. Por outro lado, sabemos que como professores temos de nos manter atualizados e praticarmos uma boa leitura. Possivelmente, como já supracitado a carga horária de trabalho seja o ponto que justifique essa problemática.



Figura 26 – Gráfico referente a questão 8 do Questionário dos professores.

A figura 26 apresenta as respostas dadas a questão que aborda se os entrevistados, como professores das disciplinas de Física e Química se mantêm atualizados quanto a pesquisas na área científica, através da leitura de artigos científicos e até mesmo sobre matérias publicadas em revistas de divulgação. Observamos que dos entrevistados a maioria tem se mantido atualizados, abrangendo 63,8%, mas 36,2% não estão atualizados em relação às pesquisas científicas.

Ao constatar isso, podemos concluir que ainda temos professores que não abordam o avanço tecnológico do mundo de hoje em suas aulas. Sendo que são mais de 1/3 dos entrevistados, e como sabemos muito dos avanços tecnológicos se deu devido a essas duas áreas da ciência.



Figura 27 – Gráfico referente a questão 9 do Questionário dos professores.

A questão número 9 (nove) do questionário dirigido aos professores, inquiria os entrevistados quanto a sua experiência em informática. A figura 27, nos apresenta o gráfico dessas respostas. Observamos que 43,3%, a maioria dos entrevistados, diz ter uma boa experiência em informática, sendo que 33,3% diz ter uma experiência razoável, 18,3% têm uma experiência muito boa e apenas 5% diz ter uma excelente experiência em informática. Ao analisar tais dados, vemos que os professores entrevistados, têm uma experiência de razoável a excelente em informática, assim sendo, nenhum deles é leigo quando se fala em informática.

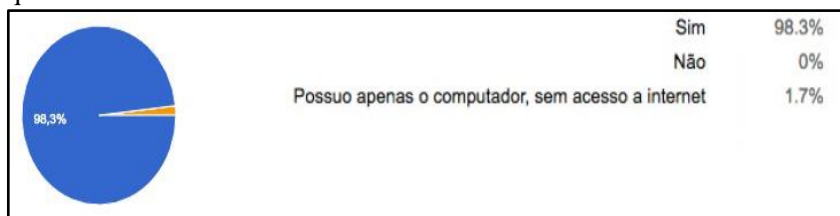


Figura 28 – Gráfico referente a questão 10 do Questionário dos professores.

A questão número 10 perguntava aos entrevistados se possuíam algum aparato tecnológico (computador, *tablete*, *smarthphone*) com acesso a internet. A figura 28 mostra que 98,3% têm algum aparelho que possui acesso a internet. Dessa forma, percebemos que os professores não são leigos em informática, pelo contrário, têm um bom conhecimento e experiência nessa área.

As próximas questões foram planejadas, para saber em quais atividades os professores utilizam tais tecnologias e seus conhecimentos dentro dessa área.

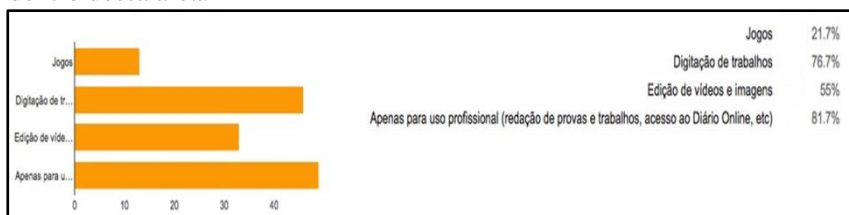


Figura 29 – Gráfico referente a questão 11 do Questionário dos professores.

A figura 29, demonstra por meio do gráfico o resultado quanto ao questionamento aos entrevistados, sobre a finalidade do computador

para o mesmo. Percebemos que a maioria, 81,7%, marcou como principal finalidade do uso do computador apenas para uso profissional. Percebemos assim, que os entrevistados não marcaram apenas uma alternativa, mas duas ou mais das alternativas apresentadas, naturalmente um erro que foi cometido no momento que foi proposto o questionário.

Observamos ainda, que em segundo lugar temos que a finalidade do uso do computador é para digitação de trabalhos. Ao analisar as respostas, vemos que os professores se utilizam de tal mídia para desempenhar seus trabalhos profissionais, como redação de provas, e acesso ao diário online, seguido da digitação de trabalhos. Outra constatação relevante, é que parte dos professores ainda estão estudando ou se especializando na área.

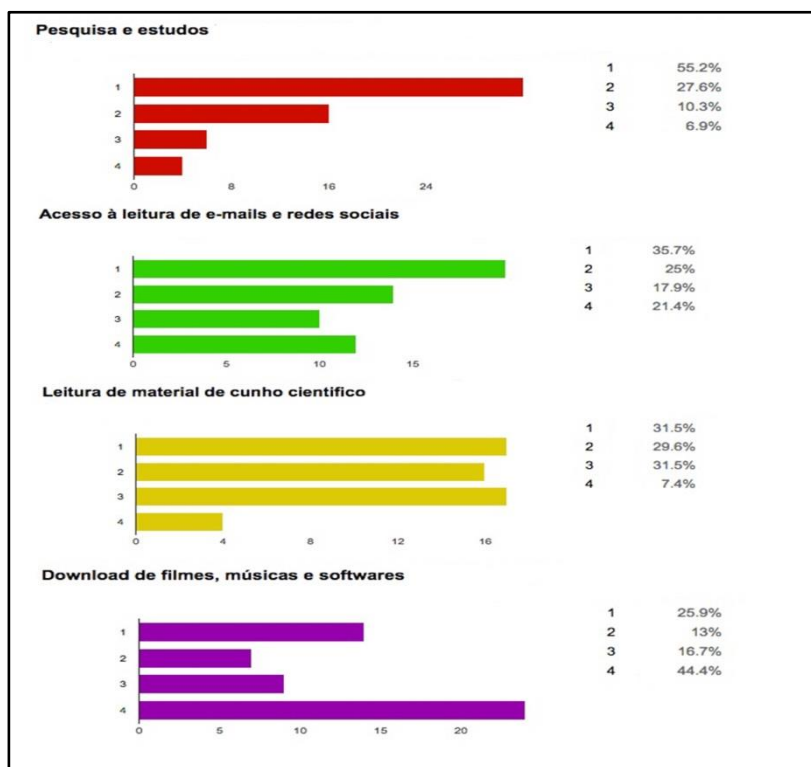


Figura 30 – Gráficos referente a questão 12 do Questionário dos professores.

A figura 30 representa os gráficos referente a pergunta 12, que questiona os professores, quanto ao tempo de uso da internet. Os entrevistados deveriam enumerar em ordem decrescente as atividades listadas na questão. Essas atividades eram: Pesquisa e Estudos, acesso a leitura de e-mails e a rede sociais, leitura de material de cunho científico e downloads de filmes, músicas e softwares.

Ao analisar as respostas obtidas, observamos que a maioria dos entrevistados, 55,2%, destinam um maior tempo de uso da internet para pesquisas e estudos, seguido do acesso a leitura de e-mails e a rede sociais com 35,7%. Tendo o acesso à leitura de material de cunho científico em terceiro lugar com 31,5% e por fim 25,9% dos entrevistados dão prioridade ao download de filmes, músicas e softwares.

Observamos novamente que a maioria dos professores estão em formação e/ou se especializando, pois, os mesmos dão preferência a pesquisa e estudos.

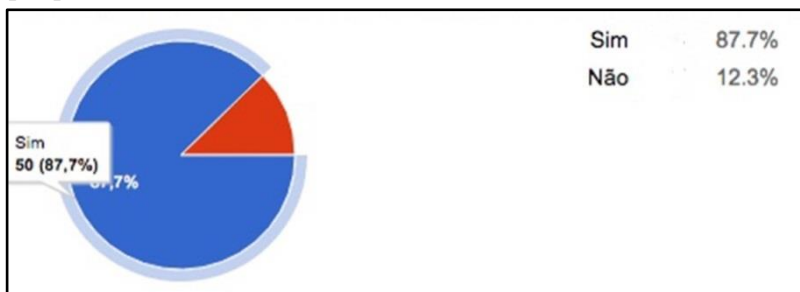


Figura 31 – Gráfico referente a questão 13 do Questionário dos professores.

A figura 31 apresenta o resultado das resposta da questão 13, a qual perguntava aos entrevistados se a(s) escola(s) onde os mesmos trabalhavam possuía infraestrutura em informática disponível aos professores e alunos. Observamos que 87,7% dos entrevistados responderam que suas escolas possuíam a infraestrutura em informática e que a mesma era disponibilizada aos professores e alunos.

14. Do seu ponto de vista, você considera a internet uma ferramenta útil no processo ensino-aprendizagem? Comente nas linhas abaixo.

sem dúvida e atualmente essencial. as ferramentas de busca e fontes de informação, além de ferramentas interativas desde vídeos até softwares da área são formas diferenciadas de se trabalhar e até suprir, de certa maneira, a falta de outros recursos, como laboratórios e tempo de trabalho.

Sim, nos dias atuais todos os profissionais devem ter acesso a fontes midiáticas, pois os alunos estão ligados e focados o tempo todo!

Muito importante pois facilita imensamente o acesso ao conhecimento.

Sim, a parte dos simuladores e recursos gráficos é a mais relevante.

Sim, é mais uma fonte de pesquisa, rica em imagens e vídeos instrutivos:.

Sim. Da oportunidade ao aluno e professor estudar e ler mais sobre temas trabalhados ou que serão trabalhados.

Figura 32 – Respostas referente a questão 14 do Questionário dos professores.

A figura 32 apresenta algumas das respostas descritivas dos professores entrevistados, quando questionados se consideravam a internet como uma ferramenta útil no processo ensino-aprendizagem. Ao analisar as respostas, observamos que 100% dos entrevistados considera a internet como uma ferramenta útil no processo ensino-aprendizagem, destacando-a em várias respostas como uma rica fonte de pesquisa e a facilidade ao acesso a informação.



Figura 33 – Gráfico referente a questão 15 do Questionário dos professores.

A figura 33 nos apresenta o gráfico com relação ao questionamento feito aos professores entrevistados, quanto a abordagem de conceitos de Física Moderna nas aulas que os mesmos lecionam. Ao analisar as respostas, observamos que 71,4% dos entrevistados afirmaram que já introduziram conceitos de Física Moderna em suas aulas, sendo que apenas 28,6% disseram que não haviam abordado tais conceitos.

16. Quais são dificuldades que você, como professor, encontra em trabalhar conceitos e fenômenos ligados à Física Moderna? (cite, por exemplo, fatores tais como carga horária reduzida da disciplina, falta de interesse por parte dos alunos, formação acadêmica insuficiente, etc.).
(43 respostas)

A carga horária das disciplinas de Física e Química no Ensino Médio deveriam ser maiores, pois assim os temas seriam mais explorados. Outra coisa é com relação aos espaços destinados aos laboratórios para aulas práticas dessas disciplinas, o que na maioria das vezes é insuficiente ou não existe.

Consigo somente fazer uma introdução sobre o assunto muito pro cima, pois se damos sequencia do livro didático é o ultimo assunto a ser ministrado. A carga horaria é muito curta para tantos assuntos serem abordados. Observando muito vestibulares, a prova do Enem quase não se vê questões de Física Moderna, ainda não é explicada e exposta como deveria.

Falta de interesse dos alunos e formação academica insuficiente.

formacao academica insuficiente

carga horária reduzida é, na minha visão, o maior desafio no ensino das ciencias exatas de forma geral. é complicado trabalhar a pesquisa e a construção de conceitos a partir de experimentação em tão curto tempo em sala de aula. 40 minutos em média, para estruturar, colocar em prática e obter resultados, é muito pouco tempo.

Teoria e prática equidistantes. Pois passamos maior parte do tempo passando teoria e conceitos, e na hora da prática laboratorial, falta-nos tempo, materiais e acessibilidade aos laboratórios.

Falta de interesse por parte dos alunos e formação acadêmica.

Figura 34 – Respostas referente a questão 16 do Questionário dos professores.

A figura 34 nos apresenta algumas das respostas dos professores entrevistados quanto às dificuldades que os mesmos encontram em trabalhar conceitos e fenômenos ligados a Física Moderna. Percebemos que a maioria dos entrevistados relata a formação acadêmica como ponto principal na dificuldade de trabalhar conceitos da Física Moderna.

Ao analisar as informações dos entrevistados na segunda questão do questionário, vemos que a maioria não é professor formado em Física ou Química, mas sim em outras áreas, o que acaba refletindo

na dificuldade de trabalhar conteúdos e conceitos ligados a Física Moderna.

Outra constatação é o problema com a carga horária de trabalho que, de acordo com os entrevistados, é reduzida e não conseguem trabalhar os conceitos de Física Moderna, citando em vários pontos a seguinte dificuldade: (...) *“que os mesmos tendo que trabalhar todo o livro didático não dá tempo de trabalhar os conceitos de Física Moderna(...)”*.

A partir de respostas obtidas, percebemos que os professores ainda estão muito preocupados em trabalhar o “livro didático” e esquecem que o livro é apenas uma ferramenta para dar suporte às aulas, a dificuldade em intercalar assuntos da Física Clássica e da Química com a Física Moderna é visível nos profissionais entrevistados.

Novamente, vale ressaltar, que tal dificuldade possivelmente seja consequência da sua formação acadêmica que em sua maioria não são da área da Física, o que acaba agravando tal situação.

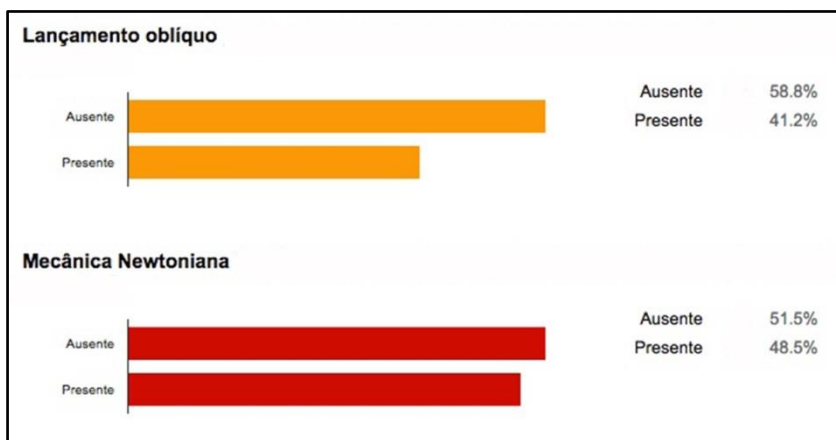


Figura 35 – Gráfico dos conceitos de Lançamento Oblíquo e Mecânica Newtoniana da questão 17 referente ao Questionário dos professores.

Na questão 17 são apresentados aos professores entrevistados, conteúdos e conceitos da Física e da Química, aonde os mesmos deviam responder se dentro desses conteúdos e conceitos a Física Moderna (FM) se faz presente.

Na figura 35, observamos que dentro dos conceitos de Lançamento Oblíquo e Mecânica Newtoniana a maioria respondeu que a Física Moderna (FM) não se faz presente.

No Lançamento Obliquo, 58,8% responderam que a FM não está presente, contra 41,2%. Já no item Mecânica Newtoniana, 51,5% responderam que a FM não está presente e 48,5%, responderam que a FM está presente na Mecânica Newtoniana.

Percebemos que nestes dois primeiros itens, quase a metade dos professores entrevistados ainda não conhece a FM para fazer tal distinção, o que acaba reforçando o que os próprios professores relataram na questão 16; a formação acadêmica é insuficiente.



Figura 36 – Gráfico dos conceitos de Polarização da Luz e Lei de Coulomb da questão 17 referente ao Questionário dos professores.

Na figura 36 são apresentados os tópicos Polarização da luz e Lei de Coulomb; como podemos observar 73% dos entrevistados afirmam que a FM se faz presente no conceito Polarização da Luz, contra 27% que afirmam que a FM está ausente nesse conceito. Já no conceito da Lei de Coulomb, observamos que 54,5% afirmam que a FM se faz presente, contra 45,5%.

Sabemos que a polarização da luz é um alicerce fundamental para sustentar o mais fundamental dentre todos os princípios da Mecânica Quântica: A superposição de estados, porém a polarização da luz foi proposta por Newton na Física Clássica.

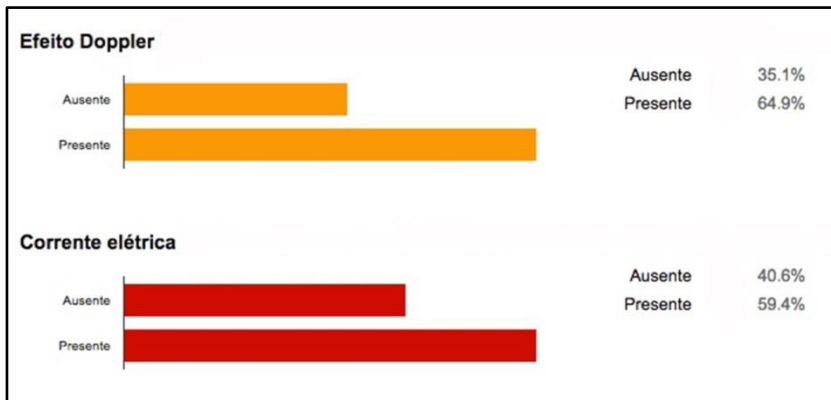


Figura 37 – Gráfico dos conceitos Efeito Doppler e Corrente Elétrica da questão 17 referente ao Questionário dos professores.

Na figura 37 temos os conceitos de Efeito Doppler e Corrente Elétrica, onde 64,9% afirmam que no Efeito Doppler a FM se faz presente, contra 35,1%. No conceito de Corrente Elétrica, 59,4%, afirmam a presença da FM contra 40,6%.

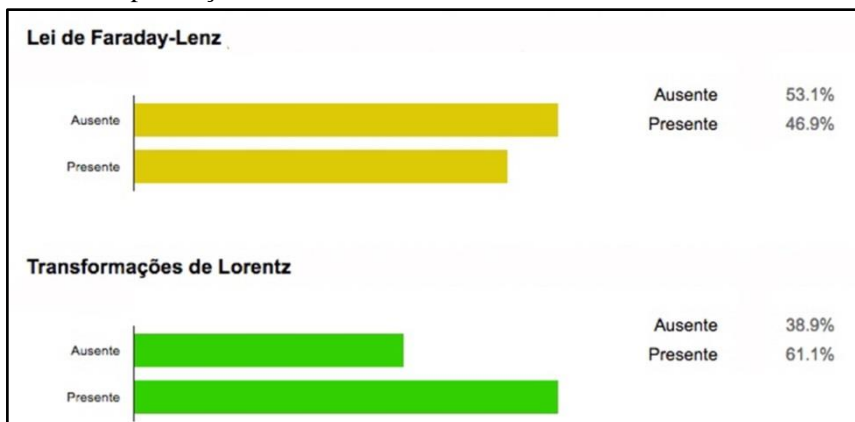


Figura 38 - Gráfico dos conceitos de Lei de Faraday-Lenz e Transformações de Lorentz da questão 17 referente ao Questionário dos professores.

Na figura 38, observamos que 53,1% dos entrevistados afirmam a ausência da FM na Lei de Faraday-Lenz, contra 46,9% que afirmam que a FM está presente nessa lei.

Nas Transformações de Lorentz 61,1% afirmam que a FM está presente, contra 38,9% que afirmam que a mesma não se faz presente no conceito.

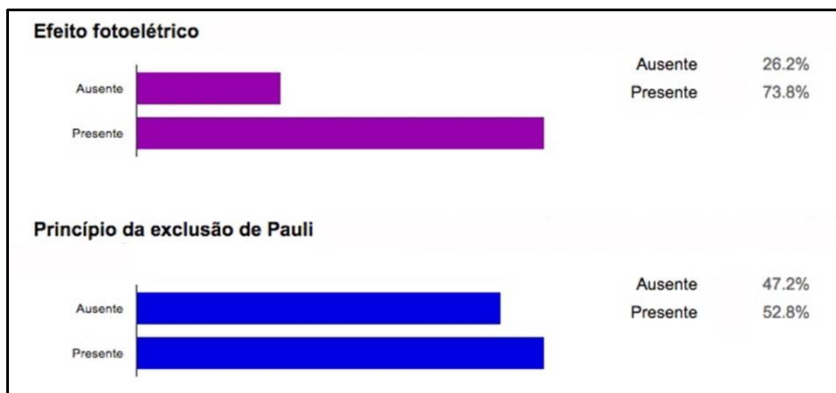


Figura 39 - Gráfico dos conceitos de Efeito fotoelétrico e Princípio da Exclusão de Pauli da questão 17 referente ao Questionário dos professores.

Na figura 39, a maioria dos entrevistados, 73,8% afirmam que a FM está presente no conceito Efeito Fotoelétrico, contra 26,2%.

Já quanto ao Princípio da Exclusão de Pauli, 52,8% afirmam a presença da FM, contra 47,2%.

Podemos observar nessa questão, a carência dos professores na formação acadêmica, quando se trata da FM, pois quase a metade, 47,2%, afirmam a ausência da FM no Princípio da Exclusão de Pauli, uma vez que sabemos que tal princípio tem como base fundamental a Mecânica Quântica.

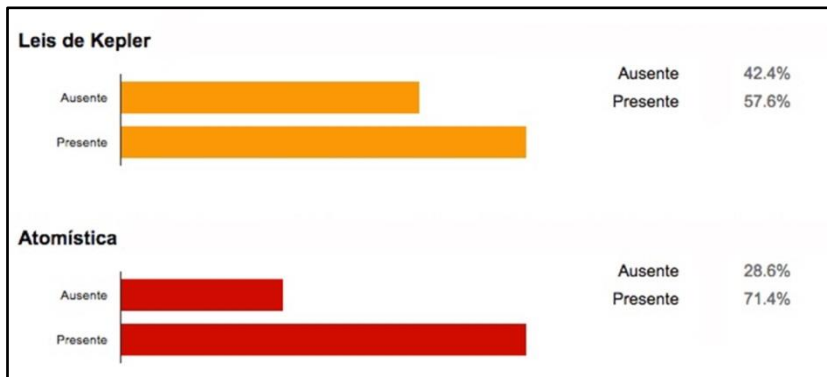


Figura 40 - Gráfico dos conceitos Lei de Kepler e Atomística da questão 17 referente ao Questionário dos professores.

A figura 40, apresenta os gráficos sobre a Lei de Kepler e Atomística. Como pode-se observar, 57,6% dos entrevistados afirmam que a FM se faz presente na Lei de Kepler, contra 42,4% que afirmam que a FM não está presente em tal conceito.

Já no conceito de Atomística 71,4% afirmam que a FM está presente, contra 28,6% que afirmam que na atomística não há FM. Como sabemos a Lei de Kepler é um conceito trabalhado na Física Clássica e vale lembrar que a Lei de Kepler é um conceito clássico.

No conceito de Atomística, o qual é trabalhado principalmente nos primeiros anos iniciais do Ensino Médio dentro da disciplina de Química o mesmo abrange vários conceitos de Mecânica Quântica, principalmente no modelo atômico de Bohr, ou seja, a atomística é quase 100% FM.

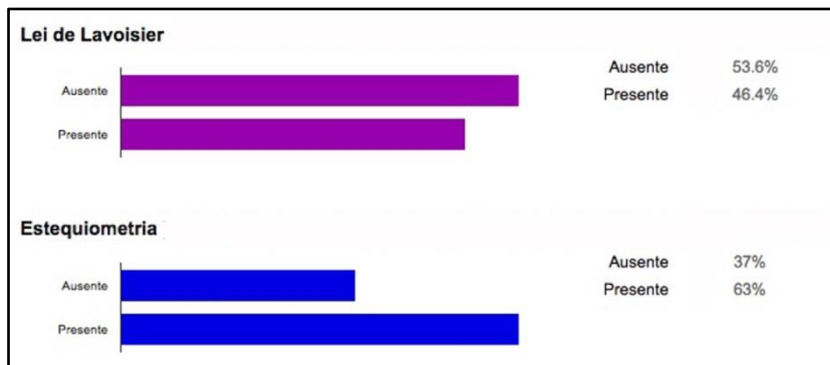


Figura 41 - Gráfico dos conceitos Lei de Lavoisier e Estequiometria da questão 17 referente ao Questionário dos professores.

Na figura 41, os gráficos representados trazem outros dois conceitos vistos dentro da Química: Lei de Lavoisier e Estequiometria. Dos entrevistados, 53,6% afirmam que a FM não se faz presente na Lei de Lavoisier, contra 46,4% que afirmam a presença da FM em tal conceito. Em Estequiometria, 63% responderam que a FM se faz presente, contra 37% que afirmam que a mesma não está presente.

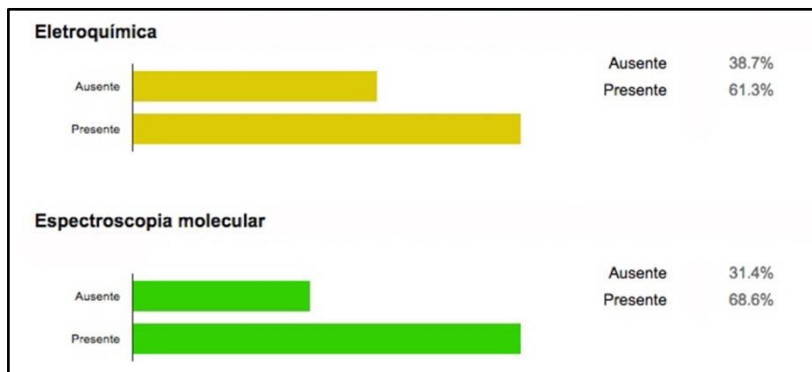


Figura 42 - Gráfico dos conceitos de Eletroquímica e Espectroscopia Molecular da questão 17 referente ao Questionário dos professores.

A figura 42 nos apresenta os gráficos dos conceitos de Eletroquímica e Espectroscopia Molecular, conceitos, esses, que são trabalhados também na disciplina de Química. Podemos observar que nos gráficos temos que a maioria dos entrevistados afirmam que a FM

se faz presente tanto em Eletroquímica como em Espectroscopia molecular.

Em Eletroquímica 62,3% afirmam a presença da FM e em Espectroscopia molecular 68,6% reconhecem a FM presente em tal conceito.

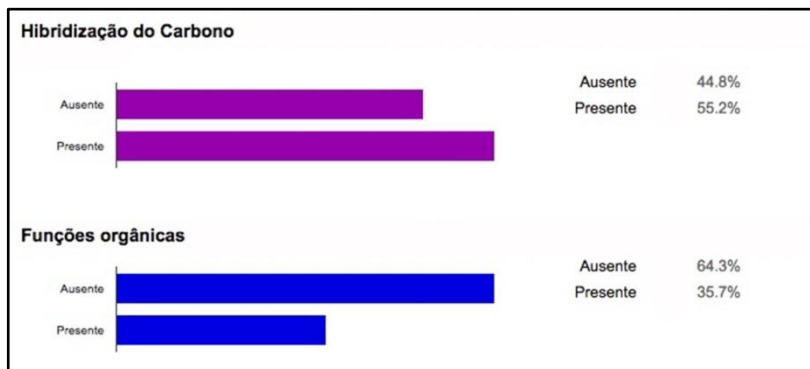


Figura 43 - Gráfico dos conceitos Hibridização do Carbono e Funções Orgânicas da questão 17 referente ao Questionário dos professores.

A figura 43 nos apresenta os gráficos das respostas dos entrevistados, referente aos conceitos de Hibridização do Carbono e Funções Orgânicas, conceitos trabalhados em Química, principalmente na 3ª série do Ensino Médio.

No conceito de Hibridização do Carbono temos que a maioria dos entrevistados, 55,2% afirma que a FM está presente no conceito, contra 44,8% que responderam a ausência da FM. Com relação a esse conceito, sabe-se que o mesmo trata da “mudança” de elétrons entre os orbitais do átomo de carbono, pode-se ainda dizer que tal fenômeno não ocorre somente no átomo de carbono, mas em outros átomos também. Nesse caso a Hibridização do Carbono é em geral FM.

O que se observa, é que em tais conceitos quase a metade dos entrevistados (44,8%) tratam a Hibridização do Carbono como um conceito fora do contexto da Física Moderna.

Em funções orgânicas, podemos perceber que a maioria dos entrevistados afirma a ausência da FM, totalizando 64,3%, contra 35,7% dos entrevistados que afirmam a presença da FM no conceito de Funções Orgânicas.

18. De seu ponto de vista, quais são os conceitos de Física Moderna envolvidos na abordagem dos conteúdos dos quais assinalou acima?
(28 respostas)

polarização da luz

Física Quântica

É uma sequencia, pois muitos desses conteúdos com seus respectivos estudos tendem a um só objetivo que é o estudo da Física Moderna.

gravitacao universal

especialmente mecanica quantica e relatividade

Que A fisica voltou-se para o mundo microscópico, onde passou a estudar os fenômenos subatômicos, que possibilitou grandes avanços tecnológicos, como o desenvolvimento das telecomunicações, os avanços na eletrônica, e até mesmo uma explicação mais eficiente sobre a evolução do universo.

Contração e dilatação tempo/espaço, carga eletromagnética, superfícies, Campos eletromagnéticos, Quântica...

Teoria da Relatividade Especial ..

EFEITO FOTOELÉTRICO RELACIONADO A FEIXES DE LUZ; Transformações de Lorentz destacam a velocidade determinada em tempos muito pequenos. Etc..

Dualidade onda-particula, comportamento da luz.

Figura 44 – Respostas da Questão 18 do Questionário dos professores.

A figura 44 apresenta as respostas dos professores entrevistados, quanto ao questionamento sobre o ponto de vista dos mesmos, sobre os conceitos de Física Moderna que estavam envolvidos na abordagem dos conceitos apresentados na questão 17. Ao analisar tais respostas, verificamos que algumas delas não especificam quais são esses conceitos de FM, dando respostas que não condizem com o questionamento e/ou até mesmo citando conceitos de Física Clássica.

3.3 Considerações referente a análise dos questionários – alunos e professores.

Com a análise das respostas dos alunos e professores, observa-se que tanto os alunos quanto os próprios professores têm facilidade na área de informática. Os indivíduos pesquisados utilizam-se de tal tecnologia, em sua maioria, para leituras de e-mails e acesso a redes sociais, em alguns casos, mais com os professores, para pesquisa e estudos.

O ponto que chamou a atenção é que quando se trata de leitura de artigos científicos para se manterem atualizados nas áreas da ciência, ou até mesmo para estudos mais detalhados de conceitos científicos, isso acaba não ocorrendo na maioria dos entrevistados. Mesmo os alunos se

mostrando interessados, os professores não trabalham esses tipos de pesquisa. Isso que as escolas, como muitos responderam, têm toda uma infraestrutura e tecnologia disponíveis aos alunos e professores.

Vale destacar ainda, que os alunos têm interesse em conceitos da Física Moderna, mas infelizmente nem sempre são explorados tais conceitos pelos professores que atuam nas disciplinas de Física e Química.

Em suma, hoje no ensino de Física ainda se dá muita ênfase ao ensino da Física Clássica. Vale lembrar que a Física Moderna se faz presente no nosso dia-a-dia e a mesma é objeto de estudo em várias áreas da Tecnologia, inclusive por pesquisadores Físicos e/ou Químicos há mais de um século. E mesmo diante desse cenário ainda não são abordadas nem as ideias principais e conceitos fundamentais da Física Moderna nas escolas. De acordo com as respostas apresentadas pelos próprios professores, vários são os fatores que acabam dificultando o trabalho com a Física Moderna em sala de aula, dentre eles temos a formação acadêmica como o principal problema.

Observamos que a maioria dos professores que atuam nas duas disciplinas (Física e Química), são professores formados na área de Matemática e que em suas graduações pouco foi trabalhado conceitos de Física e Química, e hoje são a maioria nas salas de aulas atuando como professores dessas áreas. Assim, podemos constatar a carência que há na região serrana de Santa Catarina (Curitibanos e demais municípios da região), de professores habilitados na área da Física e da Química.

Um outro fator levantado pelos professores na pesquisa trata-se, do material didático e do tempo das aulas, pois os mesmos trabalham com livros didáticos, e os seguem, em sua maioria, a sequência dos conteúdos da Física Clássica abordada nos livros, e como a sequência é extensa, acabam não tendo tempo para trabalhar os conceitos da Física Moderna, que são os últimos conteúdos apresentados nos livros didáticos. Esses mesmo livros não trazem uma abordagem com relação às novas tecnologias que derivaram de estudos da Física Moderna. Ao analisar tais livros observou-se também a não abordagem de conceitos da Física Moderna junto a conceitos da Física Clássica, sendo que em muitos dos conceitos clássicos poderia ser trabalhado.

Mas a falta de abordagem da Física Moderna não se dá apenas nos livros didáticos de Física, mas também no ensino de Química. Como sabe-se a Química tem uma abordagem da Mecânica Quântica nos conteúdos de atômica, ligações químicas, hibridização de átomos como o Carbono e a própria Química Orgânica. Mesmo diante dessa gama de conteúdos que poderiam ser abordados conceitos da Física

Moderna, ainda não observamos tal abordagem por parte dos autores dos livros.

Sendo que em livros didáticos do ensino de Química, constata-se que conceitos como os números quânticos e até mesmo distribuição eletrônica de Pauli, já foram retirados das páginas desses livros. Diante desse cenário muitos professores alegam a falta de material para o repasse de conceitos da Mecânica Quântica. Pode-se constatar que falta um material paradidático dirigido a esses professores e alunos, para que os mesmos possam trabalhar conceitos clássicos junto com conceitos da Física Moderna e inclusive conceitos da Química sob um olhar dentro da Mecânica Quântica.

Sabe-se que textos paradidáticos podem ajudar o aluno na compreensão de conceitos e mesmo fenômenos físicos e/ou químicos, além de oferecer a possibilidade de interação reflexiva e crítica com o seu meio social. Dessa forma os textos paradidáticos podem ser uma ferramenta didática para o professor inserir em sua prática pedagógica.

ALMEIDA E SORPRESO (2011) ressaltam na expectativa de que as leituras não produzam um único significado, mas se faz pensar na conveniência do acesso a muitos tipos de discursos (nesse caso artigos científicos e mesmo textos de divulgação científica) para um mesmo conteúdo, o qual pode parecer uma perspectiva promissora para a educação, onde provavelmente ocorrerão crescimentos culturais significativos.

TOMAZELLI (2001) destaca a importância de textos paradidáticos como mediador da interação professor-aluno, pois os mesmos podem promover debates sobre o assunto. Sendo que a leitura começa em um ambiente fora da sala de aula, trazendo inclusive motivação ao aprendizado dos conteúdos do programa obrigatório do professor.

Os textos paradidáticos se utilizados como ferramentas didáticas, fazem o papel de mediador virtual, o qual instiga os estudantes e ajuda os mesmos a desenvolverem habilidades, colaborando e orientando o professor em como direcionar uma determinada atividade, ao tempo que serve como uma fonte de apoio.

O desenvolvimento de um *e-book* vem com o intuito de trazer os textos paradidáticos, com as mesmas características de textos normais para os alunos e professores. Porém o *e-book* traz a possibilidade de ter o texto paradidático com simulações e recursos audiovisuais, os quais podem ser lidos se utilizando de computadores, *smarthphones* e celulares.

A inserção do e-book como ferramenta pedagógica no ensino de conceitos de Mecânica Quântica, pode vir a contribuir no processo ensino-aprendizagem de maneira significativa nas disciplinas de Física e Química.

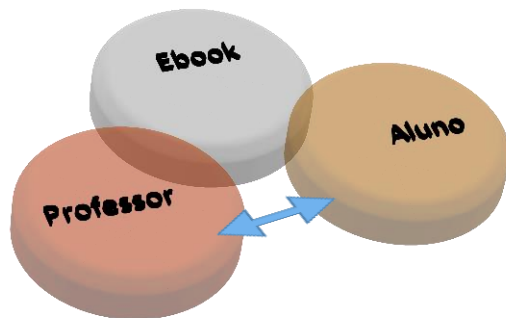


Figura 45- Destacando a função do *e-book* no processo ensino-aprendizagem

O diferencial do material *e-book*, é que o mesmo pode ser utilizado com a tecnologia e mídias que os professores e alunos dispõem na escola e em casa, trazendo uma abordagem histórico-conceitual e assim evitando a “matematização” exagerada da Física.

Ao trazer conceitos em uma linguagem mais acessível no *e-book*, podemos estar assim incentivando discentes e docentes das escolas a leitura de materiais de cunho científico como artigos e revistas científicas. É de extrema importância que os alunos e professores tenham conhecimento das publicações científicas, pois é por meio delas que se conhece e aprende quanto ao desenvolvimento tecnológico do país e até mesmo do mundo.

Para que haja esse incentivo a leitura, ressalta-se a necessidade de materiais textuais que abordem esse conhecimento científico – em uma linguagem acessível – pois, infelizmente em nosso país as publicações científicas ficam restritas a biografias de cientistas e algumas revistas destinadas ao público em geral e não vemos publicações que possam ser destinadas a estudantes da educação básica. Hoje, muito dos textos de publicações científica acaba ficando em uma linguagem que apenas cientistas e pessoas que tenham uma formação adequada conseguem ler, entender e interpretar.

Um dos materiais textuais que vale ser citado é a coletânea de livros “Física para Todos” de L. D. Landau e A. I. Kitaigorodski, publicados em setembro de 1977, os quais foram pioneiros na forma de apresentar conceitos físicos e químicos através de uma linguagem acessível a todos, que fosse para pessoas que já possuíam uma formação na área científica ou mesmo para pessoas leigas.

A coletânea de Landau e Kitaigorodski, foi dividida em quatro livros pequenos que foram intitulados de Corpos Físicos, Moléculas, Elétrons e o último livro abordava Fótons e Núcleos; livros, estes, que abordam todas as leis fundamentais da Física em uma linguagem acessível a todos e que infelizmente não encontramos materiais como esses em nosso país.

A. I. Kitaigorodski (1977) cita no prefácio:

Estes livros são para representantes de todas as profissões que querem lembrar da física, formar uma ideia sobre o seu estado, inclusive a influência exercida sobre o progresso científico-técnico e sua importância para a formação do mundo materialista.

O trabalho de Landau e Kitaigorodski, merece esse destaque pela sua importância que traz ao campo da Física e também da Química, pois o mesmo motiva alunos e mesmo professores a buscar mais sobre os fenômenos que são abordados e a ligação entre os conceitos, servindo de inspiração para novos materiais paradidáticos a ser produzidos.

Capítulo 4

Metodologia e Aplicação do Produto Educacional

Na pesquisa, para se conhecer as dificuldades dos alunos e professores, optou-se por uma pesquisa qualitativa-quantitativa, como citada no capítulo anterior. A utilização conjunta da pesquisa qualitativa e quantitativa permitiu analisar melhor as informações e dados com relação a problemática do ensino de Física Moderna no Ensino Médio.

Como cita SILVA E MENEZES (2001), com relação a pesquisa qualitativa:

Considera que há uma relação dinâmica entre o mundo real e o sujeito, isto é, um vínculo indissociável entre o mundo objetivo e a subjetividade do sujeito que não pode ser traduzido em números. A interpretação dos fenômenos e a atribuição de significados são básicas no processo de pesquisa qualitativa. Não requer o uso de métodos e técnicas estatísticas. O ambiente natural é a fonte direta para coleta de dados e o pesquisador é o instrumento-chave. É descritiva. Os pesquisadores tendem a analisar seus dados indutivamente. O processo e seu significado são os focos principais de abordagem.

Após a análise da pesquisa e a interpretação dos vários fatores como: dificuldades descritas pelos professores e alunos, falta de material adequado principalmente para professores que não possuem a formação na área, que deram suporte para o desenvolvimento do *e-book* através de uma abordagem histórico conceitual para aplicação no Ensino Médio.

Sendo o ambiente a fonte direta para a coleta de dados, a aplicação do material e levantamento dos resultados também se utilizou de uma pesquisa qualitativa, porém nesse caso se baseando em um método fenomenológico.

De acordo com SILVA E MENEZES (2001):

Preocupa-se com a descrição direta da experiência tal como ela é. A realidade é construída socialmente e entendida como o compreendido, o interpretado, o comunicado. Então, a realidade não é única: existem tantas quantas forem as suas interpretações e

comunicações. O sujeito/ator é reconhecidamente importante no processo de construção do conhecimento.

Como a pesquisa está baseada em uma pesquisa qualitativa, o método que a acompanha é o método fenomenológico. Sendo o material paradigmático produzido com uma abordagem histórico-conceitual devendo levar em consideração o que foi interpretado e compreendido pelos alunos. E como cada aluno entende e interpreta de formas diferentes, essas diferentes formas de compreensão devem ser levadas em consideração.

4.1 Perfil do município de Ponte Alta do Norte

O município de Ponte Alta do Norte está localizado na mesorregião serrana de Santa Catarina, foi proclamado município no ano de 1992 através da lei estadual nº 8554 de 30 de março de 1992, tendo como a primeira instalação administrativa em 01 de janeiro de 1993. Sendo que Ponte Alta do Norte, anteriormente, era distrito do município de Curitibaanos.

De acordo com IBGE (2010) o povoamento da região onde se encontra Ponte Alta do Norte começou no início do século XX, com os caboclos e jagunços que lutaram na Guerra do Contestado. Mais tarde, por volta de 1924, chegaram famílias de imigrantes italianos, interessados nas terras férteis, baratas e com madeira abundante. A madeira extraída da região durante as décadas de 1950 e 1960 ajudou a erguer Brasília.

A base econômica do município esta focada principalmente no setor madeireiro, com reflorestamentos de pinus e eucalipto e várias serrarias que se utilizam desta matéria-prima. Diante desse cenário, infelizmente, donos de serrarias se aproveitam da mão-de-obra barata dos municípios e inclusive explorando até mesmo o trabalho infanto-juvenil. Problemática que até os dias de hoje o poder público não tomou uma providência.

Além de serrarias, o município ainda conta com o comércio local com lojas de varejo, postos de combustíveis, restaurantes e farmácias. Mas, ao se deparar com o cenário do município é visível a falta de incentivo até mesmo na formação das crianças e jovens.

Por ser um município novo, o mesmo possui carências em infraestrutura, como a falta de hospital, médicos, saneamento básico e até mesmo uma Universidade. Para que municípios possam usufruir de

tais serviços os mesmos tem que se deslocar até cidades vizinhas como Curitiba e/ou Lages.

De acordo com dados do IBGE, que realizou o censo no ano de 2010, a população do município era de 3.303 habitantes. Sendo que em 2004 a população era de 3.531 habitantes, é visível o êxodo da população do município devido aos vários problemas de infraestrutura e carência de oportunidades de emprego para as pessoas, principalmente para os jovens do município.

O município de Ponte Alta do Norte conta com três escolas municipais com ensino fundamental até o 5º ano, um centro de educação infantil (creche) as quais são de responsabilidade da Administração Municipal. A Escola de Educação Básica Frei Rogério – E.E.B. Frei Rogério – possui Ensino Fundamental do 6º ano ao 9º e Ensino Médio. Sendo a única escola no município que tem o Ensino Médio disponibilizado aos adolescentes e jovens.

De acordo com o IBGE (2010)

Pontos altos na história da cidade foram a construção da BR 116, ocasião em que um batalhão do exército se instalou no local, e a época de ouro da extração da madeira da Araucária, madeira nobre que dali foi levada para muitas partes do país, inclusive para a construção da capital do país, Brasília. Na época, a cidade ainda era distrito pertencente ao município de Curitiba. Depois de extrair as riquezas da região, as serrarias foram sendo desativadas, enquanto os lucros que elas geraram eram investidos em grandes centros, levando o distrito a uma estagnação no desenvolvimento, quadro que só mudaria após a emancipação. Já "município", a cidade passou a ter mais investimentos do poder público.

Infelizmente, mesmo após se tornar município, Ponte Alta do Norte continua enfrentando uma estagnação em seu desenvolvimento econômico e até mesmo cultural. É fato que melhorou se comparado com o período em que era distrito, porém com seus 25 anos de emancipação político-administrativa, não obteve um desenvolvimento econômico aceitável como de outros municípios que se emanciparam no mesmo período.

4.2 Perfil da Escola de Educação Básica Frei Rogério

A Escola de Educação Básica Frei Rogério (E.E.B Frei Rogério) é uma instituição de ensino Estadual, mantida pelo governo do Estado de Santa Catarina.

De acordo com o Projeto Político Pedagógico (PPP) a mesma iniciou suas atividades como Escola Reunida em 28/03/55 pelo Decreto N. ° 585. Convertido em Grupo Escolar pelo Decreto N. ° 8718 em 11/12/69. Em 1971 foi autorizado o funcionamento do Ciclo Básico pelo Parecer N. ° 58/71 – CEE. Em 07/05/71 pelo Decreto N. ° SE 96, transformou-se em Escola Básica. Em 07/01/94 pela Portaria N. ° 014/94 Parecer N.° 358/93/CEE passa a denominar-se Colégio, estando autorizado o funcionamento do curso de Ensino Médio de Educação Geral. Em 26/04/95 pela Portaria N. ° 120/95 foi autorizado o funcionamento de forma definitiva o Ensino Médio de Educação Geral. Em 28/12/99 pelo decreto 859 ficou reconhecido o curso de Ensino Médio, Parecer 357/99 e resolução 78/99 do Conselho Estadual de Educação. Em 28/03/2000 pela Portaria E/017 a Secretaria de Estado da Educação e do Desporto, no uso de suas atribuições legais resolve alterar a identificação dos estabelecimentos da rede publica estadual, passando o Colégio a denominar-se Escola de Educação Básica (E.E. B) Frei Rogério.

A unidade escolar tem sua prática educativa fundamentada nos princípios de igualdade de acesso, permanência e gratuidade constantes na Constituição Federal, Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional e no Estatuto da Criança e do Adolescente (ECA). Atualmente a escola conta 404 alunos matriculados, no ensino regular, estes distribuídos em 15 turmas, sendo atendidos nos três períodos: matutino, vespertino e noturno.

Devido a situação econômica do município, já citada, a clientela da escola é resultante da mesma, pois muitos pais de famílias ficam a semana toda fora de casa, vivendo em moradias que são móveis, algumas em container. Os pais são os trabalhadores responsáveis pela poda e extração da madeira para as empresas que trabalham com essa matéria-prima. Como já citado, é explorada a mão-de-obra barata desses trabalhadores, que acabam recebendo em média dois salários mínimos para sustento da família. Geralmente parte dos trabalhadores possuem carteira assinada outros trabalham por empreitadas.

Devido a essa situação muitos dos filhos desses pais acabam morando com os avós, na sua grande maioria residem em casas de madeira, em ruas de terra batida. Não apresentam muito interesse pelos

estudos, porque observam que para exercer, a maioria das funções existentes no município precisam de pouco estudo. Poucos alunos ingressam em Universidades. Aqui, reside o grande desafio da escola motivar e apresentar realidades e possibilidades diferentes.

Diante dessa situação, a escola é pautada de acordo com o PPP (2015) na corrente filosófica do Materialismo Histórico Dialético que leva em conta os problemas de ordem material do homem, bem como a questão das desigualdades sociais constituídas pela humanidade no decorrer do seu desenvolvimento e por isso, para dar conta desta realidade optamos pela concepção de aprendizagem sócio-interacionista.

Na relação professor e aluno, ambos são sujeitos do processo ensino – aprendizagem. De acordo com o PPP da E.E.B. Frei Rogério (2015):

O professor deve ser o mediador entre o aluno e o conhecimento, estar atento ao grupo, cada sujeito e a matéria. Deve manter uma relação democrática com o objetivo de incidir na Zona de Desenvolvimento Proximal do aluno, deve valorizar o aluno como ser único, com história e ritmo próprio. Além disso, o professor precisa incentivar os alunos a relacionarem o que foi aprendido na escola com outras experiências fora dela e a propor outros temas e problemas de relevância para serem debatidos.

O professor também deve proporcionar a leitura e a compreensão da realidade social em que o aluno está inserido e permitir a possibilidade de articulação pelo aluno com uma realidade social mais ampla.

Outra razão que nos leva a optar por essa concepção de aprendizagem são os procedimentos de ensino, tendo em vista que essa concepção propõe métodos que incentiva a pesquisa e raciocínio lógico.

4.3 Aplicação do produto educacional e-book.

A aplicação do material foi realizada na Escola de Educação Básica Frei Rogério, na cidade de Ponte Alta do Norte - SC, junto as aulas de Física na presente Unidade Escolar, com três turmas do Ensino Médio (1ª série 1; 2ª série 2 e 3ª série 1).

No capítulo anterior, foi descrito que a pesquisa não havia sido realizada com alunos da 1ª série do ensino médio, por ser o primeiro contato deles com a Física e a Química. Porém, após reflexão, decidiu-se aplicar o material também com a 1ª Série, turma 1, para poder verificar se o material era compatível para alunos que recém chegaram do ensino fundamental.

Foi distribuído o produto educacional *e-book* para professores de outras escolas, professores formados na área e inclusive para a professora de Química da E.E.B. Frei Rogério analisar o *e-book* e usar em suas aulas caso assim desejassem. Também foi entregue uma cópia do *e-book* para a professora de ciências, que trabalha com turmas de 9º ano do ensino fundamental (EF), onde leciona conceitos introdutórios de Química e Física, para que a mesma pudesse analisar o produto e também dar um parecer quanto a aplicação deste nas turmas de 9º ano do EF.

Para a aplicação do produto educacional foi desenvolvido um site (www.sfbarcelos.com.br) onde esta o *e-book* disponível para os alunos. No site foi inclusive disponibilizado uma plataforma de ensino que veio ajudar os alunos na postagem dos relatórios e até mesmo para poderem se comunicar com o professor.

4.3.1 1º Momento da Aplicação do produto educacional

No primeiro momento da aplicação solicitou-se a autorização do diretor da Unidade de Ensino – E.E.B. Frei Rogério para que pudesse haver a aplicação do produto educacional, juntamente com o uso da sala de informática nas três turmas de Ensino Médio.

Explanou-se nas turmas de 1ª série 1, 2ª série 2 e 3ª série 1, sobre o objetivo da aplicação do produto educacional. Apresentou-se também uma abordagem da Mecânica Quântica por meio de um contexto histórico-conceitual, sem a inserção da matemática; mas com uma abordagem direcionada à disciplina de Química para que assim pudessem relacionar com conceitos que os mesmos estariam vendo nas aulas.

Foi solicitado aos alunos que os mesmos deveriam trazer celulares, *tablets* e até mesmo *notebooks* para as aulas. Caso algum aluno não possuísse, poderiam utilizar os computadores que a escola tinha na sala de informática.

4.3.2 2º Momento da Aplicação do produto educacional

No segundo momento, realizou-se uma pesquisa com os alunos quanto ao conhecimento dentro de ondulatória. Foi exposto aos alunos a importância da ondulatória na Mecânica Quântica, para assim poder entender o fenômeno da dualidade da partícula (elétron, fóton).

Os alunos da 3ª série 1, no momento da pesquisa relataram que os mesmos já haviam visto ondulatória no ano anterior, inclusive os alunos da 2ª série 2 relataram a mesma coisa que já haviam visto ondulatória no currículo de Física. Assim sendo, foi realizada apenas uma revisão dos conceitos com os mesmos de forma mais superficial. Porém, com a 1ª série 1, ao questioná-los se os mesmos já haviam visto conceitos de ondulatória no 9º ano do ensino fundamental, os mesmos responderam que nunca tinham visto tais conceitos.

Partindo dessa pesquisa em sala, foi abordada a ondulatória de forma mais completa com os alunos da 1ª série 1. Repassado conceitos como: características das ondas, os elementos que compõem uma onda, os tipos de ondas (mecânica e eletromagnética) ciclo de onda e frequência, comprimento de onda, velocidade, amplitude e período. Foi inclusive explanado quanto a interferência de ondas e mesmo a difração. Naturalmente que essa abordagem levou mais tempo que o previsto na aplicação do produto educacional, porém se fez necessário para o seguimento da aplicação.

4.3.3 3º Momento da Aplicação do produto educacional

No terceiro momento, foi realizada uma introdução sobre a Mecânica Quântica para as turmas do Ensino Médio, juntamente com o documentário “Além do Cosmo – Mecânica Quântica”, do Físico Brian Greene, distribuído pela NatGeo. Em seguida, questionou-se se os alunos já haviam tido contato com algum conceito de Mecânica Quântica, sendo que os mesmos alegaram nunca terem visto. A partir daí, foi apresentado a eles que quando estudaram os modelos atômicos em Química, em verdade já estavam vendo conceitos iniciais da Mecânica Quântica. Tal informação trouxe um certo espanto a eles, onde citaram que nunca havia se falado em Mecânica Quântica em Química, principalmente nos modelos atômicos.

Para que houvesse uma melhor discussão e estudo com o *e-book*, os alunos dividiram-se em grupos para poderem estudar os conceitos abordados no produto educacional - *e-book*. Em grupos, muitos levavam seus equipamentos tecnológicos (celulares, *tablets* e

notebooks) acessavam o site e baixaram o *e-book*. Os que tinham dificuldades para acessar ou em momentos que a internet da escola dava problemas em seus equipamentos, o material era repassado via *pen-drive* ou conexão *bluetooth*.

Como método motivacional e de incentivo foi proposta apresentações de cada grupo, onde o melhor grupo no final da aplicação do projeto ganharia uma “recompensa”. Naturalmente, que além da recompensa os mesmos estavam sendo avaliados quanto ao envolvimento junto ao grupo, a leitura e discussões dentro dos grupos e as apresentações junto a sala de aula. No momento das apresentações, os demais grupos poderiam questionar o grupo que estava apresentando e assim procurar falhas em suas apresentações quanto ao conceito apresentado, o que também contava como uma certa pontuação para ganhar a “recompensa” no final.

A partir dessa forma de agrupamento e apresentação, os alunos em seus grupos estudavam um tema que iriam apresentar e também os temas dos demais grupos para poderem questionar e procurar as falhas na explanação dos conceitos dos colegas. Dessa forma foi inserido nos grupos de estudo, um espírito de competitividade em termos de estudo dos temas abordados no *e-book*.

Porém, muitos alunos, principalmente os que cursam o ensino Médio no período noturno (2ª série 2 e 3ª série 1), tinham tempo para estudar apenas no ambiente escolar e não poderiam se reunir em horários além da escola. Devido a tal situação, o estudo e preparativos para as apresentações acabaram por levarem mais tempo que o programado, diferente do que aconteceu na 1ª série 1; esses por sua vez puderam se reunir em casas de colegas em horários diferenciados.

4.3.4 4º Momento da Aplicação do produto educacional

No quarto momento, deu-se início às apresentações, onde o primeiro grupo apresentou os conceitos de dispersão luminosa e espectroscopia, salientando as contribuições de Isaac Newton tanto para a Física como também servindo de base para conceitos utilizados na Mecânica Quântica. Os grupos se utilizaram do material como base principal da pesquisa, inclusive se utilizando das imagens e vídeos para exposição dos conceitos.

O ponto forte, a ser destacado na apresentação dos grupos com relação a dispersão luminosa, foi o interesse deles em trazer experiências para auxiliá-los como: a dispersão da luz pelo prisma, onde os grupos das três turmas se utilizaram dessa prática para melhor

explicação; e também do disco de Newton com o uso de uma furadeira, que mesmo sendo simples conseguiram demonstrar o comportamento policromático da luz.

Outro ponto que vale ser ressaltado foi a exposição da turma da 1ª série 1, que em sua exposição sempre se baseavam no fenômeno ondulatório da luz, citando inclusive propriedades da ondulatório nos fenômenos da dispersão luminosa e da espectroscopia. Após a exposição pelo grupo, o professor fez as explicações as quais os alunos ficaram com dúvidas salientando a importância do entendimento da luz como fenômeno ondulatório. Após cada apresentação e início da próxima era salientado a importância de cada conceito e revisado as explicações do grupo que tinha apresentado.

Assim, as apresentações se seguiram com a explicação dos grupos sobre a radiação térmica de corpo negro e as contribuições de Ludwig Boltzmann para o estudo do corpo negro, para Física e em especial para a Mecânica Quântica. Os grupos que fizeram as explicações se utilizaram também de experiências com corpos reais onde salientavam que mesmo o corpo negro sendo hipotético, os corpos reais se comportavam semelhante a um corpo negro. Da mesma forma que os grupos que fizeram as primeiras apresentações, eles também se utilizaram dos conceitos abordados no *e-book* e suas imagens. Porém, nesse tema os grupos puderam se utilizar da simulação que vem no material, trazendo um simulador de espectro de corpo negro, onde se tem a intensidade da radiação do corpo negro em função do comprimento de onda.

Da mesma forma, após a exposição pelo grupo, o professor fez as explicações as quais os alunos ficaram com dúvidas, inclusive se utilizando do simulador do espectro de corpo negro e retratando a espectro eletromagnético a espectroscopia como conceitos fundamentais, inclusive no estudo da radiação do corpo negro.

Os grupos que fizeram as apresentações sobre o eletromagnetismo e a importância das equações de Maxwell para a Física, realizaram suas exposições tendo como base o *e-book*. Porém, alguns alunos citaram que foram além, pesquisaram mais sobre o assunto, inclusive teve alunos que ficaram interessados em conhecer as equações de Maxwell de uma forma mais aprofundada e assim foram pesquisar como se resolvia, mas ficaram assustados devido a matemática ser muito complexa.

Após a exposição do grupo, foi explanado pelo professor a importância do eletromagnetismo no estudo da Mecânica Quântica inclusive para se entender a questão magnética da partícula (elétron), já

aproveitando e comentando quanto ao spin magnético do elétron, o qual seria estudado mais adiante. Foi exposto aos alunos que esses eram os tópicos da Física Clássica que dão a base para à explicação de muitos conceitos e fenômenos da Mecânica Quântica.

4.3.5 5º Momento da Aplicação do produto educacional

Após as apresentações dos tópicos da Física Clássica, deu-se início a abordagem dos modelos atômicos, os quais como introdução foi exposto em sala de aula o princípio do pensamento filosófico de Demócrito e Leucipo. Inclusive, nesse momento foi apresentado uma série de vídeos da animação produzida por Walt Disney sobre a evolução dos modelos atômicos, que inclusive, fazem parte do *e-book*. Após a explanação um grupo da 1ª série 1 fez a exposição sobre a evolução dos modelos atômicos, abordando desde Dalton até o modelo Rutherford.

Um ponto a ser citado foi a forma com que trouxeram a abordagem do modelo de Thompson e Rutherford se utilizando da simulação inserida no *e-book* para fazerem a exposição dos dois modelos atômicos e fazendo a ligação já com o modelo de Bohr, o qual seria tratado em outro momento da aplicação do material.

Os alunos dos grupos da 1ª série 1 em todos os momentos da apresentação se baseavam na simulação para ajudar na explicação dos questionamentos dos outros grupos.

Os alunos da 1ª série trouxeram a ideia de Dalton sobre o átomo juntamente com a explanação sobre o Princípio de Avogadro e também tendo sido o primeiro a publicar sobre a ideia de elementos químicos existirem em forma de molécula através do estudo de gases.

4.3.6 6º Momento da aplicação do produto educacional

Devido ao tempo de aplicação do projeto ter sido escasso, houve outros motivos que fogem a vontade do professor, como atividades extraclasse programadas pela Escola e que em vários momentos, acabou atrapalhando as apresentações. Diante da situação, foi proposto aos alunos que em grupos se reunissem e estudassem o material para que nas próximas aulas pudessem ser realizadas as explicações, não mais com as apresentações, mas a partir das considerações dos grupos, diante dos temas estudados e discutidos em grupo.

Com as turmas do período noturno, em virtude da maioria dos alunos trabalharem, os grupos se reuniram em sala de aula, se utilizando das aulas de Física e em alguns momentos das aulas de Química, cedidas pela professora para que pudessem dar continuidade na aplicação do produto.

4.3.7 7º Momento da aplicação do produto educacional

Após o estudo e leitura do *e-book* pelos grupos, vários grupos conseguiram fazer o estudo dos tópicos: Lei de Planck, efeito fotoelétrico e dualidade onda-partícula, experimento da fenda dupla e modelo atômico de Bohr. Os alunos relataram que inclusive ficou melhor de entender o efeito fotoelétrico devido a simulação que ajudou a elucidar o efeito e demonstrar de uma forma mais concreta. Já no experimento da fenda dupla, o que realmente ajudou os alunos a entender o conceito foi o vídeo da animação do professor Quantum. Nesse momento foram retomados e revistos os conceitos de ondulatória junto com as turmas.

O modelo atômico de Bohr, foi um dos últimos temas que se conseguiu abordar junto aos alunos dando um enfoque a sua contribuição até os dias de hoje para a Química e explanando quanto a sua importância principalmente na estruturação e organização da Tabela Periódica e nas ligações químicas.

4.4 Resultados da aplicação do produto educacional *e-book*.

O primeiro ponto a citar é o parecer dos professores que puderam analisar o produto educacional. Alguns professores que o analisaram eram da escola e outros de escolas da região, onde atuam como professores de Física e/ou Química. Diante da análise realizada por eles, 100% dos professores, acharam de extrema importância a abordagem histórico-conceitual, inclusive por se tratar de um assunto que não é mencionado nos livros didáticos. Enfatizaram o uso das tecnologias, proposto pelo material, dando ao aluno a possibilidade de interagir com recursos tecnológicos.

Nas palavras da professora C.: *“Penso que numa sociedade onde cada vez mais crianças lidam com suporte de informação digital, a escola não pode ficar indiferente a esta realidade. Muita coisa mudou, função do aluno, a função do professor e a tecnologia a disposição de todos no processo. O uso da tecnologia ajudará os alunos a aprenderem melhor os conteúdos e tornará as aulas mais dinâmicas”*.

A professora de ciências da escola relatou que mesmo o produto educacional tendo sido desenvolvido para o Ensino Médio, a mesma utilizará em suas aulas no ensino fundamental devido a linguagem ser acessível. Inclusive, para ela estudar, pois em sua graduação não havia sido abordado tópicos da Mecânica Quântica, por meio de uma forma histórico-conceitual como traz no material.

O que surpreendeu os alunos no momento da explanação do projeto, foi a possibilidade de estarem usando seus celulares e demais equipamentos tecnológicos em sala de aula. O que também ajudou os alunos em termos de motivação para ler e estudar o material.

Diante do cenário que se tinha na escola, vários foram os momentos em que os alunos se deslocaram até a sala de informática para poder se utilizar dos computadores e da internet da escola. Que infelizmente, várias vezes não funcionavam como deveriam, trazendo atrasos e mesmo entraves para o estudo e andamento da aplicação. De acordo com os alunos, o que ajudou no estudo, até mesmo em casa pelo computador, foi o material estar disponível no site, onde eles puderam fazer o *download* em seus aparelhos.

Como citado no segundo momento, foi realizada uma revisão sobre ondulatória com as turmas, porém a 1ª série 1, como não haviam estudado os conceitos de ondulatória foi necessária uma abordagem mais aprofundada, diferente de apenas uma revisão como foi feita nas turmas de 2ª série 2 e 3ª série 1. Devido a essa abordagem mais aprofundada que foi realizado na 1ª série 1, as apresentações dos tópicos do *e-book* pelos grupos tiveram explicações trazendo a ondulatória como base; diferente do que aconteceu com os alunos da 3ª série 1 e 2ª série 2, que em suas apresentações, pareciam demonstrar que o comportamento ondulatório da luz não existia. A turma de 1ª série 1 teve um desenvolvimento muito melhor do que as turmas de 2ª série e 3ª série, inclusive no entrosamento dos grupos com os conceitos e o produto *e-book*, utilizando-se das tecnologias inclusive para tirar dúvidas com o professor.

Essas dúvidas eram tiradas por vídeo conferência com os alunos pelo celular, um dos grupos se reunia na casa de um dos integrantes e nos momentos que estudavam e surgiam dúvidas quanto a um determinado tópico no *e-book*, eles entravam em contato com o professor e assim eram realizadas videoconferências para ajudá-los a solucionar as dúvidas e demais questionamentos que o grupo tinha. Naturalmente, que essas conferências eram marcadas junto com o professor um melhor horário para todos.

Pode-se dizer que diante da dedicação e desenvoltura da turma da 1ª série 1, foi a turma que mais soube aproveitar os recursos tecnológicos no estudo do *e-book*, e como utilizá-lo da melhor forma no aprendizado dos tópicos da Mecânica Quântica, que se conseguiu abordar dentro do prazo.

As apresentações poderiam continuar, porém devido ao prazo ser escasso para a conclusão da aplicação, houve a necessidade de adotar uma nova metodologia de estudo para poder assim ter resultados além dos tópicos iniciais. Diante dessa problemática, foi sugerido então, que todos os grupos estudassem os tópicos possíveis dentro de um prazo limitado e assim em sala de aula fossem discutidos tais tópicos. Como citado no 7º momento da aplicação, foi avançado até o tópico sobre o modelo atômico de Bohr, inclusive suas aplicações dentro da Química.

Nessa metodologia de trabalho, os alunos estudavam em grupos e era discutido em sala suas dúvidas com relação ao tópico. Ao se trabalhar dessa forma com os alunos, percebia que os mesmos faziam o estudo em grupo, porém já não havia a motivação que antes se verificava nas apresentações.

No final da aplicação do produto educacional – *e-book*, os alunos fizeram relatórios em grupos que além de abordar os vários tópicos que haviam estudados, relatavam o uso do *e-book* no seu aprendizado. Esse repasse dos relatórios se deu como uma apresentação em sala de aula e gravados na forma de *podcast*, sendo que os relatórios que foram apresentados serão postados no site².

O que os alunos mais relataram foi a forma da abordagem do material, onde não tinha cálculos matemáticos. De acordo com os alunos, essa abordagem se tornou muito melhor para entender o fenômeno, diferente da abordagem dos livros didáticos e das aulas normais.

No relato, os alunos acharam melhor essa forma para se entender o conceito e o fenômeno, 95% dos alunos relataram que essa abordagem acabou motivando-os a ir mais além e pesquisar mais sobre o assunto, a medida que iam estudando o conceito o mesmo ficava mais interessante e assim conseguiam fazer ligações com os conceitos que haviam estudado anteriormente.

² O site é: www.sfbarcelos.com.br o mesmo foi criado para atividades de sala de aula na disciplina de Física. Assim o produto educacional e os relatórios em forma de *podcast* também ficarão postados no site para que os alunos possam ouvi-los e se desejarem também fazer o download.

Capítulo 5

Considerações Finais

As escolas estaduais, que oferecem o ensino médio, apresentam um currículo defasado, onde professores das disciplinas de Física e Química seguem um livro didático adotado pela escola e não trazem conceitos da Física Moderna para os alunos de uma forma clara e que possam ser trabalhados em paralelo com conceitos da Física Clássica e principalmente com conceitos dentro da Química.

Na disciplina de Química, muitos dos conteúdos que são abordados e conceitos que são repassados aos alunos, especialmente a evolução dos modelos atômicos, classificação periódica e ligações químicas têm como base a Mecânica Quântica, esta sendo uma das divisões da Física Moderna.

A produção e avanço tecnológico que se deu devido ao aprofundamento dos estudos da Física Moderna estão estampados em nossa sociedade tecnológica. Porém, nas escolas públicas ainda são abordados apenas tópicos da Física Clássica, sendo o foco principal dos livros didáticos e dos professores que seguem os mesmos por meio de um currículo engessado e defasado. Vale lembrar que temos mais de um século de estudos e contribuições da Física Moderna em nosso mundo e mesmo assim, esses conceitos são desprezados em nossas escolas.

É evidente a problemática quanto ao currículo no ensino da Física Moderna no ensino médio e o mesmo necessita de uma revisão, que como já citado por OLIVEIRA, VIANNA, GERBASSI (2007), a lacuna provocada por um currículo de física desatualizado resulta numa prática pedagógica desvinculada e descontextualizada da realidade do aluno.

Com a tecnologia que hoje encontra-se inserida em nossa sociedade e nas escolas, é possível inovar e modificar a nossa prática pedagógica. Por meio dos recursos tecnológicos, temos uma gama de ferramentas disponíveis que podem auxiliar na prática docente em todas as áreas do conhecimento, inclusive nas disciplinas de Física e Química. Esses recursos ajudam o professor a trazer essa abordagem da Física Moderna para os alunos.

A inserção de recursos tecnológicos na prática docente pode trazer grandes resultados no processo ensino-aprendizagem, inclusive essa inserção serve como motivação para que o aluno se aprofunde nos estudos e na pesquisa. Como já afirmava Levy (1995), a informática é

um campo de novas tecnologias intelectuais, aberto, conflituoso e, parcialmente, indeterminado. É de extrema importância que a escola e professores reflitam sobre as mudanças educacionais que a inserção das tecnologias pode trazer para o processo ensino-aprendizagem.

Foi a partir dessa reflexão da inserção dos recursos tecnológicos, juntamente com o fato de ainda possuímos um currículo defasado nas disciplinas de Física e Química e professores sem formação continuada e adequada atuando nessas disciplinas, que surgiu a necessidade da produção de um material educacional que pudesse ser utilizado por esses professores como um material paradidático e que possa integrar a utilização de recursos tecnológicos como o computador, *smarthphones*, *tablets* que estão disponíveis para a sociedade em geral e já inseridos nas escolas.

A partir da pesquisa realizada e da análise dos resultados, chegou-se a conclusão quanto ao material mais adequado que pudesse tratar da mecânica quântica por meio de uma abordagem histórico-conceitual e assim, disponibilizar para os professores e alunos das escolas públicas um material paradidático acessível e de fácil compreensão.

O *e-book* traz além da abordagem histórico-conceitual a possibilidade do uso de recursos tecnológicos como computador, *smarthphones*, *tablets* para acessar recursos áudio-visuais e simulações o que motivam o aluno e também o professor. Silva (2013) destaca que o momento em que o professor percebe que seus alunos estão mais motivados em aprender é quando ele faz uso dos recursos tecnológicos em suas aulas; o professor começa a compreender que sua prática ganha mais importância quando possibilita a conquista da autonomia, então seu papel ultrapassa os limites de mero reproduzidor de conhecimentos para produtor do saber.

Nos momentos da aplicação do produto educacional, foi visível toda essa motivação por parte dos alunos em conseguir estudar em grupo, como relataram, e entender o conceito sem toda a matemática os motivando a buscarem mais. O que muitos alunos também relataram em sala, foi a possibilidade de interação com os celulares e demais recursos tecnológicos com os simuladores e vídeos que constam no *e-book*. Tais recursos ajudaram os alunos a entender melhor fenômenos e temas abordados no *e-book*.

De acordo com o relato dos alunos, eles não imaginavam que conteúdos de Química fosse em boa parte conteúdos da Mecânica Quântica, o que acabou surpreendendo as turmas de 2ª série e 3ª série, que viram modelos atômicos, mas não com a mesma abordagem que o

e-book trouxe para eles. A possibilidade de trazer a Física Moderna por meio da Mecânica Quântica ao Ensino Médio através de um *e-book* e com uma abordagem mais conceitual e sem matemática, foi com certeza um dos pontos fortes para os alunos.

Outro ponto a ser destacado, é avaliação dos professores que mesmo muitos não sendo da área, relataram a facilidade na compreensão, inclusive devido a linguagem ser mais acessível e sem a “matematização” dos conceitos que possibilita o uso do *e-book* até mesmo em turmas de 9º ano do ensino fundamental. Naturalmente que a proposta havia sido feita para o Ensino Médio e como tal, foi aplicada a turmas do ensino médio, porém se houvesse um tempo maior para aplicação poderia se estudar a possibilidade para aplicação a ultima turma do ensino fundamental.

Assim, o tempo foi uma das limitações no decorrer da aplicação do produto educacional junto ao Ensino Médio. Tendo apenas duas aulas na semana, houve a necessidade de utilizar aulas da disciplina de Química no final da aplicação para obtenção de um melhor resultado e análise. Como sabemos, as escolas públicas têm várias atividades extraclasse no decorrer dos bimestres, o que também limitava o tempo de aplicação. Principalmente com a última determinação do Governo do Estado em reduzir o tempo de aula do ensino médio noturno e alterando os horários de início das aulas das 19:00h para as 18:30h. Tal mudança refletiu de forma negativa na E.E.B. Frei Rogério, pois a maioria dos alunos do Ensino Médio no período noturno, trabalham no período do dia, conseqüentemente a maioria dos alunos acabavam por perder a primeira aula, chegando somente para a segunda aula.

Outro fator a ser relatado foi a falta da infraestrutura da sala de informática da E.E.B. Frei Rogério; em muitos momentos não havia conexão da internet por problemas técnicos na escola e até mesmo os computadores da sala de informática encontravam-se desconectados e com problemas de ordem técnica. Devido a isso perdia-se tempo até conseguir organizar e reconectar os computadores à internet.

Vale citar que no início da aplicação do produto educacional, houve resistência por parte dos alunos em ter que fazer leitura e até mesmo estudar o material para apresentação, o que se constatou diante da aplicação do questionário realizado como ferramenta para pesquisa junto às escolas da região.

A aplicação do material também demonstrou a facilidade que o aluno hoje tem em interagir com toda a tecnologia, porém sem uma orientação os alunos acabam se dispersando no uso dos recursos tecnológicos.

Diante das orientações que eram dadas aos alunos os mesmos conseguiram manter o foco no trabalho e também nas pesquisas, onde foi salientado que se os mesmos quisessem pesquisar mais sobre um determinado tema abordado no material, poderiam recorrer as publicações científicas hospedadas em revistas digitais e repositórios das universidades federais. Nesse momento foi repassado sites de repositórios de várias universidades e também de algumas revistas digitais.

O que chamou a atenção foi que muitos alunos perguntavam se nos repositórios eles poderiam encontrar assuntos que não fossem ligados somente a Física e a Química, citando alguns temas de outras disciplinas que os mesmos estavam estudando. Após a confirmação, era visível a motivação deles em poder ter sites de referencia para suas pesquisas escolares.

Mesmo não havendo tempo hábil para aplicação total do produto educacional, os resultados se mostraram favoráveis quanto a apresentação da Mecânica Quântica por meio de uma abordagem histórico-conceitual, o que motivou alunos e mesmo professores a usarem o *e-book* como um material paradidático.

Diante dessa motivação, principalmente dos professores, há perspectivas de melhoria em sua eficiência após as devidas adequações do material para a realidade do aluno e também uma capacitação aos professores para aplicar o *e-book* em sua prática pedagógica juntamente com a inserção dos recursos tecnológicos.

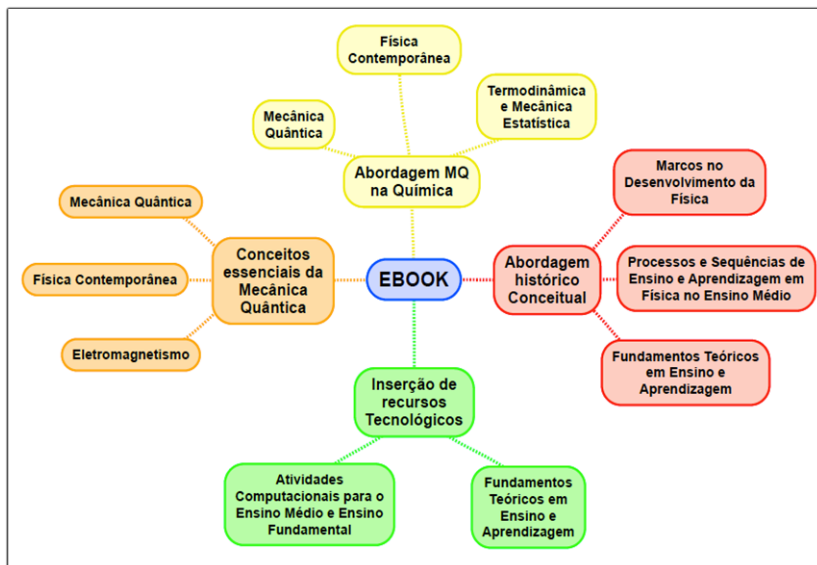


Figura 46 - O diagrama acima destaca a importância das disciplinas e o embasamento teórico repassado para a produção do *e-book*.

A produção do *e-book* como material paradidático, só pode ser realizado devido a todo o embasamento teórico das disciplinas que tivemos no período de aulas do mestrado profissional, junto com uma equipe de professores extremamente qualificados. A importância das disciplinas vai além da produção do material; elas foram fundamentais em minha formação como um agente promotor da aprendizagem de conteúdos e conceitos de Física Moderna no ensino básico.

Capítulo 6

Referencias bibliográficas.

ALMEIDA, Maria José P. M. de; SORPRESO, Thirza Pavan; **Dispositivo analítico para compreensão da leitura de diferentes tipos textuais: exemplos referentes à Física**. Pro-Posições, Campinas, v. 22, n. 1, p. 83-95, jan./abr. 2011.

BERGMANN, Jonathan; SAMS, Aaron; **Sala de aula invertida: uma metodologia ativa de aprendizagem**; tradução Afonso Celso da Cunha Serra. 1ªed. – Rio de Janeiro: LTC, 2016.

BRASIL, IBGE, Biblioteca do IBGE – Histórico de Ponte Alta do Norte. Disponível no site:
<http://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=264529>

BRASIL, MEC; Diretrizes Curriculares Nacionais Gerais da Educação, ano 2013. Disponível no site:
http://portal.mec.gov.br/index.php?option=com_docman&view=download&alias=13448-diretrizes-curriculares-nacionais-2013-pdf&Itemid=30192

BRASIL, MEC; Lei de Diretrizes e Bases da Educação n 9394 de 20 de Dezembro de 1996. Disponível no site:
www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L9394.htm

BRASIL, MEC; **Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais**, Brasília. Disponível no site:
<http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/CienciasNatureza.pdf>

BRASIL, MEC; **Parametros Curriculares Nacionais do Ensino Médio**, Brasília. Disponível no site:
<http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/ciencian.pdf>

FORATO, Thaís Cyrino de Mello; PIETROCOLA, Maurício; MARTINS, Roberto de Andrade; **Historiografia e Natureza da Ciência na Sala de Aula**, Caderno Brasileiro do Ensino de Física, v.28, abril 2011.

FRENCH, Steven. **Ciência: conceitos-chave em filosofia**. Trad.: André Klaudat. Porto Alegre: Artmed, 2009,

GAIA, Silvia, CESÁRIO, Marilene, **Formação Profissional E Pessoal: A Trajetória De Vida De Shulman E Suas Contribuições Para O Campo Educacional**, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Universidade Estadual de Londrina, Revista Eletrônica de Educação, v. 1, n. 1, set. 2007.

IENNACO, Juliana de Paula; **Tecnologias na Educação: a importância das novas mídias na formação do professor e seus desdobramentos no universo escolar**; artigo publicado em 02 de dezembro de 2009. Disponível em:

<http://www.webartigos.com/artigos/tecnologias-na-educacao-a-importancia-das-novas-midias-na-formacao-do-professor-e-seus-desdobramentos-no-universo-escolar/29155/#ixzz4IVTljznM>

LANDAU, L.D.; KITAIGORODSKI, A.I.; **Física para todos: Livro 1 – Cuerpos Físicos, Livro 2 – Moléculas, Livro 3 – Electrones e Livro 4 – Fotonos y Nucleos**. Traducido del ruso por Emiliano Aparicio Bernardo. Editorial Mir Moscú, Impreso en la URSS, 1977.

MARCON, Daniel, Artigo: **Reflexões sobre o processo de Construção do Conhecimento Pedagógico do Conteúdo de Futuros Professores**. Universidade Federal de Santa Catarina, Maio 2010. acessado em maio/2017, disponível em:

http://www.ucs.br/ucs/tplcinfe/eventos/cinfe/artigos/artigos/arquivos/eixo_tematico5/Reflexoes%20sobre%20o%20Processo%20de%20Construcao%20do%20Conhecimento%20Pedagogico.pdf

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, v. 29, n. 3, p. 447-454, (2007). Disponível: www.sbfisica.org.br

SANTOS, Brenno Peixoto dos, **TCC – Um Estudo da Ligação Metálica nas abordagens Clássica e Quântica**, Instituto de Química – Universidade de Brasília, 2011.

SILVA, Edna Lúcia da; MENEZES, Estera Muszkat; **Metodologia da Pesquisa e Elaboração de Dissertação**; 3ª edição. UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 2001.

SILVA, Luciene Amaral da; **O uso pedagógico de mídias na Escola: Práticas inovadoras**; volume 1, nº1, publicado 1º semestre de 2013. Revista Eletrônica de Educação de Alagoas.

SILVÉRIO, Antonio dos Santos, ZIMMERMANN, Prof^{ra}. Dra. Erika, **Monografia: As dificuldades no Ensino/Aprendizagem de Física**, UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Física, Florianópolis, 2001.

TOMAZELLI, J. L.; DE CAMPOS, F.; TEIXEIRA, O. P. B. **La Enseñanza de Contenidos de Física através de Textos Paradidáticos**. In: Vi Congreso Internacional sobre Investigación en la Didáctica de las Ciencias, 2001, Barcelona, Espanha. Enseñanza de las Ciencias. Barcelona, Espanha: ICE de la Universitat Autònoma de Barcelona, 2001. v. 2. p. 212-212.

Apêndice A

Produto Educacional - E-book.

MNPEF - MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL NO ENSINO DE FÍSICA
UFSC - UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

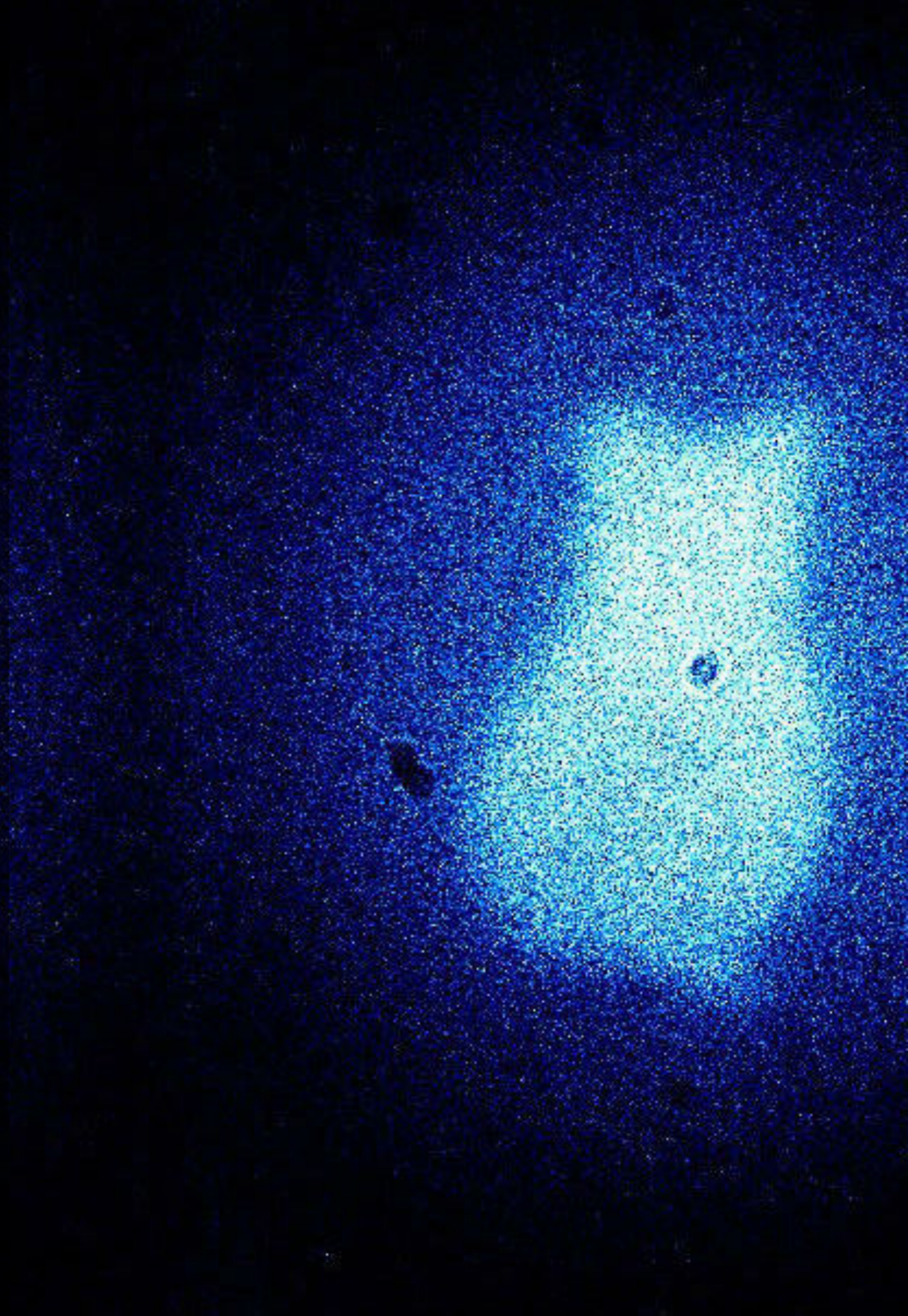
Mecânica Quântica aplicada ao ensino de Química: da Atomística as ligações Químicas

**Abordagem Histórico-
conceitual para o Ensino
Médio**

PREFÁCIO

**Mecânica Quântica
aplicada ao ensino de
Química: da Atomística a
Ligações Químicas.**

**Abordagem Histórico-
conceitual para o Ensino
Médio.**



PREFÁCIO

EBOOK

1. O *ebook* pode ser visualizado em um computador, *smartphone* e/ou *tablet*.
2. É de *extrema Importância* que o professor faça a leitura do Prefácio para uma melhor compreensão de como usar o material, para que assim possa orientar os alunos da melhor forma possível em como utilizar o *ebook* e qual programa se utilizar, para leitura do mesmo.

(Caro **professor**).

O Material ora apresentado, foi elaborado para ajudar os **professores** no repasse de conceitos da Mecânica Quântica (MQ), de uma forma mais teórica, histórica e conceitual facilitando assim o entendimento tanto por parte do **professor**, como por parte do **aluno**.

O presente *ebook*, tem como finalidade trazer a importância da mecânica quântica dentro da atomística até as Ligações Químicas.

Por meio desse material, dar a possibilidade do **professor** estar explorando as mídias informática e internet em suas aulas por meio simulações e pesquisas mais aprofundadas com relação aos assuntos abordados no *ebook*. O material por ser digital tem como objetivo primordial a facilidade de distribuição entre **professores** e **alunos**.

Como o mesmo possui junto ao texto, conteúdo audiovisual, acaba por ser tornar um material mais atrativo aos olhos dos **alunos**, que em seu dia-a-dia, possui essa interatividade junto a internet e videos em redes sociais e canais no *Youtube*.

No *ebook* é abordado conceitos de espectroscopia da luz e a polarização da luz, conceitos esses da Física Clássica, porém são os que constituem o alicerce de todos os princípios da mecânica quântica. Inclusive, foi através da espectroscopia e da Série de Balmer que Bohr propôs o seu modelo atômico.

Mesmo diante de toda a importância da Mecânica Quântica nas disciplinas de Física e principalmente em Química, a mesma não é abordada no Ensino Médio como deveria.

Ao analisar vários livros de Química do Ensino Médio, observa-se que o modelo atômico de Bohr é o último modelo visto dentro da atomística. Sendo que dentro do modelo de Bohr, o mesmo é abordado de forma que não demonstra a MQ, nem mesmo seus princípios mais básicos presente no modelo supracitado.

Muitos dos livros didáticos que hoje são utilizados nas Escolas, dentro da disciplina de Química, não trazem nem mesmo o conceito de números quânticos para ser repassado aos **alunos**. Sabe-se que conceitos dentro da área da Química, como ligações químicas, forças moleculares, hibridização do carbono, são conceitos químicos baseados na MQ, e ao analisar tais livros, podemos perceber que não é dada a devida importância à Física Moderna, dentro da disciplina de Química, como ela merece.

O presente material pode/deve ser usado para se explicar a evolução dos modelos atômicos em Química. Conteúdo esse, que é abordado nas primeiras séries do Ensino Médio.

A evolução dos modelos atômicos também é trabalhado em Física, mas apenas como último assunto no Terceiro ano do Ensino Médio, após Eletromagnetismo, no qual o material também pode/deve ser usado para explicação dando enfoque a Mecânica Quântica.

A principal proposta do material é que se trabalhe de maneira interdisciplinar. Onde os **professores** de Física e Química, possam trabalhar juntos.

Como em várias escolas do Estado de Santa Catarina, **professor** de Física acaba também assumindo aulas de Química devido a carga horária, e assim, o mesmo pode trabalhar com o material nas duas disciplinas.

Vale ressaltar que caberá ao **professor**, trabalhar conceitos de Ondulatória antes da abordagem com o material.

Pois como sabe-se, o elétron se comporta em determinados momentos como uma partícula e em outros como onda.

Dessa forma, conceitos de ondulatória se fazem necessários para uma melhor abordagem do material.

Naturalmente, que o trabalho interdisciplinar entre as disciplinas de Física e Química, torna essa tarefa muito mais fácil, pois, o **professor** de Física pode/deve trabalhar conceitos de Ondulatória na primeira série do Ensino Médio sem grandes dificuldades.

Os **alunos** de primeira série terão uma facilidade em absorver a ondulatória, até mesmo melhor que a própria cinemática. Vale lembrar ao **professor** de Física, que conceitos de velocidade podem ser trabalhados em tópicos da ondulatória também, sem se distanciar do seu plano anual ou curricular.

O que vale lembrar nesse ponto, que tal interdisciplinaridade deve ser planejada no início do ano para que se conste nos planos anuais de cada disciplina e dessa forma reorganizando o conteúdo programático.

O material traz em seu corpo, parte que compete ao **professor** e ao **aluno**, para que assim fique melhor ilustrado, tanto para o **professor** dar sequência, como para a leitura do **aluno**.

Por ser um **ebook**, o material traz simulações as quais podem ser utilizadas pelos **alunos** e **professores** em sala de aula, e para melhor compreensão de tópicos que são abordados dentro da MQ.

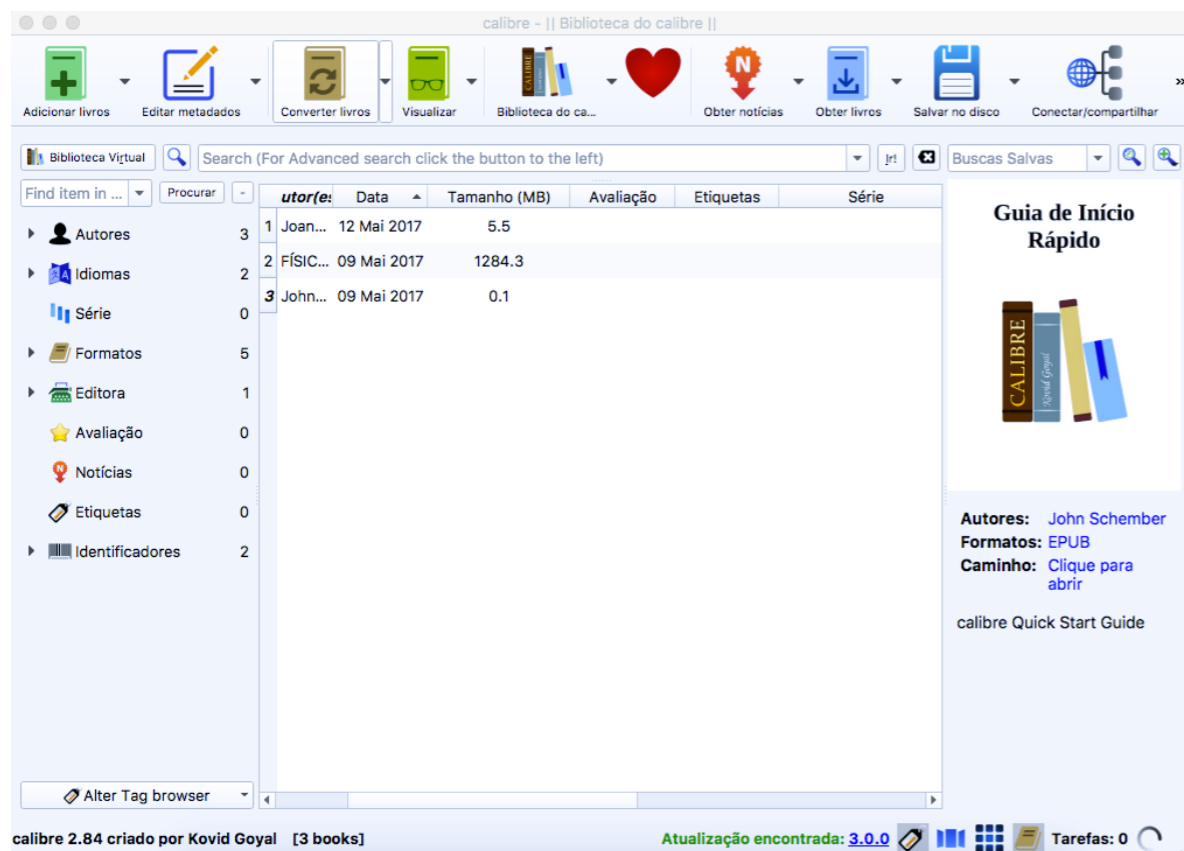
Além das simulações, tem vídeos que ajudam na compreensão dos vários tópicos inseridos no ebook.

Os vídeos podem ser usados pelos **professores**, como uma forma de introdução de um determinado assunto em questão, ou até mesmo como um fechamento.

Para a leitura do ebook e estudo, o **professor** e/ou **aluno** pode fazer uso de computador ou celular em sala de aula ou em casa. Para isso, basta ter no computador o programa **calibre**, o qual é disponibilizado gratuitamente para as plataformas: Windows, MacOS, Linux e inclusive para dispositivos portáteis (Exemplo: *pendrive*) para levar o programa para onde quiser.

O mesmo pode ser feito o download no link:

<https://calibre-ebook.com/download>



Layout do software Calibre

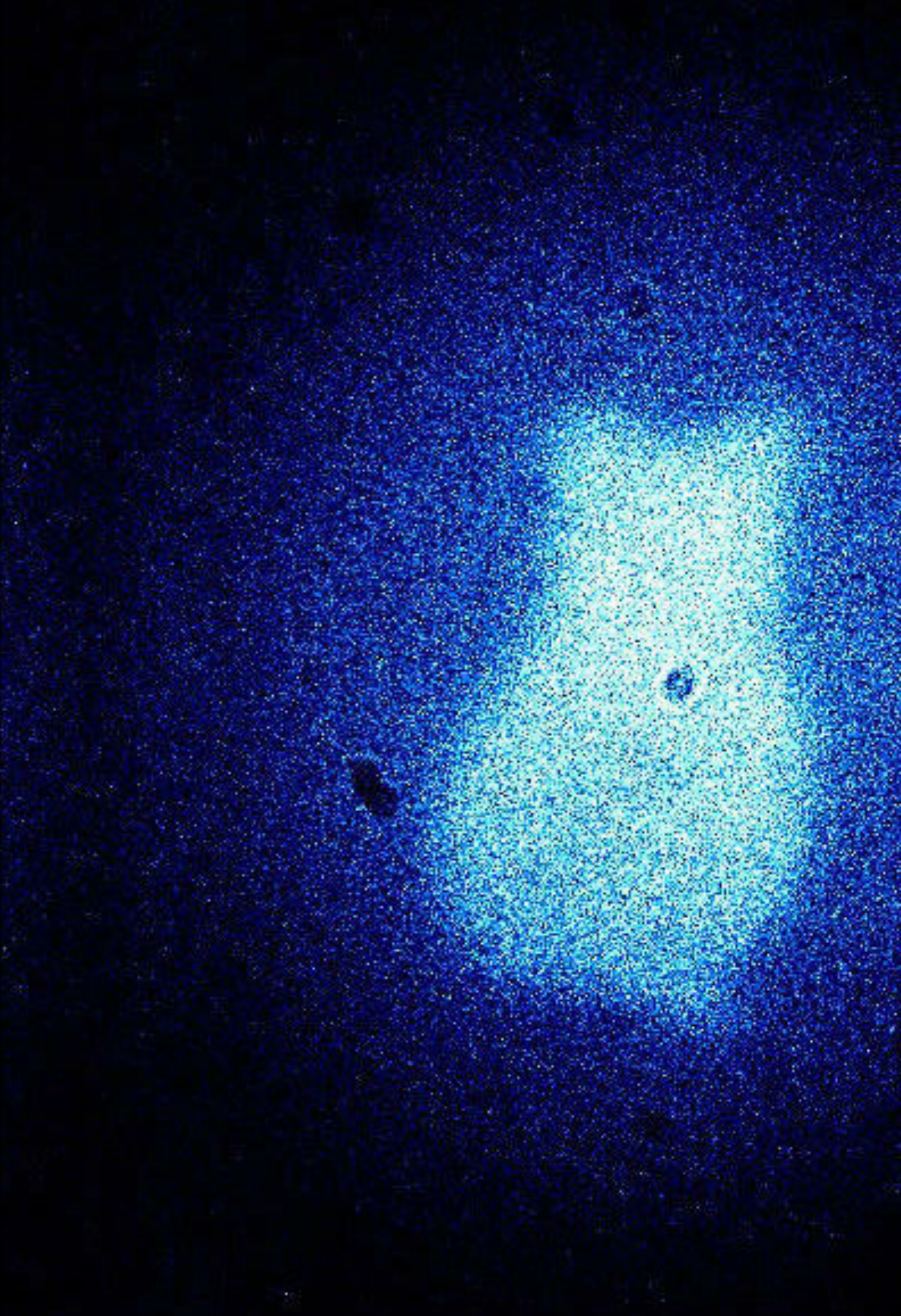
Vale lembrar que nos celulares, como os mesmos possuem uma memória menor que os computadores, recomenda-se que o arquivo do *ebook* seja convertido para a extensão PDF, tal conversão pode ser realizada no próprio software **calibre**.

O calibre da além da opção de leitura do ebook, traz também a possibilidade de converter o material para vários formatos, desde PDF até extensões conhecidas como *DOCX (Microsoft Word)*.

Assim, o **professor** pode realizar as conversões que achar melhor para o seu trabalho em sala e para sua leitura.

Com o presente material, o professor poderá adequar sua metodologia da melhor forma possível, utilizando-se das mídias como informática, internet e video na elucidação dos conceitos de MQ aplicadas ao ensino da Química no Ensino Médio.

INTRODUÇÃO



INTRODUÇÃO

Introdução - Documentário Além do Cosmo - Mecânica Quântica.



O Documentário Além do Cosmo é uma série produzida pelo canal National Geographic. Disponível no site Youtube:

<https://www.youtube.com/watch?v=dDIKgBI5Ft8>

(Professor e aluno)

Antigamente se pensava que o movimento dos átomos e das partículas subatômicas pudesse ser expresso mediante as leis da Mecânica Clássica, as leis do movimento expostas no século XVII por Isaac Newton, pois essas leis tiveram grande sucesso na explicação dos movimentos dos objetos do dia a dia e dos planetas. A partir do final do século XIX, porém, acumularam-se indícios experimentais que mostravam as falhas da mecânica clássica quando ela era aplicada ao movimento de partículas tão pequenas quanto os elétrons. Foi necessária toda uma evolução, até a década de 1920, para se formularem conceitos e equações apropriadas para a descrição daqueles movimentos.

Sabe-se que, na física clássica, é possível prever a trajetória exata das partículas e especificar as posições e os momentos a cada instante, e também é possível excitar os modos dos movimentos de translação, de rotação e de vibração para qualquer valor de energia pelo simples controle das forças aplicadas. Isso em se tratando de experiências cotidianas, porém, isso não se estende a átomos isolados.

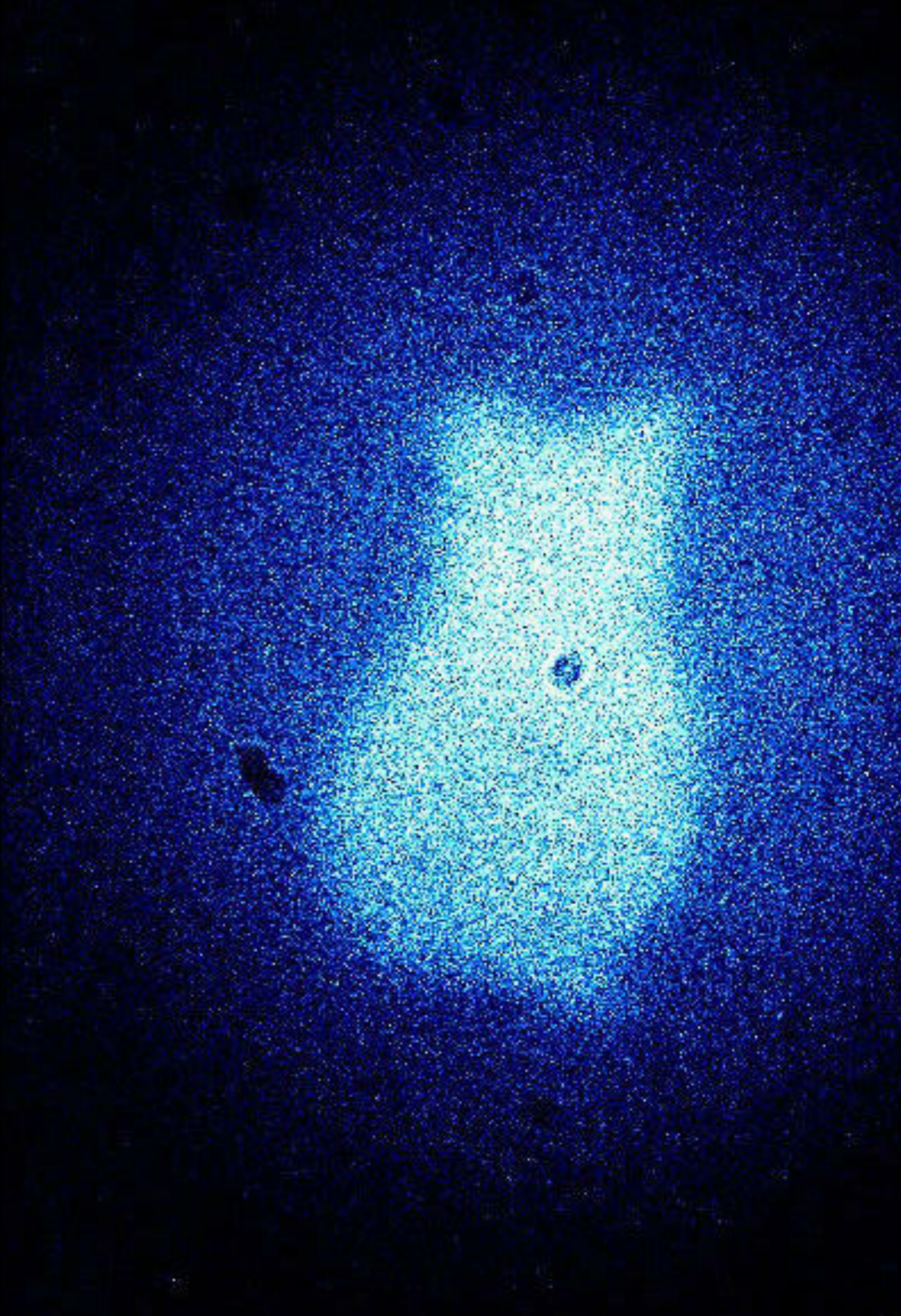
O impacto da mecânica Quântica sobre o conjunto da Física e da Química foi tremendo. É a teoria mais ampla de que dispomos. Em 1900 Planck descobriu a sua fórmula, e tudo começou daí, passando por inúmeros desenvolvimentos e adquirindo importância fundamental em todos os campos.

(Caro **Professor**)

No video ao lado, na introdução, nos traz o documentário “Além do Cosmos”, o qual nos dá um apanhado geral sobre a Mecânica Quântica, trazendo várias idéias que estão sendo abordadas no *ebook*.

Recomenda-se ao **professor**, que volte em vários momentos no video, a medida que vai avançando nos conceitos dentro do *ebook*, para assim, ajudar a elucidar duvidas que venham a surgir.

Física Clássica e as bases para Mecânica Quântica.



Isaac Newton e suas contribuições

FÍSICA

“A matemática é o alfabeto com qual, Deus escreveu o universo.”

Galileu Galilei

A luz é uma onda eletromagnética. Estendendo-se além do espectro familiar da luz visível, perturbações eletromagnéticas vão desde ondas de rádio aos raios gama. Hoje, compreendido como um fenômeno que unifica a eletricidade e o magnetismo, o eletromagnetismo é uma das quatro forças fundamentais. Sua essência foi o estímulo tanto para a relatividade quanto para a física quântica.

(Ao **professor**)

Sabe-se da importância da Matemática para o estudo da Física, porém, é necessário saber interpretar os fenômenos naturais adequadamente de forma qualitativa para então se entender o que a matemática esta expondo dentro da Física. Pode-se dizer que sem o embasamento teórico e conceitual necessário, somente a matemática não pode dar conta da explicação do fenômeno físico e/ou químico.

A partir de Galileu que a Matemática começou a aparecer como uma ferramenta da Física, pois para Galileu, Deus usou a matemática para criar o Universo.

Inclusive, hoje, a Física como se conhece surgiu com Newton. Isaac Newton criou um calculo para o estudo da Física. Newton além de tentar descrever a natureza, ele cria uma ferramenta para descrever as leis que regem os fenômenos naturais.

ISAAC NEWTON (professor e aluno)

Newton pode ser considerado o cérebro mais refinado que a humanidade já produziu. Sua obra apresenta um grande avanço do nosso pensamento. A descoberta da gravitação universal era uma das maiores descobertas importantes de Isaac Newton. Ele trouxe o conceito de força, criou o cálculo, estudou a

natureza da luz. Enfim, Newton deu para a humanidade as bases da física e da matemática em sua grande obra PRINCIPIA MATHEMATICA.

Newton aprendeu com Descartes que se um problema parece ser complicado demais, a melhor forma de resolvê-lo é decompô-lo em problemas menores e resolver um por um. É esse o princípio fundamental do cálculo: decompor um problema dinâmico em um enorme número de degraus e, em seguida, sobre os degraus um problema de fácil resolução. Para que possa ter uma precisão no resultado final é preciso pegar o maior número de degraus.

Assim, ele cria o cálculo diferencial e integral (no início de seu trabalho, ele chamava de fluxões, como hoje conhecemos como cálculo). Para ele, foi a maneira pela qual ele conseguia ver o mundo dinâmico. Essa era uma nova ferramenta matemática e mais poderosa do que ser tratado em problemas de taxa de variações infinitesimais, em taxas de movimentos e, também, na determinação de trajetórias de um corpo no espaço.

Pode-se dizer que o cálculo diferencial e integral, foi a maior contribuição que Newton deixou para a Física como a qual conhecemos hoje. Mas Isaac Newton deixou muito mais do que isso.

O estudo da Física Quântica se baseia principalmente dentro da polarização da luz, a qual surgiu com as descobertas de Isaac Newton.

A deflexão da luz por um prisma (professor e aluno)

Em 1672 Newton apresentou seu conceito de que a luz é “uma mistura heterogênea de raios com diferentes refrangibilidades” – cada cor correspondendo a uma diferente refrangibilidade. Apresentou também vários experimentos para corroborar sua teoria. No primeiro, um feixe de luz solar passava através de um prisma, formando uma mancha em uma parede. Newton notou que a mancha não era circular como o disco solar – ela era alongada. Para explicar este efeito, assumiu que a luz branca do Sol era composta de muitos raios diferentes. Cada tipo de raio seria refratado em uma direção diferente e seria associado a uma cor diferente: “os Raios menos refrangíveis são dispostos a exibir a cor Vermelha, e [...] os Raios mais refrangíveis são todos dispostos a exibir uma Cor Violeta profunda” (Newton, 1672a, p. 321).

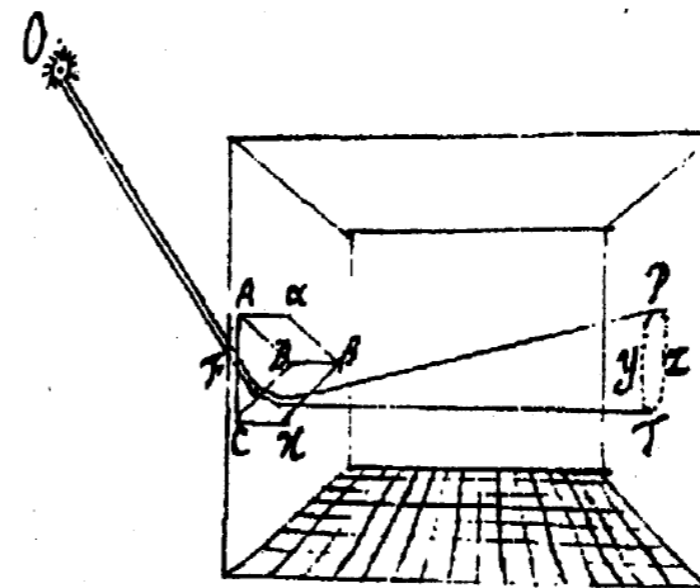


Fig. 1 - O esquema de Newton para o primeiro experimento de seu artigo de 1672.

Dessa forma ele conseguiu mostrar a separação das cores que compõem a luz branca. Ele mostrou também que era possível recompor a luz policromática original. Sendo que para a recomposição, ele fez uso da combinação de dois prismas, onde colocou o segundo prisma em posição invertida em relação ao primeiro.

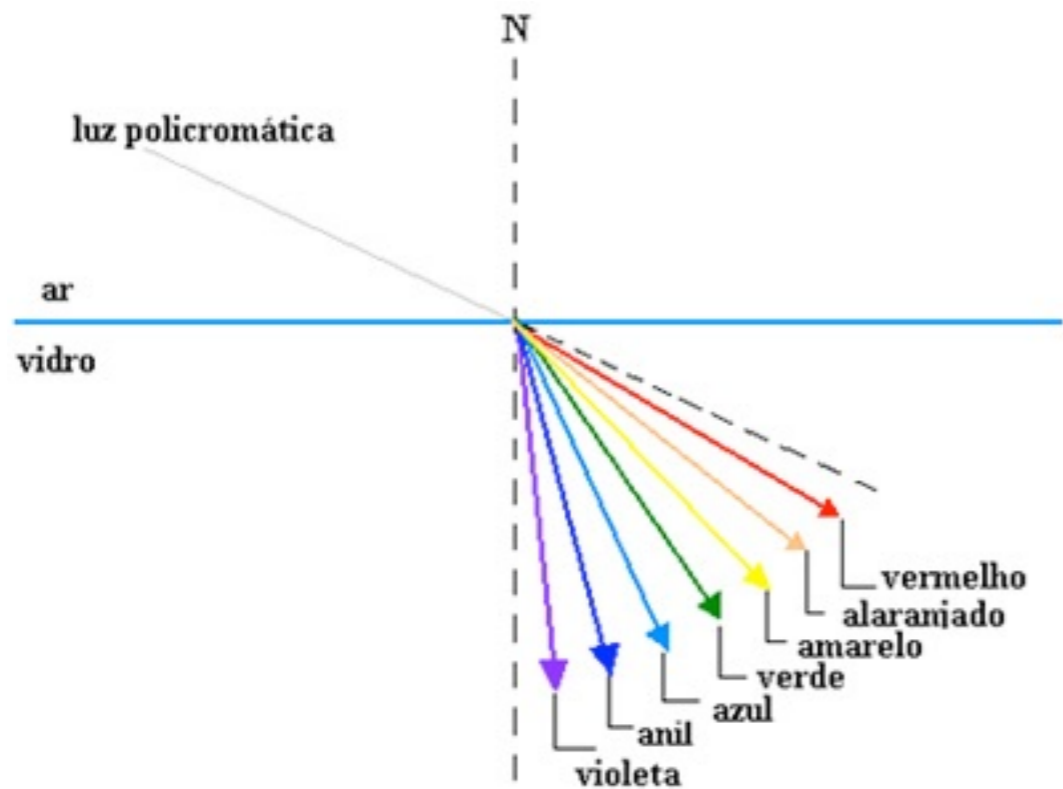
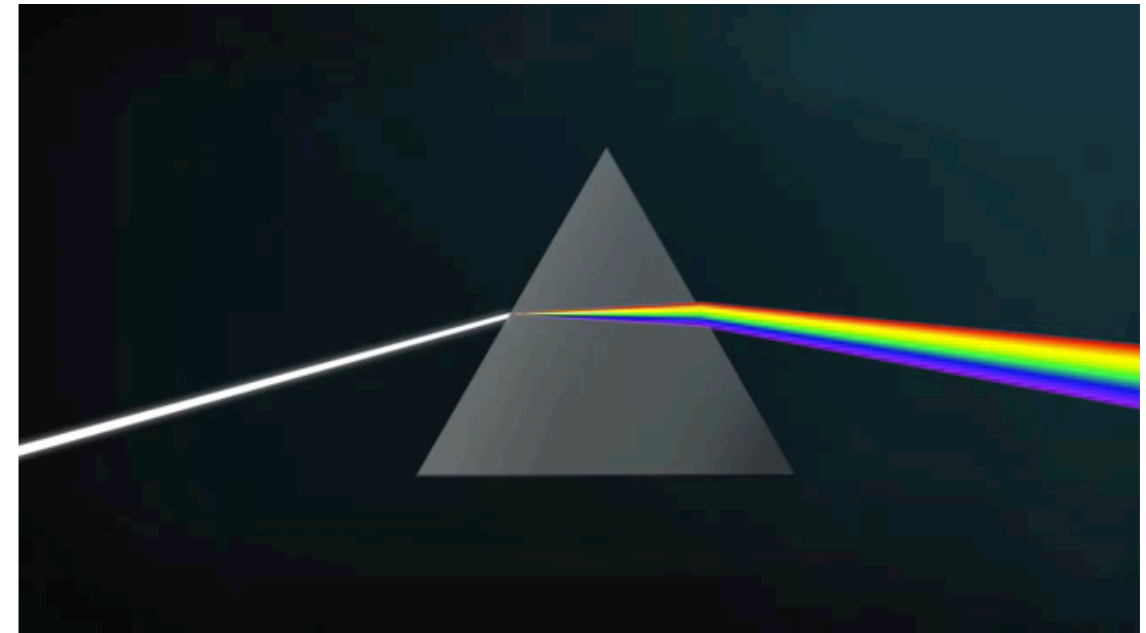


Figura 2 - Decomposição da Luz policromática.

Video sobre a decomposição da luz branca por um prisma (em inglês)



O video acima ilustra a partir das frentes de ondas de cada cor como ocorre a decomposição da luz branca devido aos diferentes comprimentos de onda.

O mesmo também esta disponível no site youtube:

<https://www.youtube.com/watch?v=Aggi0g67uXM>

Caro **professor**.

O video acima, mesmo em inglês, é de fácil compreensão quanto a dispersão e refração das diferentes frequências de luz. Porém, o professor pode juntamente com o professor de inglês, trabalhar a

possível tradução do audio de forma interdisciplinar, o que pode vir a contribuir para que os alunos aprendam a escutar melhor diálogos em inglês, colaborando assim com seus estudos, também em língua estrangeira.

Espectroscopia

Isaac Newton demonstrou, em 1665-66, que a luz branca, como a luz do Sol, ao passar por um prisma, se decompõe em luz de diferentes cores, formando um espectro como o arco-íris.

ESPECTROSCOPIA

(Professor e Aluno)

Ao passarmos a luz por um prisma ou uma rede de difração ela se decompõe nos diferentes comprimentos de onda, formando um arranjo de cores chamado espectro. Um espectro bem conhecido é o arco-íris formado quando a luz do sol atravessa gotas de chuva.

No início do século 19, o alemão Joseph Von Fraunhofer, que fabricava instrumentos de vidro (lentes, prismas, microscópios e telescópios), observou que o espectro do Sol apresentava um grande número de linhas escuras sobre ele. (Mais tarde essas linhas passaram a ser chamadas de linhas de Fraunhofer). Fraunhofer classificou 324 dessas linhas, identificando as linhas mais fortes com letras maiúsculas de A a K (na ordem de maior para menor comprimento de onda), e as mais fracas com letras minúsculas. Algumas foram identificadas como combinações de letras e números. Fraunhofer também observou linhas nos espectros das estrelas Sírius, Castor, Pollux, Capella, Betelgeuse e Procyon.

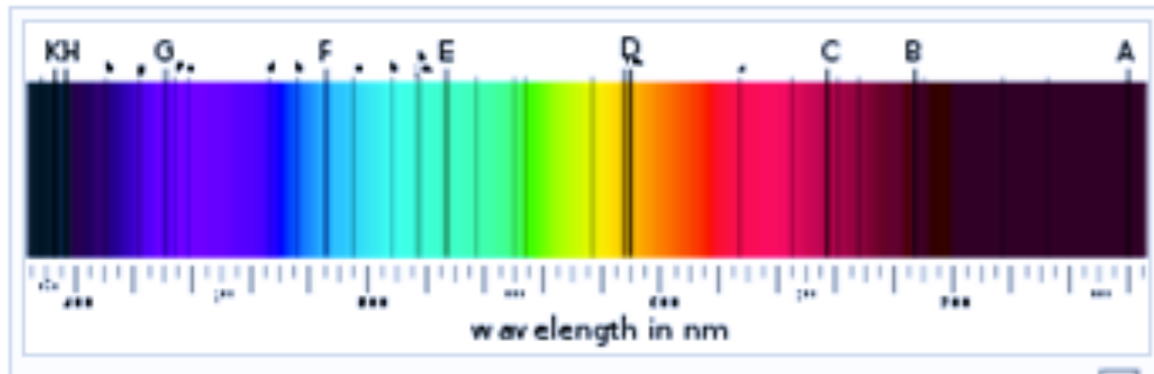


Figura 4 - Espectro solar com linhas escuras. Fonte: http://en.wikipedia.org/wiki/Fraunhofer_lines.

Curiosidade: *Fraunhofer utilizava as linhas do espectro solar para calibrar seus instrumentos (vidros e prismas), que eram os de melhor qualidade fabricados naquela época. Como pequenas variações na quantidade e mistura de quartzo (SiO_2), cal (CaO) e soda (carbonato de sódio, Na_2CO_3) que compõem o vidro (basicamente SiO_4) fazem que os prismas fabricados desloquem o comprimento de onda em diferentes ângulos, Fraunhofer usava as linhas do espectro solar para determinar as propriedades dos vidros. Apresentando seus resultados na Academia de Ciências da Bavária, foi eleito membro e ministrou aulas na Universidade da Bavária por muitos anos, apesar de não possuir educação formal.*



Figura 5- Bunsen & Kirchhoff

Em 1856, o químico alemão Robert Wilhelm Bunsen (1811- 1899) inventou o bico de gás (bico de Bunsen), que tinha chama incolor, de maneira que, quando um elemento químico era colocado sobre a chama, as cores emitidas eram as da substância, e não da chama. Bunsen e seu colaborador, o físico Gustav Robert Kirchhoff, observaram os espectros de diversos elementos colocados na chama e observaram que o espectro formado, não era contínuo, e sim constituído de séries de linhas brilhantes que variavam de elemento para elemento. Por exemplo, o neônio tinha linhas no vermelho, o sódio tinha linhas no amarelo e o mercúrio tinha linhas no amarelo e no verde.

Kirchhoff observou ainda que, passando a luz do Sol através de uma chama de sódio, as linhas D do Sol ficavam ainda mais fortes e escuras. Ele então substituiu o Sol por um sólido quente.

A luz do sólido que passava pela chama apresentava as mesmas linhas escuras do Sol, na posição das linhas do sódio. Ele então concluiu que o Sol era um gás ou sólido quente, envolto por um gás mais frio. Estas camadas mais frias é que produziam as linhas escuras do Sol. Comparando o espectro, ele descobriu linhas de Mg, Ca, Cr, Co, Zi, Ba e Ni no Sol.

Linha	λ (Å)	Elemento	Cor
A	7594	oxigênio	Vermelho
B	6867	oxigênio	
C	6563	hidrogênio, $H \alpha$	
D1	5896	sódio	Amarelo
D2	5890	sódio	
D3	5876	hélio	
E	5270	ferro e cálcio	
b1	5184	magnésio	
F	4861	hidrogênio, $H \beta$	Verde
G	4308	ferro (e cálcio)	Azul
H	3968	cálcio	
K	3934	cálcio	Violeta

Tabela 1: Linhas espectrais identificadas por Gustav Robert Kirchhoff

Caro professor.

Se em sua Escola, a mesma dispor de um laboratório que tenha bico de bunsen, é aconselhado que se utilize do mesmo e demonstre as diferentes cores que cada elemento produz quando exposto a chama do bico de bunsen.

Tal experimento virá a contribuir para melhor elucidação sobre as linhas espectrais e a própria espectroscopia.

De suas experiências, Kirchhoff formulou as três leis empíricas da espectroscopia, que definem os tipos básicos de espectros.

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

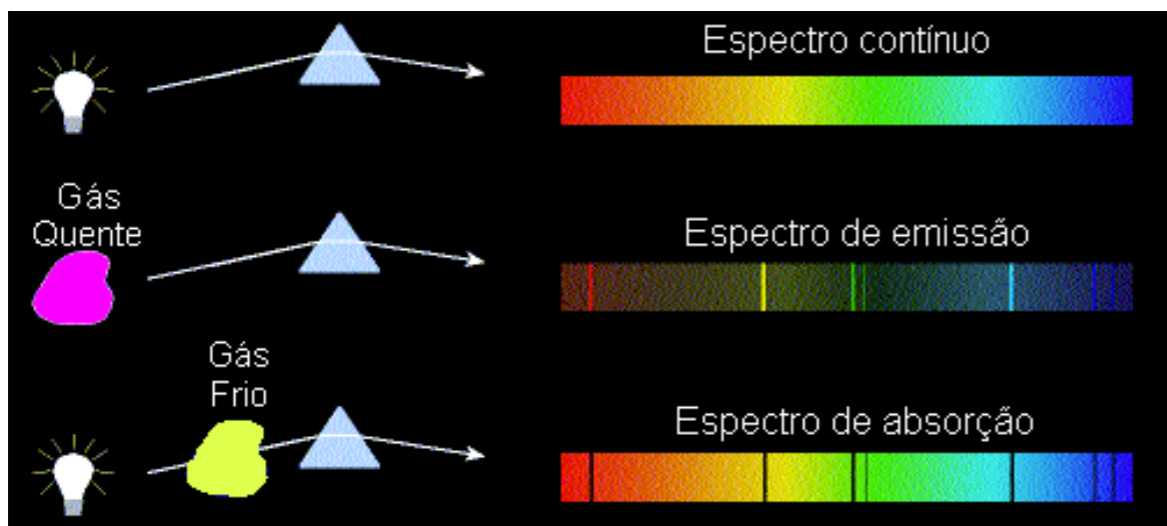


Figura 6: Os três tipos de espectros na classificação de Kirchhoff: o contínuo, o de emissão e o de absorção.

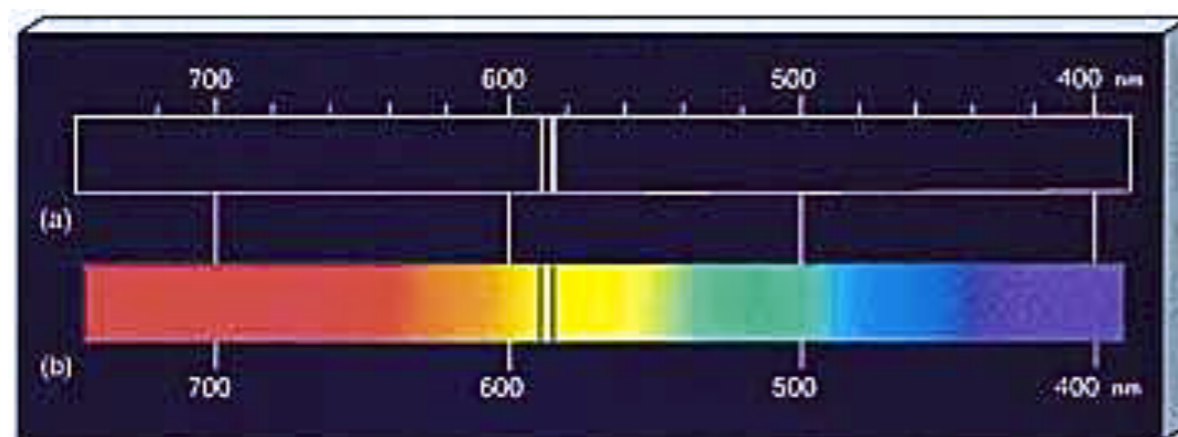


Figura 7: Espectro de emissão (em cima) e de absorção (em baixo) do mesmo gás. Note que as linhas em absorção estão nas mesmas posições em que aparecem em emissão.

É importante notar que as linhas de absorção produzidas por um gás estão nas mesmas posições das linhas de emissão que esse gás produz. As linhas de absorção são escuras não porque não

tenham luz nenhuma, mas sim porque são mais fracas do que o espectro contínuo circundante. Elas ficam mais fracas porque, embora o gás re-emita o mesmo comprimento de onda que absorveu do espectro contínuo, a re-emissão é feita em todas as direções, causando um decréscimo de fluxo que vem da fonte em nossa direção. Se o gás não re-emitisse a luz absorvida ele esquentaria.

A origem das linhas espectrais

(Professor e Aluno)

No início do século XX, os cientistas começaram a estabelecer as bases para a compreensão da formação dos espectros à medida que eles começaram a aprender mais sobre a estrutura dos átomos e a natureza da luz.

Em 1909, Rutherford, Geiger e Marsden, bombardeando folhas de ouro com partículas alfa (íons de hélio), verificaram que apenas 1 em cada 20.000 partículas incidentes eram refletidas na mesma direção de incidência, algumas poucas eram desviadas e a maioria passava a folha como se nada houvesse em seu caminho. Concluíram que os átomos são compostos de um pequeno núcleo, com carga elétrica positiva, rodeado por uma nuvem de elétrons, com carga elétrica negativa. Como esses elétrons não poderiam estar parados, pois eles cairiam em direção ao núcleo devido à atração coulombiana, Rutherford

propôs que eles estariam girando em torno do núcleo em órbitas circulares.

No entanto, isso não resolvia o problema da estabilidade do núcleo, pois cargas elétricas aceleradas emitem energia, e a perda de energia faria os elétrons espiralarem rapidamente em direção ao núcleo, emitindo radiação em todos os comprimentos de onda e tornando os átomos totalmente instáveis. Além da evidente contradição com o fato de que os átomos não são instáveis, também já era conhecido que, quando os átomos emitem radiação, eles o fazem somente em certos comprimentos de onda, e não em todos os comprimentos de onda. Isso gerou a suspeita de que as leis da mecânica clássica não se aplicavam totalmente a corpos microscópicos como os átomos e propiciou o surgimento da mecânica quântica.

Caro **professor**.

Dentro de espectroscopia, pode ser abordado o efeito Doppler com relação as ondas de luz.

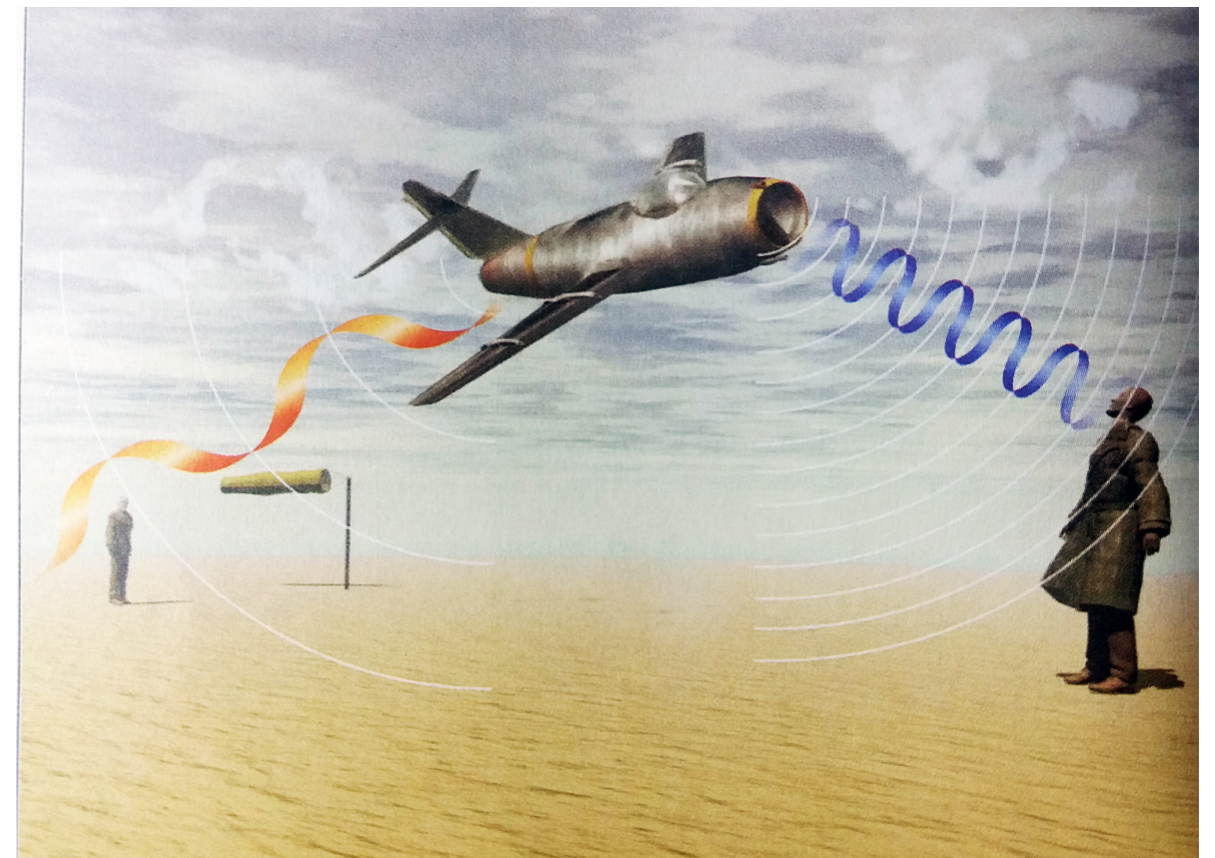
Efeito Doppler

A relação entre a velocidade e o comprimento de onda, o chamado efeito Doppler; constitui uma experiência diária.

Ouça um avião que passa sobre você; quando ele se aproxima, o som do motor é mais agudo e, quando ele se afasta, mais grave.

So mais agudo corresponde a ondas sonoras com comprimento de onda (a distancia entre a crista de uma onda e a próxima) mais curto e frequência (o número de ondas por segundo) mais alta.

Isso acontece por que, à medida que o avião segue sua direção ele fica mais próximo de você ao emitir a próxima crista de onda, reduzindo a distância entre as cristas.

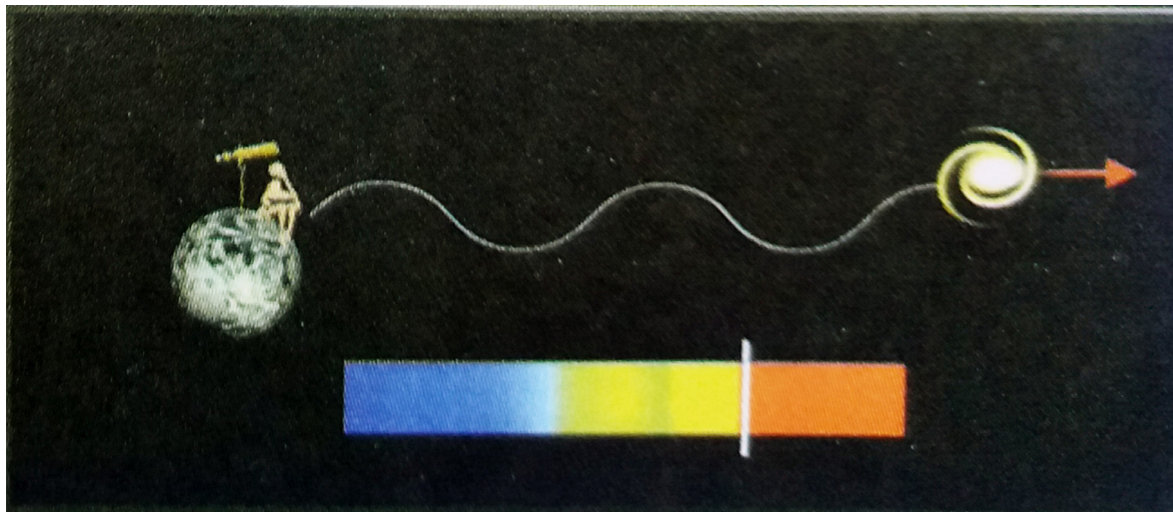


Efeito Doppler com ondas sonoras

De um modo semelhante, quando o avião se afasta, o comprimento de onda torna-se mais longo, e o som que você percebe é mais grave.

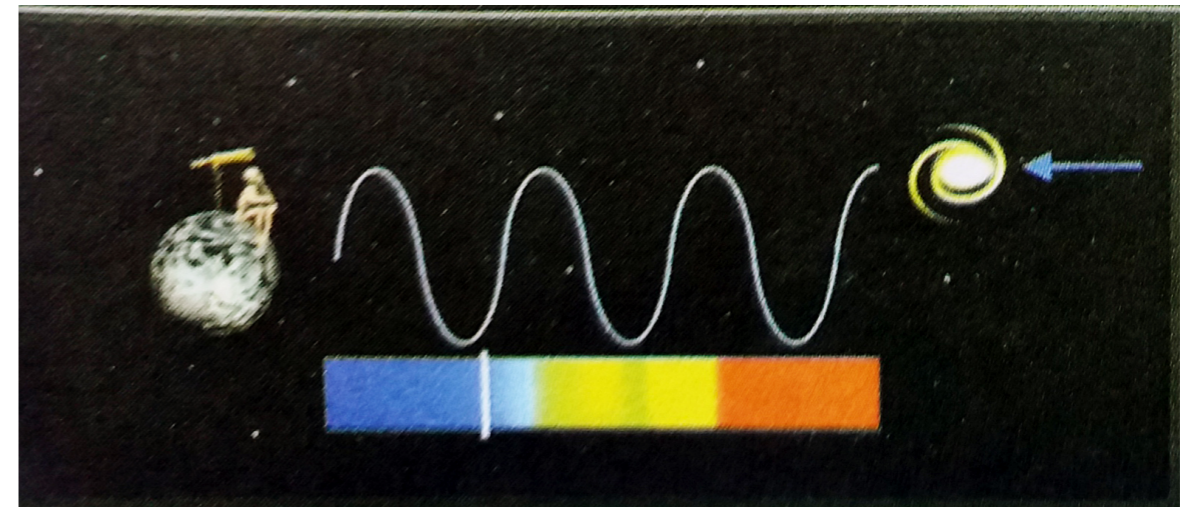
O efeito Doppler, não ocorre apenas nas ondas sonoras, mas também, com as ondas de luz.

Se uma galáxia permanecesse a uma distancia constante da terra, as linhas característica do espectro apareceriam na posição normal ou padrão. Entretanto se a galáxia estiver se afastando com relação a terra, as ondas aparecerão alongadas ou até mesmo esticadas, assim as linhas característica do espectro sofrerão um desvio para o vermelho, conhecido como *redshift*.



Redshift - galáxia afastando-se de um observador na terra.

Porém se a galáxia estiver se aproximando da terra, então as ondas parecerão estar comprimidas e as linhas do espectro sofrerão um desvio para o azul, conhecido como *blueshift*.



Blueshift - galáxia se aproximando do observador na terra.

O que pode observar é que no *redshift* - a medida que a galáxia se afasta - o comprimento de onda da luz aumenta e consequentemente, diminui a frequência, o que faz o espectro desviar para o vermelho.

No *blueshift* - a medida que a galáxia se aproxima - o comprimento de onda diminui, consequentemente, aumentando a frequência, o que causa o desvio do espectro para o azul.

CORPO NEGRO E A RADIAÇÃO TÉRMICA

A radiação do corpo negro

(Professor e Aluno)

É inverno e você está com frio. Você imagina o aconchegante brilho de uma lareira acesa – as brasas vermelhas e as chamas amarelas. Mas por que o brilho das brasas é vermelho? Por que a ponta de um atizador de ferro também fica vermelha quando



colocada na lareira? O carvão em chamas atinge centenas de graus Celsius. Lava vulcânica é ainda mais quente, aproximando-se dos 1.000 ° C. Lava derretida brilha mais intensamente e pode emergir laranja ou amarela, assim como

aço fundido à mesma temperatura. Lâmpadas com filamentos de tungstênio são ainda mais quentes. Com temperatura de dezenas de milhares de graus Celsius, similar à da superfície de uma estrela, seu brilho é branco.

Um corpo em qualquer temperatura emite radiações eletromagnéticas. Por estarem relacionadas com a temperatura



em que o corpo se encontra, freqüentemente são chamadas radiações térmicas. Por exemplo, “sentimos” a emissão de um ferro elétrico ligado, mas não enxergamos as ondas por ele emitidas. É que em baixas temperaturas a maior taxa de emissão está na faixa do infravermelho. Aumentando-se gradativamente a temperatura de um corpo, ele começa a emitir luz visível, de início a luz vermelha, passando a seguir para a amarela, a verde, a azul e, em altas temperaturas, a luz branca, chegando à região do ultravioleta do espectro eletromagnético.



Radiações Térmicas

(Professor e Aluno)

Todos os corpos emitem radiações eletromagnéticas. Podemos entender a radiação eletromagnética como uma forma de energia, constituída por perturbações ou ondas, que se propaga com a velocidade da luz, em várias frequências e comprimentos de onda. Algumas radiações podemos ver, e outras não, mas todas elas estão associadas à temperatura de corpos emissores, ou seja, a distribuição da frequência dessas radiações depende da temperatura dos corpos, por isso são conhecidas como radiações Térmicas.

Na temperatura ambiente, a maioria das radiações térmicas estão na faixa do infravermelho, por isso não conseguimos observá-las. Porém, hoje já existem dispositivos que são sensíveis a essa frequência, o que tornou possível a visão noturna.

Cada corpo tem uma capacidade específica de absorver e emitir calor por radiação, que depende de sua forma e do material que o mesmo é constituído, como também da temperatura própria e da temperatura ao seu redor.

Se a temperatura desse corpo for maior do que a do ambiente onde ele se encontra, ele vai emitir mais radiação do que absorver, e, se for menor, ocorrerá o inverso (absorve mais do que emite).

Dessa forma se conclui que se a temperatura do corpo estiver em equilíbrio com o ambiente, tanto a absorção como a emissão de radiação eletromagnética, ocorrerão na mesma intensidade.

O corpo hipotético que possa absorver todas as radiações que incidam sobre ele é chamado de **Corpo Negro**.

Já que o Corpo Negro absorve toda radiação, se o mesmo estiver em equilíbrio com o ambiente (vizinhança), emitirá toda a radiação igualmente.

Foi o Físico alemão Gustav Kirchoff quem descreveu esse objeto teórico, e a busca da determinação de seu comportamento por outros físicos, como Max Planck, estabeleceu as bases da Mecânica Quântica.

Lei de Stefan-Boltzmann

(Professor e Aluno)

Existe uma grandeza física denominada poder emissor E de corpo negro, que é a potência irradiada por unidade de área ou a energia radiante emitida por intervalo de tempo e área, cuja unidade no SI (sistema internacional) é $\text{J/s.m}^2 = \text{W/m}^2$.

Naturalmente, o corpo que hipoteticamente apresentaria o melhor poder emissor seria o corpo negro; portanto, os corpos reais detêm apenas uma fração desse poder emissor.

O chamado poder emissor E foi estabelecido pelos físicos austríacos, Joseph Stefan e Ludwig Eduard Boltzmann.

A lei que leva o nome dos dois físicos conhecida como lei de Stefan-Boltzmann, estabelece que o poder emissor de um corpo negro em equilíbrio térmico com certa temperatura absoluta T é proporcional a T^4 (Temperatura absoluta elevada a quarta potência).

$$E_{\text{corpo negro}} = \sigma \cdot T^4$$

σ é a constante de Stefan-Boltzmann e tem como valor aproximado de $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$.

Naturalmente que isso vale quando esta se tratando de um corpo negro, um corpo hipotético. Mas quando se deseja determinar o poder de emissão de um corpo real, se utiliza a lei de Stefan-Boltzmann, adaptada:

$$E_{\text{corpo real}} = \sigma \cdot e \cdot T^4$$

o “e” corresponde a emissividade do objeto em questão, a qual esta entre: $0 < e < 1$.

Por meio desses valores é possível avaliar o nível de conforto oferecido por coberturas feitas por determinados materiais, projetados para trabalharem em determinadas faixas de temperaturas.

Curva de radiação de Corpo Negro

(Professor e Aluno)

A energia na forma de luz, em geral, é irradiada com uma “frequência de pico”, que cresce com a temperatura, indo do vermelho em direção ao azul. A energia também se espalha para ambos os lados, aumentando de força na direção do pico e declinando ao se afastar dele. O resultado é um espectro na forma de montanha, conhecido como “curva da radiação de corpo negro”.

Abaixo é apresentado dados experimentais relacionando a intensidade da radiação emitida por um corpo negro em função do comprimento de onda, a uma da temperatura.

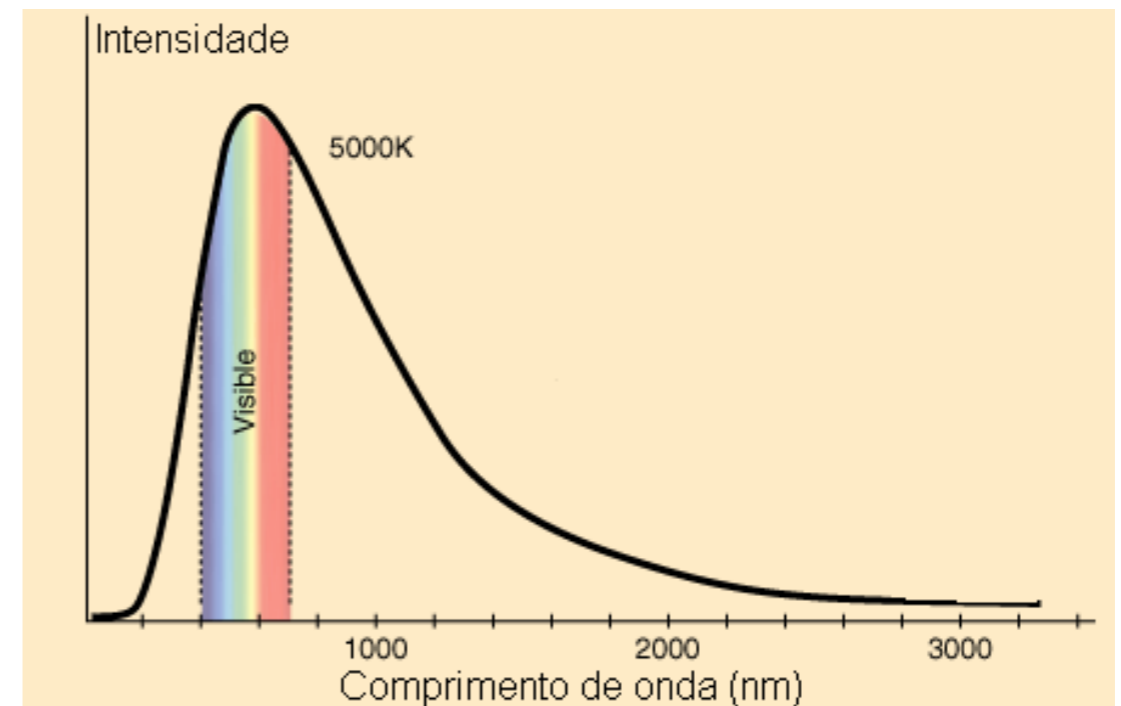


Figura 9 - Gráfico da intensidade da radiação em função do comprimento de onda

Observe no gráfico que, para dado comprimento de onda, a intensidade da radiação adquire valor máximo.

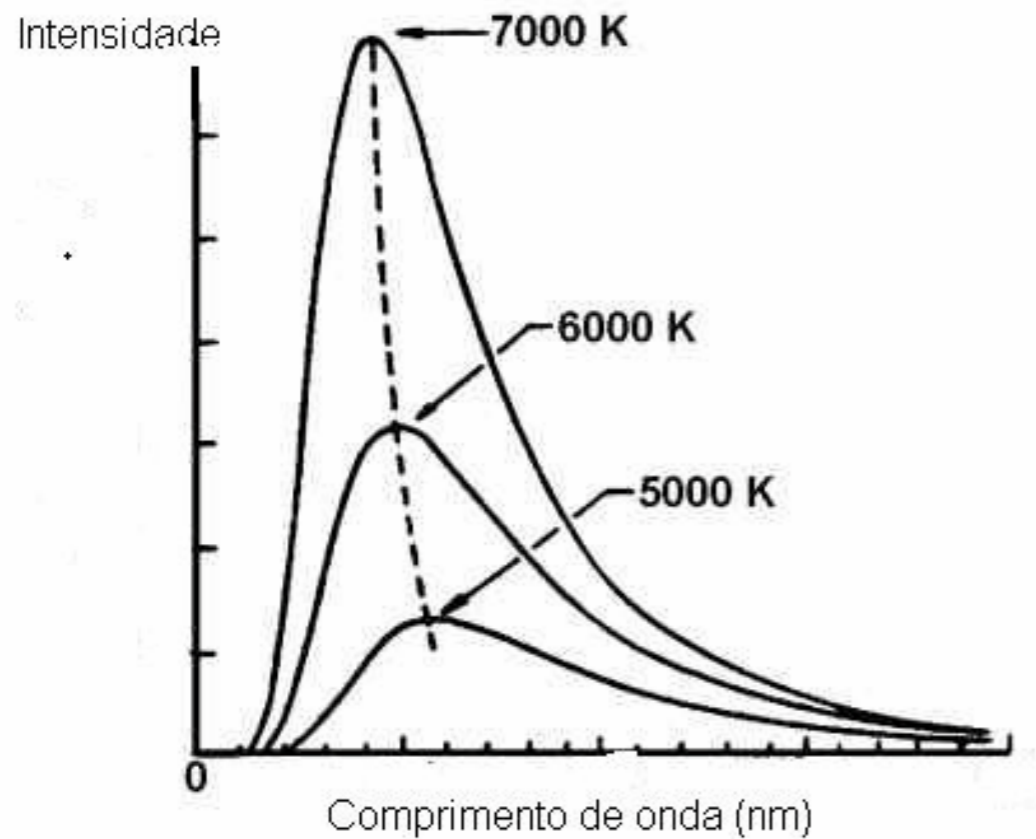


Figura 10 - Intensidade da radiação do corpo negro em função do comprimento de onda em três temperaturas.

SIMULADOR DE ESPECTRO DE CORPO NEGRO

(Clique no título para abrir).

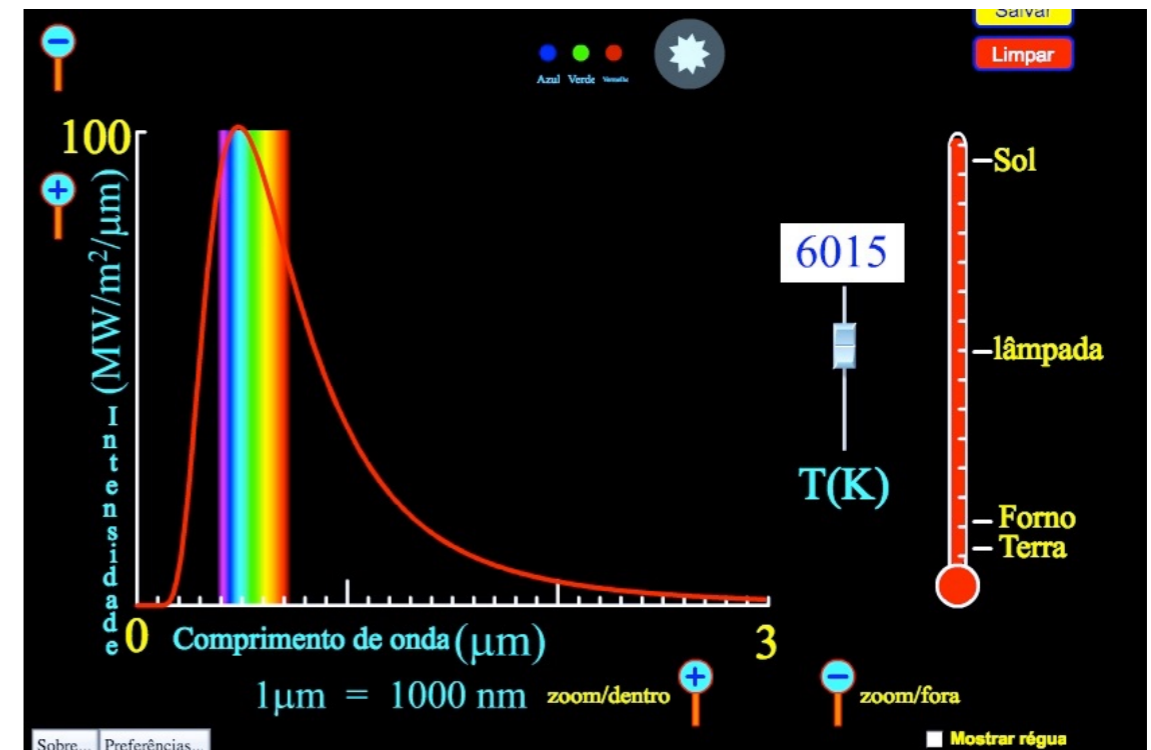


Figura 11 - Simulador de espectro de corpo negro. Disponível no site: https://phet.colorado.edu/sims/blackbody-spectrum/blackbody-spectrum_pt_BR.html

Caro **professor**.

Nesse ponto do material, pode ser explorado a cor das estrelas com relação a sua temperatura, o comportamento das mesmas semelhante ao corpo negro.

Inclusive pode/deve ser utilizada a simulação acima para ajudar na exploração de tais conceitos.

Abaixo temos uma curiosidade com relação a estrela gigante vermelha Betelgeuse. Porém, incentivamos ao **professor** buscar mais sobre a temperatura e cores das estrelas.

Temperatura da cor

A cor de uma estrela denuncia sua temperatura. A luz do Sol, a 6.000 kelvins, no espaço é branca, porém na terra devido a dispersão luminosa que ocorre na atmosfera aparece amarelo, enquanto a superfície mais fria da gigante vermelha Betelgeuse (na constelação de Órion) tem metade dessa temperatura. A superfície excruciante de Sirius, a estrela mais brilhante do céu, com brilho branco azulado, chega aos 30.000 kelvins.

Ludwig Boltzmann

LUDWING BOLTZMANN

Não foi apenas mais um pensador original mas também um cientista de múltiplos interesses. Além da sua obra pioneira em mecânica estatística, os seus trabalhos em eletromagnetismo e as suas palestras sobre aeronáutica foram fundamentais para a aceitação da teoria de Maxwell na Europa, assim como para a formação da opinião pública em ciência e tecnologia na transição do século XIX para o século XX.

(Ao professor e aluno)

Uma parcela significativa dos trabalhos de Boltzmann em Física foi voltada para a aplicação de conceitos mecânicos ao movimento de partículas microscópicas como um meio de compreender as propriedades macroscópicas da matéria. Esta sua predileção por modelos mecânicos, que inclusive o aproximou de Maxwell, foi a espinha dorsal do seu *modus operandi* e colocou-o posteriormente em rota de colisão com grandes cientistas da sua época. A aplicação de ideias da mecânica na termodinâmica não teve a sua origem em Boltzmann, mas ele foi talvez quem mais contribuiu para completar o programa mecânico atomístico no século XIX. Em outras palavras, a Primeira Lei da Termodinâmica não era mais do que uma lei mecânica de conservação de energia aplicada às partículas do gás.

A partir de 1859 James Clerk Maxwell (1831-1879) desenvolveu uma teoria de processos de transporte em gases através da introdução de um novo e importante elemento: uma lei de distribuição estatística de velocidades de moléculas. Porém, se Maxwell e Clausius conseguiram explicar muitas das propriedades dos gases ao remeter uma parte da Termodinâmica para os fundamentos da Mecânica, o que dizer da Segunda Lei? Como explicar a evolução temporal irreversível da maioria dos processos naturais, a chamada flecha do tempo, a partir de leis mecânicas reversíveis temporalmente? A Segunda Lei era assim um corpo estranho no caminho da fundamentação

mecânica da Termodinâmica. Foi através da busca da solução deste paradoxo que Boltzmann nos presenteou com aquele que é, nas palavras de Erwin Schrödinger (1887-1961), o seu maior legado à Física: mostrar que o que nos parece impossível é, na realidade, apenas improvável.

Nenhuma lei física é violada se estilhaços de um copo que caiu ao chão se juntarem novamente. Nunca observámos tal evento pelo simples fato de a sua probabilidade ser inimaginavelmente pequena. Boltzmann mostrou de maneira inquestionável como o conceito de probabilidade é necessário para a descrição da Natureza.

Em 1866 Boltzmann publicou o seu primeiro artigo na área, cujo título “Acerca do significado mecânico da segunda lei da teoria do calor” deixa claro o objectivo do seu autor. Ele marca o início de um programa que levaria Boltzmann a generalizar em 1868 o trabalho de Maxwell sobre a distribuição de velocidades para o caso geral de partículas em interação e o manteria ocupado ao longo da sua frutífera carreira.

Entre 1868 e 1871 Boltzmann publicou uma série de trabalhos onde não apenas fez sua a técnica desenvolvida por Maxwell como a estendeu consideravelmente. Mas mais do que isso, foi nestes trabalhos que Boltzmann generalizou o teorema da equipartição da energia e, do ponto de vista dos desenvolvimentos futuros, lançou as sementes daquela que viria

a ser uma importante área de pesquisa até aos nossos dias: a hipótese Ergódica.

Tal hipótese se dá, juntamente com a matemática, no estudo de sistemas dinâmicos, os quais são munidos de medidas invariantes. A hipótese ergódica é aplicada no estudo da dinâmica das partículas dos gases, as quais se comportam como bilhares. Sendo que o estudo da dinamica desordenada dos bilhares esta relacionada diretamente a hipótese Ergódica.

Dentre os trabalhos de Boltzmann, o de 1872, fruto de um longo processo de maturação, marca o grande passo da sua carreira, sendo considerado por muitos historiadores o seu mais importante trabalho: a dedução da Segunda Lei a partir das propriedades de uma equação hoje conhecida por equação de Boltzmann.

(Texto para o **professor**)

A motivação de Boltzmann era estudar a natureza do equilíbrio termodinâmico e provar a unicidade da distribuição de Maxwell para descrever estados de equilíbrio. Maxwell já mostrara que a sua distribuição era estacionária, ou seja, que não se alterava em função de eventuais colisões entre partículas, mas para Boltzmann tal não bastava, pois era necessário também provar que, qualquer que fosse o estado inicial do gás, ele tenderia sempre para uma distribuição de Maxwell.

(Caro professor, caso haja interesse quanto a solução de Boltzmann para esta questão, vale a pena fazer uma pesquisa quanto a mesma, pois ela aparece na forma de duas equações, porém como são equações a um nível mais avançado da matemática as mesmas não foram incluídas no material.)

De fundamental importância para o desenvolvimento da Mecânica Estatística foram as críticas dirigidas aos trabalhos de Boltzmann, em particular o Umkehrwand (objeção da reversibilidade) de Johann Loschmidt (1821- 1895) e o Wiederkehrwand (objeção do retorno) de Ernst Zermelo (1871-1953). Estas e outras críticas que a elas se somaram foram importantes na medida em que permitiram a Boltzmann não apenas rever posições, buscando esclarecer pontos de seu trabalho, como também aprofundar questões de cunho mais metodológico, lançando as bases da Mecânica Estatística tal como hoje a conhecemos. O Umkehrwand de 1876 diz que se, por algum motivo, as velocidades das partículas de um gás

mudassem de sinal num dado instante $t = \tau$, elas percorriam trajetórias inversas, atingindo em $t = 2\tau$ o mesmo estado em que se encontravam no instante inicial $t = 0$. Se a entropia aumentasse no primeiro caso, a reversibilidade implicaria uma evolução na qual a entropia diminuiria. Para Boltzmann este argumento era apenas um belo sofisma, pois a sua inaplicabilidade advinha do fato de o número de moléculas, mesmo num pequeno volume de um gás, ser tão espantosamente grande que uma inversão de

todas as velocidades só poderia ocorrer com uma probabilidade infinitamente pequena. Com esta réplica, Boltzmann asseverou de maneira clara o carácter probabilístico da Segunda Lei, pois, segundo ele, a objeção de Loschmidt tornava clara a íntima relação entre probabilidades e a Segunda Lei.

Na sua resposta a Loschmidt, Boltzmann deduziu aquela que é sua equação mais famosa: $S = k_B \ln W$. Para mostrar que a entropia de um estado era uma medida da sua probabilidade de ocorrência e, portanto, o seu aumento poderia ser entendido como a evolução de um sistema de estados de menor probabilidade para aqueles de maior probabilidade, Boltzmann recorreu a uma técnica por ele já utilizada em 1872: a discretização do espectro de energias. Utilizando assim resultados da análise combinatória e da probabilidade, Boltzmann calculou o número de maneiras de distribuir um conjunto finito mas grande de partículas entre níveis, tal que a energia total fosse constante. A maximização da probabilidade assim calculada leva à equação mencionada acima. Ao aplicá-la a um gás não interacionante, Boltzmann chegou novamente à entropia de Clausius.

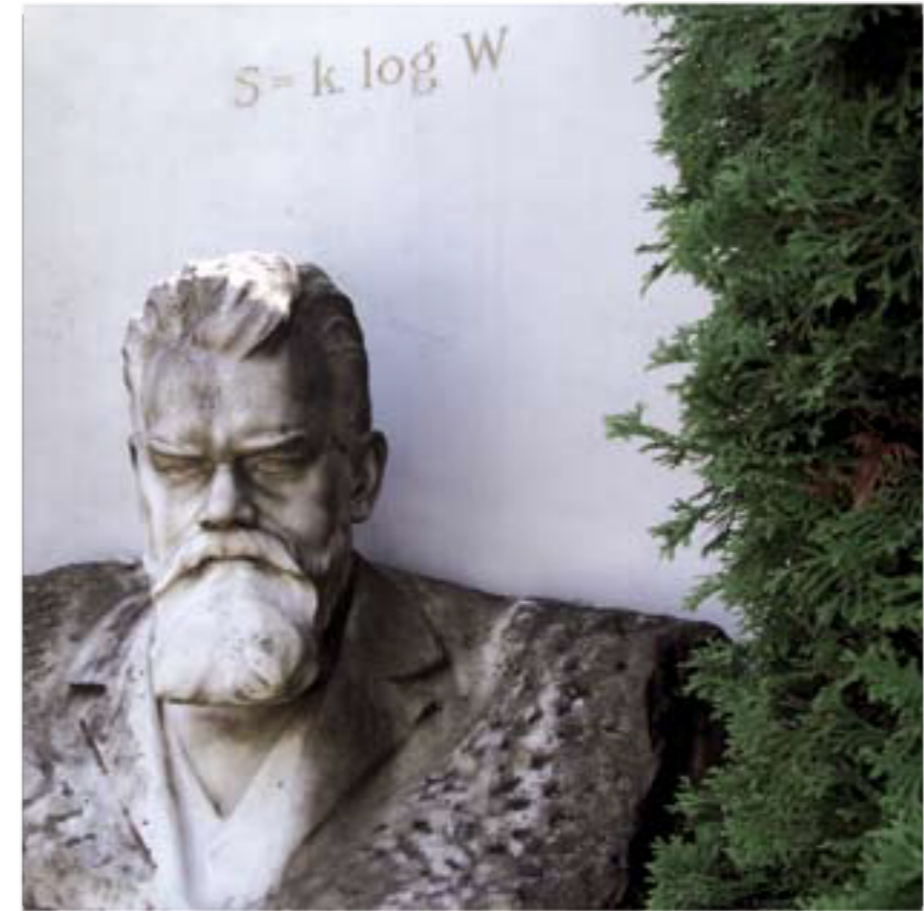
O Wiederkehrwand de 1896 baseava-se no teorema da recorrência de Poincaré, segundo o qual todo o sistema mecânico sob a ação de forças conservativas e cujas posições e velocidades sejam limitadas, obrigatoriamente passará, em algum instante t , num ponto do espaço de fase tão próximo

quanto se queira do ponto em que se encontrava em $t=0$. Portanto, segundo Zermelo, a teoria cinética seria assim incapaz de explicar o fenômeno da irreversibilidade pois, em algum momento, as condições iniciais do sistema retornariam, contradizendo a Segunda Lei. A resposta de Boltzmann foi irônica e direta: embora o teorema de Poincaré fosse correto, não se poderia concluir que a teoria cinética estivesse incorreta sem antes se calcular o tempo necessário para uma recorrência. Para um pequeno volume de gás, da ordem de alguns centímetros cúbicos, este tempo é muitas ordens de grandeza superior à idade do universo e embora H (H representa, aqui, uma grandeza determinada por Boltzmann, que mais tarde verificou que se tratava de um simétrico da entropia* de Clausius) possa aumentar, a probabilidade de que isto ocorra é infinitamente pequena. Utilizar Poincaré para concluir que a teoria cinética não é válida seria o equivalente à falácia de concluir que um dado é viciado apenas pelo fato de a probabilidade de lançar mil “uns” seguidos é muito pequena.

*** Entropia é uma grandeza que mede o estado de desordem das partículas em um sistema físico dentro da Termodinâmica, como também na Termoquímica em geral. A entropia em muitas referências é simbolizada com a letra S.**

Se, do ponto de vista da metodologia e dos fundamentos, Boltzmann fez tão importantes contribuições, cabe aqui a

pergunta sobre o motivo pelo qual a Mecânica Estatística nos é apresentada na formulação de Josiah Willard Gibbs (1839-1903).



Lápide do túmulo de Boltzmann no Zentralfriedhof em Viena com a sua famosa equação.

Boltzmann foi quem introduziu a ideia de **ensembles** (por ele chamados Monoden) num trabalho pouco citado de 1884. Gibbs, por quem Boltzmann tinha uma grande admiração, merece sem dúvida ser colocado ao lado deste como um dos criadores da Mecânica Estatística. Embora o grande historiador Martin J. Klein

tenha afirmado que foi Boltzmann e não Gibbs ou Maxwell quem mostrou precisamente como a Segunda Lei está relacionada com a probabilidade, criando assim a Mecânica Estatística, a sistematização desta foi, em grande parte, obra de Gibbs. Mas as razões históricas da “preferência” por Gibbs e não Boltzmann estão bem documentadas e estão intimamente relacionadas com as disputas atomística do século XIX tão ao estilo do próprio Boltzmann.

Embora considerado um professor brilhante, Boltzmann era um escritor difícil. Esta dificuldade estava relacionada mais com a extensão dos seus trabalhos e com o fato de Boltzmann mudar muitas vezes o seu ponto de vista sem deixar isso claro para os seus leitores do que com o seu impecável alemão. Os seus artigos representavam um verdadeiro *tour-de-force* para a maioria de seus contemporâneos, inclusive Maxwell, que certa vez se manifestou a este respeito. Gibbs, por outro lado, era considerado um grande estilista, cujo trabalho, na sua formulação abstrata, evitava qualquer hipótese atomística da matéria ou “construtos” mecânicos. O atomismo de Boltzmann, juntamente com a sua predileção por analogias mecânicas, que o aproximam de Maxwell, eram vistos como desprovidos de significado físico por alguns dos mais influentes físicos da época como Wilhelm Ostwald (1853-1932), Georg Helm (1851-1923) e Ernst Mach (1838-1916). Embora Boltzmann fosse ele próprio uma grande autoridade, estes nomes suscitavam respeito e a sua

batalha parece ter sido a de um só homem, como o prefácio das suas Aulas acerca da Teoria do Gás deixa transparecer:

“Seria na minha opinião um infortúnio para a ciência caso a teoria dos gases fosse simplesmente esquecida em função da atitude litigiosa que contra ela hoje predomina... quão impotente uma única pessoa é contra a corrente vigente bem o sei. E ainda, naquilo que estiver ao alcance das minhas forças, faço aqui a minha contribuição retomando os aspectos mais difíceis e polémicos da teoria dos gases para que um dia, ao retornarem a ela, não seja necessário descobrir tudo novamente.”

No final, a história colocou-se ao lado de Boltzmann.

BOLTZMANN, O ELETROMAGNETISMO E A TECNOLOGIA

(Texto para o professor e aluno)

Menos exploradas na literatura boltzmanniana foram as suas importantes contribuições para a verificação experimental da Teoria de Maxwell e a divulgação da mesma na Áustria e na Alemanha. Boltzmann era um grande admirador da obra do físico escocês: não apenas se doutorou com uma tese sobre Eletromagnetismo como também lecionou a teoria maxwelliana nas universidades por onde passou, chegando a publicar um livro sobre o assunto.

Foi também pelo estudo da obra de Maxwell em Eletromagnetismo que Boltzmann tomou conhecimento dos trabalhos daquele cientista em Teoria Cinética. Entre 1873 e 1874 Boltzmann publicou quase exclusivamente trabalhos experimentais sobre Eletromagnetismo. Como a teoria de Maxwell afirmava que a luz era uma onda eletromagnética, esperava-se que as propriedades ópticas dos meios pudessem ser explicadas com base nas suas propriedades elétricas. Em particular, Maxwell previra uma relação entre a constante dielétrica ϵ e o índice de refração n na forma $\epsilon \sim n^2$. Boltzmann realizou uma série de experiências em cristais de enxofre e em gases para verificar a validade dessa relação. No enxofre a luz propaga-se com diferentes velocidades ao longo dos diferentes eixos ordenados, o que implica que os índices de refração dependam da direção de propagação da luz. O caso dos gases representava um grande desafio experimental, dado que as respectivas constantes dielétricas eram muito próximas da unidade, exigindo uma precisão nas medidas para além da terceira casa decimal. Boltzmann, numa demonstração de grande habilidade como físico experimental, desenvolveu técnicas e realizou as experiências com êxito, mostrando que os resultados obtidos eram, tendo em conta os erros experimentais, os previstos pela teoria maxwelliana. Apesar do seu importantíssimo trabalho em Eletromagnetismo, Boltzmann comparava-o ao de um trabalhador braçal, cuja função era apenas a de retocar alguns pormenores no grande edifício construído por Maxwell.

Talvez o seu mais significativo resultado nesta área, uma “verdadeira pérola da Física Teórica” nas palavras de Lorentz, tenha sido a dedução teórica da dependência da intensidade de radiação eletromagnética com a temperatura, a chamada Lei de Stefan. Em 1879 Stefan havia estabelecido, a partir de resultados experimentais que a relação entre a densidade da energia de radiação térmica ρ_E e a temperatura T de um corpo negro tinha a forma $\rho_E \sim T^4$. Boltzmann deduziu a lei de Stefan a partir de argumentos puramente teóricos, partindo da hipótese de que a radiação exercia pressão sobre as paredes do recipiente que a continha. Desde então esta lei passou a ser conhecida como Lei de Stefan-Boltzmann. Um outro capítulo interessante na vida de Boltzmann, em particular no que diz respeito à sua atuação como divulgador da ciência, revela-nos a admiração que ele tinha por novas tecnologias, em particular a aviação. Boltzmann viveu numa época de grandes pioneiros desta área. A sua palestra “*Acerca das Viagens Aéreas*”, apresentada por ocasião do 66º Encontro da Sociedade Alemã de Médicos e Cientistas Naturais em Viena, em 1894, é um contundente libelo em defesa desta atividade então pouco considerada pelas autoridades de seu país. Uma grande parcela da comunidade científica via nestes estudos apenas tentativas amadoras, carentes de uma fundamentação teórica mais sólida. Embora pioneiros como Otto Lilienthal (1844- -1896) em Berlim, Wilhelm Kress (1836-1913) em Viena e Octave Chanute (1832-1910) nos EUA fossem engenheiros de sólida formação, um relatório de Helmholtz

publicado em 1874, seis anos após o seu trabalho como presidente de uma comissão cujo objetivo era avaliar a possibilidade da construção de aparelhos voadores, manifestava uma posição relativamente pessimista sobre tal empreitada. Embora este relatório se referisse, a bem da verdade, apenas à inviabilidade de balões como meio eficiente de transporte de passageiros e cargas, ele passou a ser visto como um documento de valor científico sobre qualquer tipo de transporte aéreo e recebeu grande atenção por parte da comunidade acadêmica da época. Boltzmann, ciente da sua envergadura como físico aclamado e do efeito que uma palestra sua em tão prestigiado evento teria sobre a opinião pública, defendeu de uma maneira apaixonada investimentos na área, sem porém deixar de apontar aquilo que considerava ideias errôneas nos trabalhos destes engenheiros, uma atitude que demonstra, sem sombra de dúvida, uma atitude de grande integridade ética para com a ciência, integridade esta que foi um dos marcos da sua carreira como cientista e homem público.

Ensemble (Para o Professor)

O texto ora apresentado sobre os **Ensemble**, é um texto para o que o **professor** possa se aprofundar no assunto, pois o mesmo trata-se de uma idealização que consiste em considerar um grande número de cópias virtuais do sistema, onde cada cópia representa um estado físico possível em que o sistema pode estar. Em outras palavras, um conjunto estatístico é uma distribuição de probabilidade para o estado do sistema. Um *ensemble* termodinâmico é uma variedade específica do conjunto estatístico que está em Equilíbrio termodinâmico, e é utilizado para obter as propriedades de sistemas termodinâmicos a partir das leis da Mecânica clássica ou quântica.

Considerações físicas

O *ensemble* estatístico concretiza a noção de que se um experimentador repetir uma experiência diversas vezes nas mesmas condições macroscópicas, pode observar uma gama de resultados diferentes. Isto se justifica porque o experimentador é incapaz de controlar os detalhes microscópicos.

O tamanho de conjuntos em termodinâmica, mecânica estatística e mecânica estatística quântica pode ser muito grande a fim de incluir todos os possíveis estados microscópicos do sistema que estão de acordo com as suas propriedades macroscópicas. No entanto, para os casos físicos importantes, pode ser possível calcular médias diretamente ao longo de todo o conjunto termodinâmico, e assim obter fórmulas explícitas para muitas das quantidades termodinâmicas de interesse.

O conceito de um equilíbrio ou conjunto estacionário é crucial para algumas aplicações de conjuntos estatísticos. Embora um sistema mecânico certamente evolui ao longo do tempo, o conjunto não tem necessariamente de evoluir. Na verdade, o conjunto não vai evoluir se ele contém igualmente todas as fases passadas e futuras do sistema. Tal conjunto estatístico, que não se altera ao longo do tempo, é chamado estacionário ou é dito estar em equilíbrio estatístico.

Principais *ensembles* de termodinâmica estatística

O estudo da termodinâmica está preocupado com sistemas que aparecem à percepção humana como "estáticos" (apesar de haver movimento das suas partes internas), e que pode ser descrito simplesmente por um conjunto de variáveis macroscopicamente observáveis. Estes sistemas podem ser descritos por conjuntos estatísticos que dependem de alguns parâmetros observáveis, e que estão em equilíbrio estatístico. Nota-se que diferentes vínculos macroscópicos levam a diferentes tipos de conjuntos, com características estatísticas particulares. Três conjuntos termodinâmicos importantes foram definidas:

- **Ensemble microcanônico ou ensemble NVE** - um conjunto estatístico em que a energia total do sistema e o número de partículas no sistema são fixos, isto é, cada uma das cópias do sistema são obrigadas a ter a mesma energia total e número de partículas. O sistema deve permanecer totalmente isolado (incapaz de trocar energia ou partículas com seu ambiente), a fim de ficar em equilíbrio estatístico.

- **Ensemble canônico ou ensemble NVT** - um *ensemble* onde o número de partículas é fixo. Em lugar da energia, a temperatura é especificada. O conjunto canônico é apropriado para descrever um sistema fechado que se encontra, ou tenha estado, em contato térmico com um banho de calor. A fim de atingir o equilíbrio estatístico o sistema deve se manter totalmente fechado (incapaz de permutar partículas com o seu

ambiente), e pode entrar em contato térmico com outros sistemas de mesma temperatura.

- **Ensemble grande canônico ou ensemble μVT** - um *ensemble* estatístico em que nem a energia nem o número de partículas são fixas. Em seu lugar, a temperatura e o potencial químico são especificados. O *ensemble* grande canônico é apropriado para descrever um sistema aberto: aquele que está, ou esteve, em contato (térmico, químico, radiativo, elétrico, etc.) com um reservatório. O conjunto fica em equilíbrio estatístico quando o sistema entra em contato com outros sistemas se mesmo potencial químico e temperatura.

Eletromagnetismo e as Equações de Maxwell

CARACTERÍSTICA DA LUZ.

A luz é uma onda eletromagnética. Estendendo-se além do espectro familiar da luz visível, perturbações eletromagnéticas vão desde ondas de rádio aos raios gama. Hoje, compreendido como um fenômeno que unifica a eletricidade e o magnetismo, o eletromagnetismo é uma das quatro forças fundamentais. Sua essência foi o estímulo tanto para a relatividade quanto para a física quântica.

Foi graças ao experimento de Young que a luz foi descrita de forma diferente a da teoria de Newton. A partir da descoberta da interferência, Young conseguiu explicar vários resultados devidos a Newton em termos de teoria ondulatória.

“ Para entender a natureza das coisas, o homem não precisa perguntar se uma coisa é boa ou ruim, nociva ou benéfica, mas sim de que tipo ela é. ”

James Clerk Maxwell, 1870

(Ao professor e aluno)

Não costumamos perguntar por que a luz existe, mas há um bocado de coisas que não compreendemos nela. Nós vemos sombras e reflexos – ela não atravessa nem é refletida por materiais opacos. E sabemos que ela pode ser decomposta no familiar espectro de arco-íris quando passa por vidro ou por gotas de chuva. Mas o que é a luz, afinal? Muitos cientistas tentaram responder a essa questão. Isaac Newton mostrou no século XVII que cada cor do arco-íris – vermelho, laranja, amarelo, verde, azul, anil e violeta – é uma “nota” fundamental de luz. Ele as misturou para produzir tons intermediários, como o ciano, e os recombinau todos em luz branca, mas ele não poderia dissecar mais o espectro com os equipamentos que tinha. Ele concluiu que a luz era feita, assim como a água, de pequenas partículas, ou corpúsculos. Sabemos hoje que não é bem assim. A luz é uma onda eletromagnética, feita de campos elétricos e magnéticos oscilantes acoplados. Mas a história não para aí. Nos anos 1900, Albert Einstein mostrou que há situações em que a luz de fato se comporta como uma torrente de partículas, hoje chamadas fótons, que carregam energia, mas não possuem massa. A natureza da luz permanece um enigma e tem sido central para o desdobramento da relatividade e da teoria quântica.

O espectro

Cada uma das cores da luz possui um diferente comprimento de onda, o espaçamento entre cristas de ondas adjacentes. A luz azul possui um comprimento de onda menor que a vermelha; a verde fica no meio. A frequência é o número de ciclos de ondas (cristas ou vales) por segundo. Quando um raio de luz branca passa por um prisma, o vidro encurva (refrata) cada cor em um ângulo diferente, de modo que o vermelho se curva menos e o azul se curva mais. Como resultado, as cores se espalham num arco-íris.

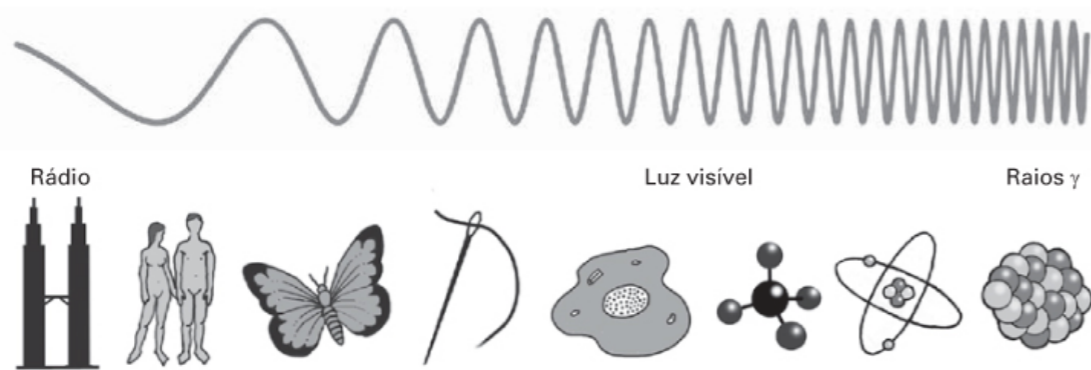


Figura 12 - O comprimento de ondas eletromagnéticas varia de milhares de metros para bilionésimos de metro.

Mas as cores não terminam assim. A luz visível é apenas parte do espectro eletromagnético, que se estende das ondas de rádio, com comprimentos de onda da ordem de quilômetros, até os raios gama, com comprimentos de onda menores que um átomo. O comprimento de onda da luz visível é da ordem de um bilionésimo de metro, similar ao tamanho de algumas moléculas.

Além dos comprimentos de onda da luz vermelha, com milionésimos de metro, está a luz infravermelha. Com comprimentos de onda de milímetros ou centímetros há as micro-ondas. Além do violeta, ficam o ultravioleta, os raios X e os raios gama (γ).

Equações de Maxwell (Ao professor e aluno)

Video sobre as equações de Maxwell e suas contribuições



O video faz parte de uma coletânea de videos com o nome Universo Mecânico, ao todo são 52 episódios, e foram produzidos pelo Caltech no ano de 1985. O presente video esta disponível em português no Youtube no Canal do Jalves Figueira no presente endereço:

<https://www.youtube.com/watch?v=zTEFsR3NqA&feature=youtu.be>

Os episódios originais encontram-se no endereço:

<https://www.youtube.com/watch?v=XtMmeAjQTXc&t=0s>

Ondas eletromagnéticas combinam eletricidade e magnetismo. No início do século XIX, experimentos como os de Michael Faraday mostraram que esses campos poderiam ser mudados de um tipo para o outro. Ao mover um ímã perto de um cabo, empurramos cargas e fazemos eletricidade fluir nesse cabo. Uma corrente em mudança ao passar por uma bobina de arame produz um campo magnético, que pode induzir uma corrente em outra bobina – essa é a base do transformador elétrico, usado para ajustar correntes e voltagens para energia doméstica. O grande salto ocorreu quando o físico escocês James Clerk Maxwell conseguiu demonstrar a possibilidade de Ondas Eletromagnéticas a partir de apenas quatro equações – conhecidas como equações de Maxwell. As ondas eletromagnéticas, são compostas de um campo elétrico que varia como uma onda senoidal em uma direção, acompanhada de um campo magnético que varia de modo similar, mas posicionado em um ângulo reto. A primeira equação de Maxwell é também conhecida como lei de Gauss, batizada em homenagem a Carl Friedrich Gauss, físico do século XIX. Ela descreve o campo elétrico em torno de um objeto carregado e mostra como a intensidade desse campo se reduz de acordo com a distância elevada ao quadrado, tal qual a gravidade. A segunda equação faz o mesmo para o campo magnético. Campos magnéticos (e elétricos) são frequentemente visualizados pelo desenho do contorno da intensidade de seus campos ou linhas tangenciais de intensidade. Em volta de um ímã, a segunda lei diz que essas linhas de campos magnéticos

são sempre alças fechadas, indo do polo norte para o polo sul. Em outras palavras, as linhas de campos magnéticos precisam começar e terminar em algum lugar e todos os ímãs têm um polo norte e um polo sul – não existe nada como um “monopolo” magnético. Um ímã cortado pela metade sempre recria um polo sul ou norte. Ambos os polos são retidos, não importa quantas vezes um ímã seja repartido.

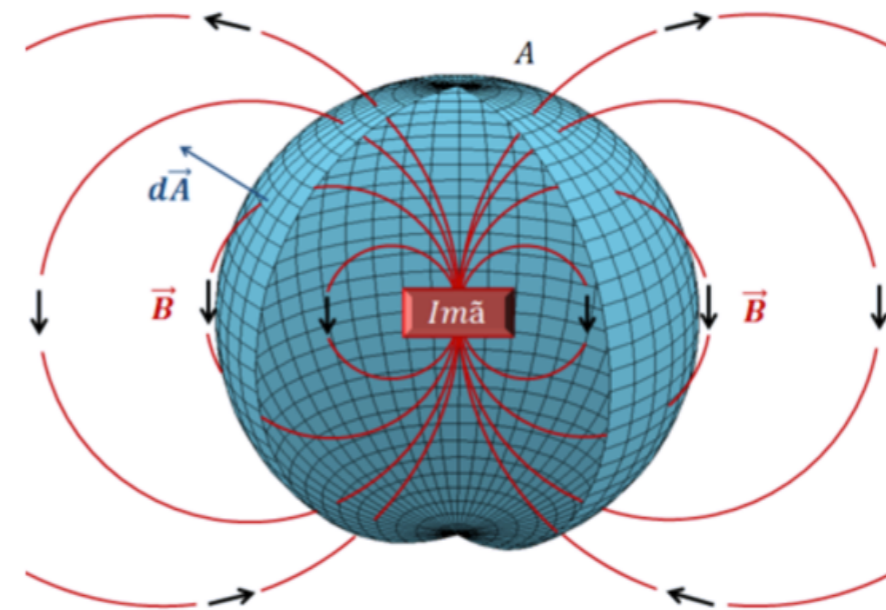


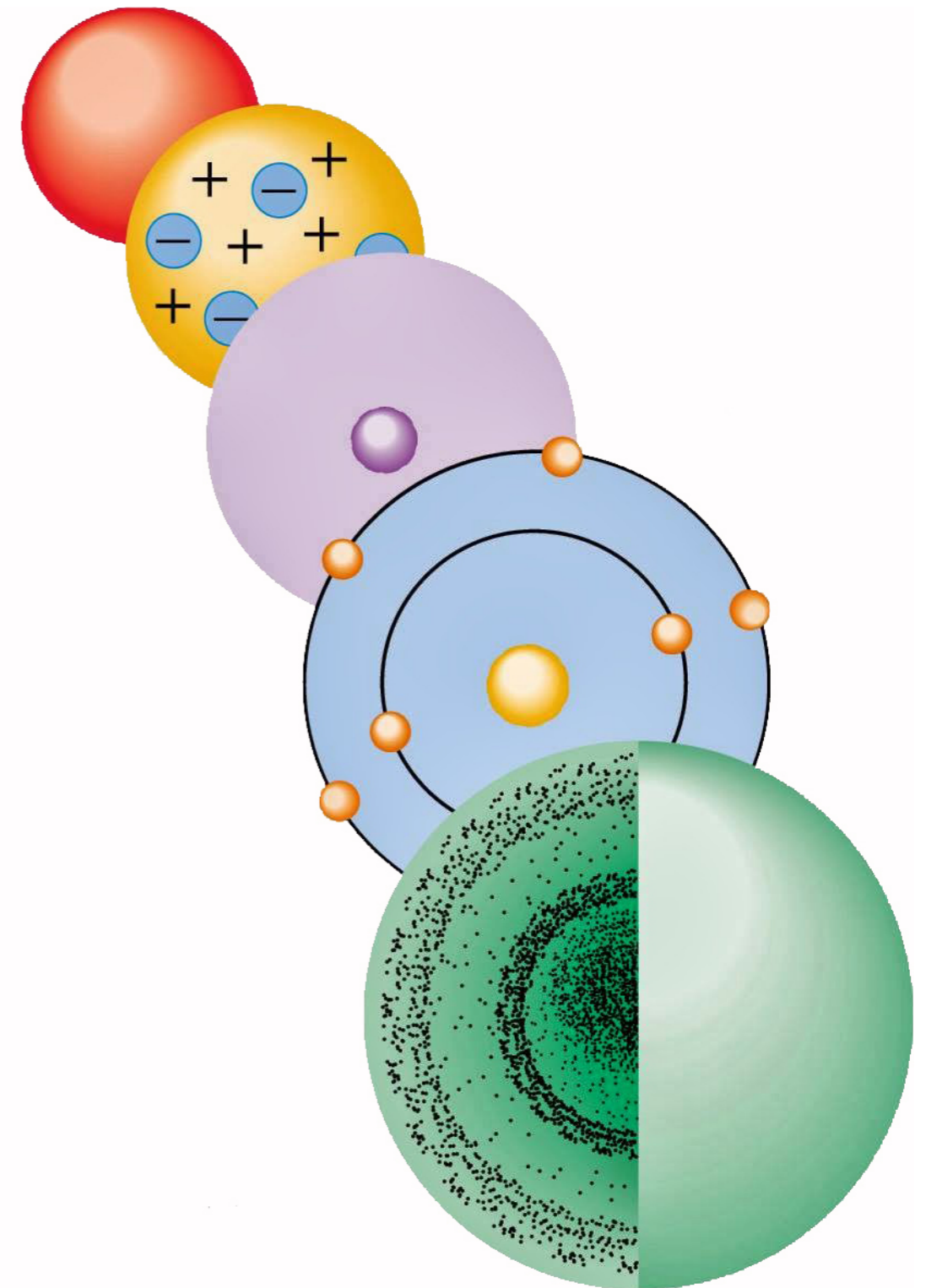
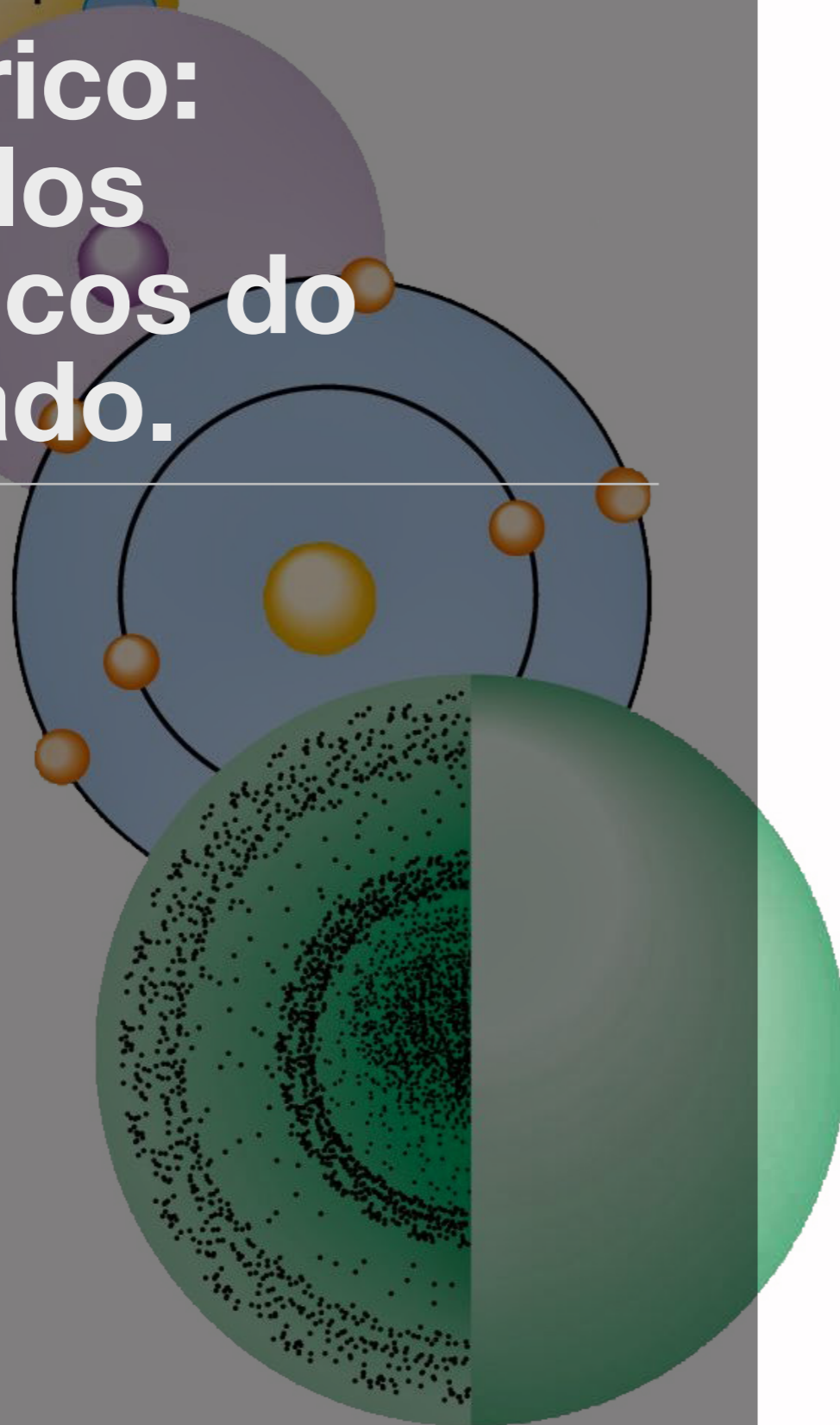
Figura 14 - Linhas de campo Magnético saindo da Superfície A.

A terceira e a quarta equações de Maxwell descrevem a indução eletromagnética, a criação e a alternância entre os campos elétrico e magnético diante de ímãs em movimento e correntes que fluem por bobinas metálicas.

Maxwell também mostrou que as ondas de luz e todas as ondas eletromagnéticas trafegam com a mesma velocidade no vácuo, a 300 milhões de metros por segundo. Encapsular tantos fenômenos em umas poucas equações elegantes foi uma façanha. Einstein equiparava a realização de Maxwell à grandiosa descrição de Newton sobre a gravidade e aplicou as ideias de Maxwell em sua teoria da relatividade.

Einstein foi um passo além e explicou como o magnetismo e a eletricidade eram manifestações da mesma intensidade eletromagnética vista em situações diferentes. Mas Einstein não parou aí. Ele também mostrou que a luz não é sempre uma onda – às vezes ela pode agir como partícula.

Histórico: Modelos Atômicos do Passado.



AO PROFESSOR

PROFESSOR

A mente que se abre a uma nova idéia jamais voltará ao seu tamanho original." (Albert Einstein)

"Um professor pode encontrar a eternidade, pois nunca poderemos determinar onde pára a sua influência sobre os alunos que um dia serão homens, gênios, inventores, sementes que germinaram pelas mãos de seus mestres." (Henry B. Adams)

Caro **Professor**.

É chegada a hora da abordagem dos modelos atômicos que deram o primeiro passo ao estudo dentro da Mecânica Quântica, possivelmente, a parte mais importante desse material. Sabemos, como já citado anteriormente, pouco se trabalha a evolução dos modelos atômicos, muitas vezes apenas citado, e a partir daí muitos educadores acabam não dando a devida importância à abordagem histórico-conceitual dos mesmos.

Enfatizamos nesse momento que o professor explore o material por meio dessa abordagem, dando ao aluno a possibilidade de conhecer por meio da história os conceitos físicos e químicos que permeiam toda a construção e evolução dos modelos atômicos.

Ressaltamos que o professor como mediador e orientador, estimule os alunos a ver a Física e a Química com outros olhos, sem o apego exagerado a matemática. E dessa forma, analisando e conhecendo a ligação que as duas disciplinas possuem em toda a evolução do conhecimento científico, principalmente o conhecimento que, ainda hoje, é desbravado no mundo microscópico. Mundo esse, de átomos, moléculas, íons e partículas subatômicas, tão desconhecido, mas, extremamente fascinante diante dos olhos de físicos e químicos de nosso planeta.

Modelos Atômicos

DALTON

(Ao professor e aluno)

John Dalton foi um físico e químico britânico que desenvolveu a teoria atômica na qual se baseia a ciência física moderna.

Em 1787, Dalton começou uma série de estudos meteorológicos que continuou durante 57 anos, acumulando cerca de 200.000 observações e medidas sobre o clima na área de Manchester.

Porém uma das contribuições mais importante à ciência foi sua teoria de que a matéria é composta por átomos de diferentes massas que se combinam em proporções simples para formarem compostos.

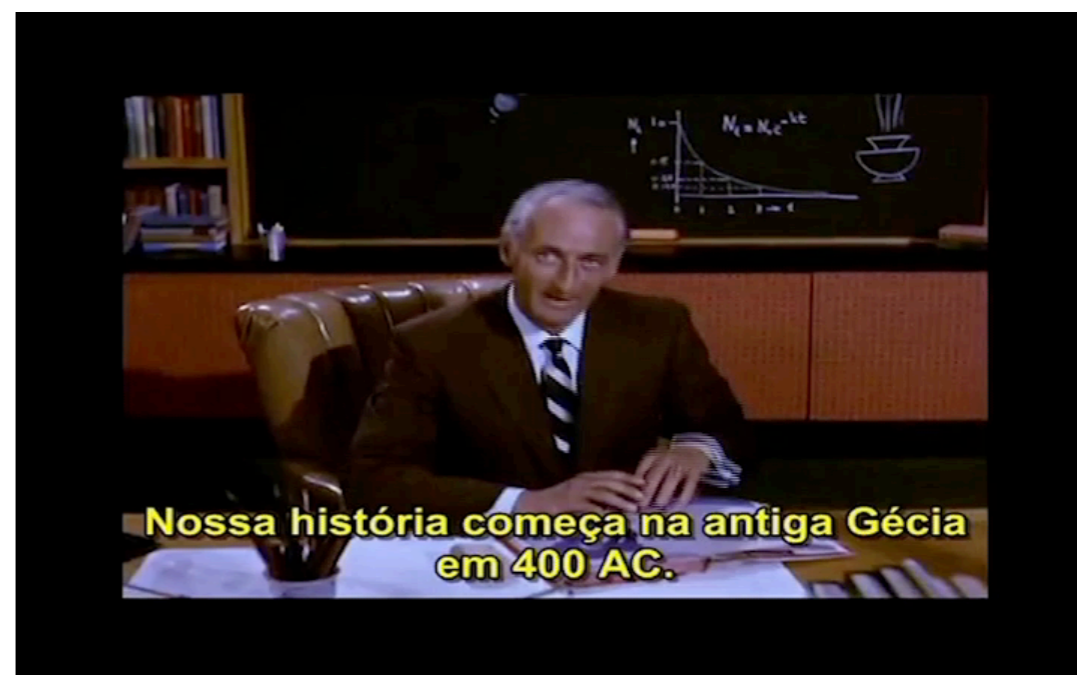
De acordo com Dalton, quando uma massa fixa de um elemento reage com um segundo elemento para formar substâncias diferentes, as massas desse segundo elemento guardam entre si uma relação de números inteiros e pequenos.

Ora que as massas de um mesmo elemento guardassem uma relação entre números inteiros e pequenos, elas deveriam variar de forma descontínua. Para que isso acontecesse, tais massas deveriam ser múltiplas inteiras de determinada quantidade mínima.

Dalton então propôs que átomo era uma esfera maciça, homogênea, indestrutível e intransformável.

Teoria esta, formulada em 1803, a qual é a pedra angular da física moderna. Dalton foi eleito membro da Real Sociedade de Londres em 1822 e, quatro anos mais tarde, onde lhe foi concedida à medalha de ouro desta sociedade.

Trecho da animação: Nosso amigo átomo.



A animação “Nosso amigo átomo” foi produzida pela empresa Walt Disney. Episódios disponível no endereço: <https://youtu.be/OrbQwVkRjyE>

Hipótese de Avogadro

(Ao professor e aluno)

No século XIX. A Química começava a se tornar uma ciência mais exata. A Lei das Proporções Definidas e a Lei das Proporções Múltiplas eram bem aceitas em 1808, quando John Dalton publicou *New System of Chemical Philosophy* (Novo Sistema de Filosofia Química). Ele propunha que os átomos de cada elemento teriam um peso atômico característico, e que eram eles as unidades combinantes nas reações químicas. Como não possuía métodos exatos para medir os pesos atômicos, acabou assumindo – erroneamente – que os compostos mais comuns formados por dois elementos possuíam um átomo de cada um.

Durante esse tempo, Gay-Lussac estudava as reações químicas dos gases e descobriu que as razões de volumes dos gases reagentes eram pequenos números inteiros. Isso forneceu um método mais lógico para a designação dos pesos atômicos. Gay-Lussac não se deteve em todas as implicações de seu trabalho. Mas Dalton percebeu que uma simples relação inteira

entre volumes de gases reagentes implicava em uma relação igualmente simples entre partículas reagentes. Entretanto, ele ainda misturava os conceitos de partículas e de átomos, e não aceitava a idéia de que uma partícula de oxigênio originaria duas partículas de água. Isso representava uma ameaça direta à sua relativamente nova Teoria Atômica. Por conta disso Dalton tentou desacreditar o trabalho de Gay-Lussac.

“M. Gay-Lussac mostrou em uma idéia interessante que os gases sempre se unem de uma forma muito simples:

proporção em volume, e que quando o resultado da união é um gás, seu volume é muito simplesmente relacionado com os de seus componentes. Mas as proporções quantitativas de substâncias em compostos parecem apenas depender do número relativo de moléculas compostas que resultam. Deve-se então admitir que também existem relações muito simples entre os volumes de substâncias gasosas e o número de moléculas simples ou compostas que as formam. A primeira hipótese a apresentar a este respeito, e aparentemente mesmo a única admissível, é a suposição de que o número de moléculas

integradas em qualquer gás é sempre o mesmo para volumes iguais ou sempre proporcional aos volumes.”

Avogadro foi o primeiro a publicar, em 1811, a idéia de que os elementos químicos poderiam existir como moléculas. Uma palavra latina (utilizada até então indiscriminadamente - Molécula tem origem no latim “*moles+culum*”, significa massa pequena) que ele adotou para sua hipótese, que explicava por que misturar um volume de gás hidrogênio com o mesmo volume de gás cloro não resultava no dobro de volume de gás. A razão era a formação de compostos mistos dos dois elementos chamados moléculas.

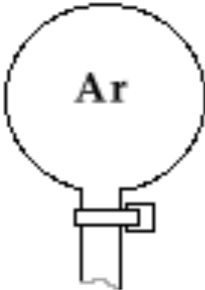
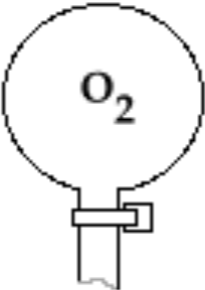
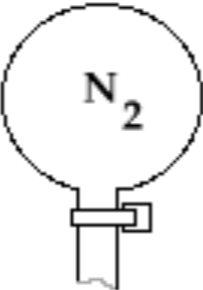
			
Volume:	22.4 L	22.4 L	22.4 L
Mass:	40 g	32 g	28 g
Quantity:	1 mol	1 mol	1 mol
Pressure:	1 atm	1 atm	1 atm
Temperature:	273 K	273 K	273 K

Fig. 1 - O volume que contém 1 mol é chamado volume molar

A conclusão final de seu trabalho, de que "volumes iguais de todos os gases à mesma temperatura e pressão contêm o mesmo número de moléculas", ficou conhecida como o Princípio de Avogadro

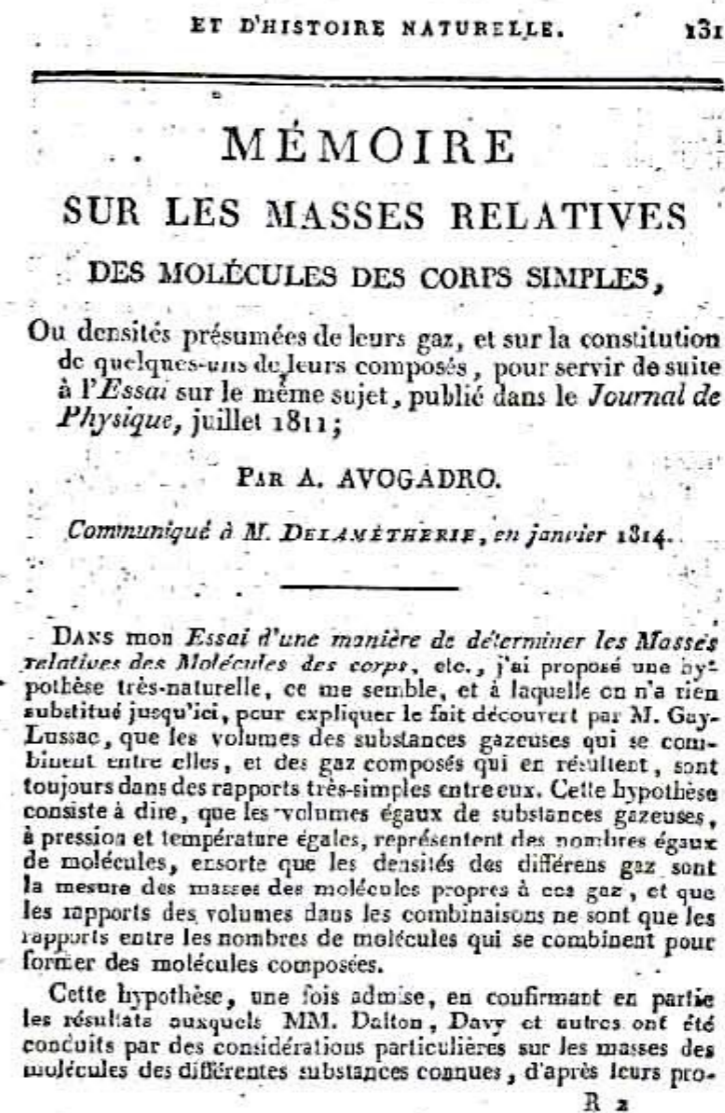


Fig.2 - Artigo de 1911 de Avogadro

Mas como toda teoria nova, Avogadro também foi alvo de críticas dos contestadores de sua hipótese. Os nomes mais famosos são Dalton, claro e Berzelius.

O conceito central introduzido por Dalton, o peso atômico apresentava uma grande dificuldade. Como determiná-lo? Esta era a questão. Então, a hipótese de Avogadro completaria a teoria atômica, mas Dalton não concordava com a idéia de que volumes iguais de gases diferentes continham o mesmo número de partículas. Então, o período compreendido entre a proposta de Avogadro e o Congresso de Karlsruhe foi caracterizado por divergências metodológicas e conceituais entre esses estudiosos da Química.

Determinação da Constante de Avogadro

(Ao professor e aluno)

O primeiro cientista a medir o número de moléculas em qualquer substância foi LOSCHMIDT (1865), que usou a então nova Teoria Cinética dos Gases para calcular o número de Avogadro. O número obtido, com muita imprecisão, foi algo em torno de $2,6 \times 10^{19}$. As primeiras medições precisas do Número de Avogadro só começaram a ser feitas quando Einstein publicou o artigo sobre o movimento Browniano.

No artigo de Einstein (1905) sobre o movimento browniano há propostas para a estimativa do número de Avogadro, isto é, a elaboração de um método para obtenção de tal constante. Jean

Baptiste Perrin, usando a teoria do movimento Browniano desenvolvida por Einstein, realizou várias experiências, a partir de 1908, com o intuito de determinar o valor do número de Avogadro, obtendo um valor de $6,82 \times 10^{23}$ moléculas em cada mol. Com isso, Perrin ganhou o Prêmio Nobel de Física no ano de 1926.

Existem várias outras maneiras para determinação da constante de Avogadro, sendo que atualmente a técnica mais utilizada para tal finalidade é chamada de método de densidade cristalina por raios-X.

A constante de Avogadro tem dimensões de mol recíprocas e seu valor é igual a **$6,022 \times 10^{23}/\text{mol}$** , sendo que a constante de dada em unidades básicas.

Thompson

Modelos Atômicos de Thompson e Rutherford

(Ao professor e aluno)

No final do século passado começou a haver uma mudança no conhecimento da estrutura das moléculas e nos átomos. Essa mudança teve início com as descargas elétricas em gases rarefeitos. O resultado mais importante obtido foi a descoberta do elétron por J.J. Thompson. Essas descobertas tornaram-se possíveis somente devido ao aperfeiçoamento das técnicas de bombas de vácuo, que até então eram pouco eficientes.

No caso das descargas elétricas nos gases, as primeiras experiências foram feitas por Hertz, o qual, não tinha bombas de vácuo muito poderosas, o que levou a concluir de que aquela descarga elétrica em um gás rarefeito era um fenômeno ondulatório, o que conhecemos hoje como raios catódicos. Hertz não conseguiu observar o efeito de campos magnéticos sobre aquela descarga, e por isso acreditava tratar-se de um fenômeno de radiação eletromagnética. Tal observação acontecia porque sobrava muito gás dentro do tubo, e as colisões desses elétrons com o gás mascaravam a deflexão do elétron pelo campo magnético.

J.J. Thompson conseguiu realizar o experimento, rarefazendo mais o gás, observando dessa forma a deflexão daquelas partículas, e mediu a relação e/m para cada uma das partículas. Obteve-se assim a massa do elétron. Vale citar de que o nome elétron já havia sido anteriormente proposto por Johnstone Stoney, físico irlandês, que se tornou famoso por introduzi-lo como unidade fundamental da eletricidade.

A descoberta do elétron por Thompson foi fundamental, pois a partir daí que realmente começou a se desenvolver conhecimento sobre estrutura atômica. Inclusive com a descoberta da partícula elétron foi possível um aperfeiçoamento muito maior sobre a teoria de campo.

J.J. Thompson apresentou ainda um novo modelo de átomo, chamado de Modelo de Thompson, que foi posteriormente abandonado. Suas conclusões era que em um átomo não poderia haver somente elétrons, pois sendo negativos, haveria repulsão. Dessa forma propôs que o átomo continha elétrons espalhados em uma densidade contínua de carga positiva, assim o átomo ficava eletricamente neutro.

Rutherford

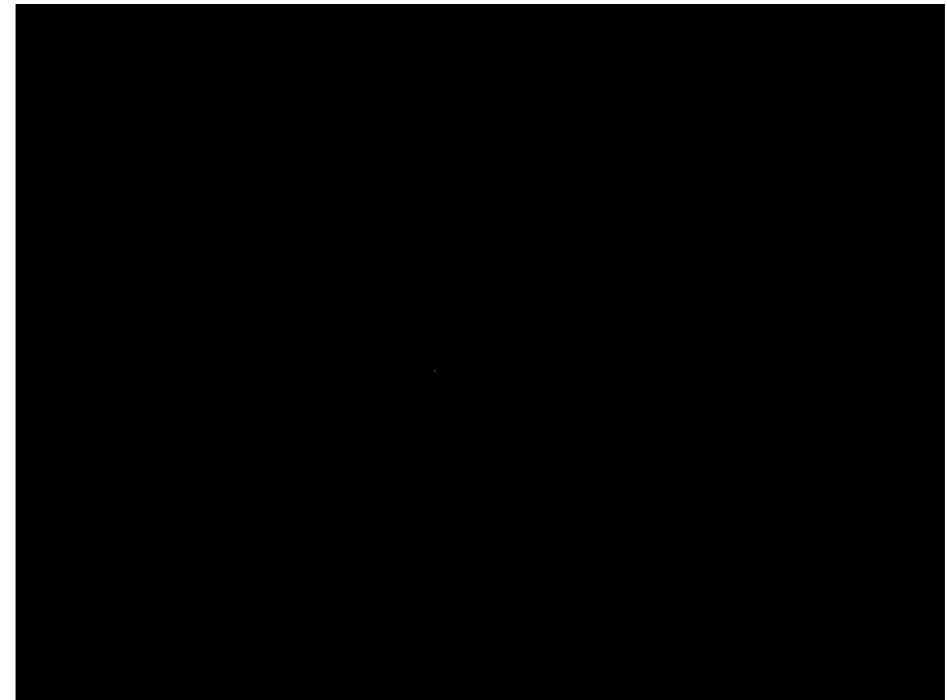
Descoberta de Rutherford (Ao professor e aluno)

Rutherford, Geiger e Marsden posteriormente, descobriram que o átomo não tinha a estrutura proposta por Thompson. Foi aí que surgiu o modelo atômico de Rutherford, no qual a carga positiva estava concentrada toda no núcleo. Eles descobriram isso de forma experimental, bombardeando finíssimas folhas de ouro com feixes paralelos de partículas alfa. Essas partículas, muitas com grande energia, sofriam, algumas vezes, deflexões, o que indicava que a carga elétrica positiva do átomo deveria estar concentrada numa pequena região, ou seja, no núcleo, era desviada com um ângulo muito grande. Dessa forma chegou-se ao próton.

Muito antes do nêutron ter sido descoberto, Ernest Rutherford já suspeitava de sua existência; uma partícula da mesma massa do próton, mas sem carga elétrica. Baseando no fato de que quando se somava a massa dos prótons, o resultado dessa soma era muito menor do que a massa real do átomo. A explicação dada era de que havia um número maior de prótons do que se supunha, mas que dentro do núcleo havia também um certo número de elétrons que neutralizavam uma parte de carga desses prótons. Depois, com a mecânica quântica, concluiu-se que era impossível a existência de elétrons dentro

do núcleo. Rutherford tinha recursos insignificantes para realizar suas experiências.

Trecho da animação Nosso Amigo Átomo



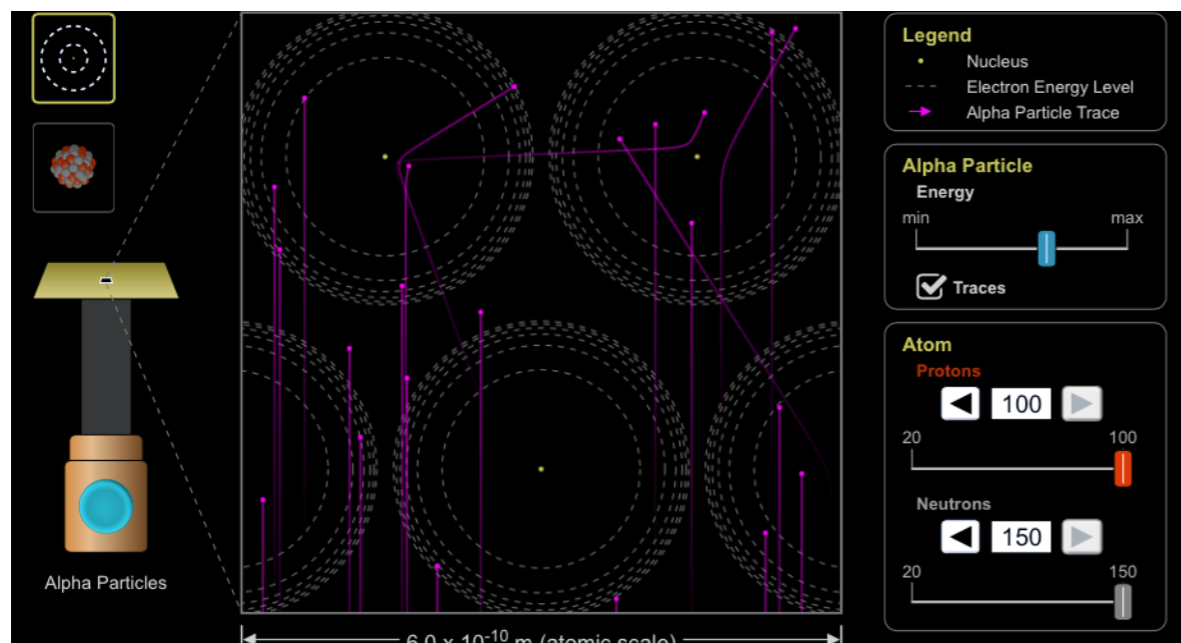
Esse trecho da animação descreve a radioatividade desde o descobrimento por Becquerel até o modelo atômico de Rutherford. Disponível: <https://youtu.be/wUu3zN0wWTs>

Caro **professor**.

Abaixo é disponibilizado um simulador do modelo atômico de Rutherford, o qual tem por objetivo melhor ilustrar a experiência que foi realizada por Rutherford e sua equipe.

Dessa forma o aluno tem a oportunidade de visualizar algo mais próximo do que pode ter acontecido no modelo de Rutherford, auxiliando dessa forma na abstração do conceito, que muitas vezes, acaba ficando apenas nas ilustrações de livros didáticos.

SIMULADOR DO MODELO ATÔMICO DE RUTHERFORD



Para ir ao simulador clique no Título ou clique [aqui](#).

Capítulo 5

Nascimento da Física Quântica



Lei de Planck

“A descoberta científica e o conhecimento científico só foram alcançados por aqueles que os perseguiram sem terem em vista um propósito prático ou coisa do tipo.” Max Planck, 1959 MAX PLANCK (1858-1947)

A música foi o primeiro amor de Max Planck na escola, em Munique. Quando ele perguntou a um músico onde ele deveria ir para estudar música, este respondeu que se ele precisava fazer essa pergunta, era melhor procurar outra coisa para fazer. Ele se dedicou à física, mas seu professor reclamava que a física era uma ciência completa: não havia nada mais para descobrir. Felizmente, Planck o ignorou e prosseguiu até desenvolver o conceito de quanta. Planck amargou as mortes de sua esposa e de seus dois filhos nas guerras mundiais. Permanecendo na Alemanha, ele conseguiu reerguer a pesquisa física depois da Segunda Guerra. Hoje os prestigiosos institutos Max Planck carregam seu nome.

No final do século XIX, físicos conheciam a radiação de corpo negro e já tinham medido seu padrão de frequências. Mas eles não conseguiam explicá-lo. Diferentes teorias eram capazes de descrever parte desse comportamento, mas não ele todo. Wilhelm Wien cunhou uma equação que previa a rápida atenuação de frequências azuis. Enquanto isso, Lorde Rayleigh e James Jeans explicavam o aumento do espectro vermelho. Mas nenhuma fórmula era capaz de descrever ambas as extremidades. A solução de Rayleigh e Jeans sobre o espectro crescente era particularmente problemática. Sem um modo de estancar o aumento, a teoria previa uma liberação infinita de energia em comprimentos de onda na faixa do ultravioleta ou menores. Esse problema era conhecido como a “catástrofe ultravioleta”. A solução veio do físico alemão Max Planck, que na época estava tentando unificar as físicas do calor e da luz. Planck gostava de pensar matematicamente e de atacar problemas físicos a partir do zero, começando do básico. Fascinado pelas leis fundamentais da física, notavelmente a segunda lei da termodinâmica e as equações do eletromagnetismo de Maxwell, ele decidiu provar como ambas estavam conectadas.

Quanta: Planck manipulava suas equações de modo confiante, sem se preocupar com o que isso poderia significar na vida real. Para tornar a matemática mais fácil de ser manipulada, ele bolou um truque esperto. Parte do problema era o eletromagnetismo ser descrito em termos de ondas. A temperatura, por outro

lado, é um fenômeno estatístico, com a energia do calor compartilhada entre muitos átomos ou moléculas. Planck então decidiu tratar o eletromagnetismo da mesma forma que a termodinâmica. No lugar de átomos, ele imaginou campos eletromagnéticos gerados por pequenos osciladores. Cada um poderia assumir certa quantia da energia eletromagnética, que era compartilhada entre muitas dessas outras entidades elementares. Planck atribuiu uma frequência a cada uma dessas energias, de modo que $E = hv$, em que E é energia, v é a frequência da luz e h é um fator constante, hoje conhecido como constante de Planck. Essas unidades de energia foram batizadas com o termo quanta, do latim quantum que significa quantidade. Nas equações de Planck, os quanta de radiação de alta frequência têm energias correspondentemente altas.

Em 1901, Planck publicou sua lei, que foi bastante aclamada por ter resolvido o problema perturbador da “catástrofe ultravioleta”. O conceito dos quanta de Planck era totalmente teórico – os osciladores não eram necessariamente reais, e sim uma construção matemática útil para alinhar as físicas de ondas e de calor. Mas ao surgir no começo do século XX, quando nossa compreensão da luz e do mundo atômico avançava rapidamente, a ideia de Planck teve implicações além de qualquer coisa imaginável. Ela se tornou a raiz da teoria quântica.

Caro **Professor**.

Nesse ponto, pode/deve ser retomado a parte sobre o corpo negro, o qual foi abordado anteriormente dentro dos conceitos de Física Clássica, aqui tem-se uma leve abordagem sobre o espectro de corpo negro que vem do espaço. Assim como mediador e orientador, o professor pode se utilizar de tais conceitos e trazer para os alunos uma abordagem de astronomia e um pouco de cosmologia. Pode ser indicado, aqui, a leitura do livro “O universo numa casca de noz” do Físico Stephen Hawking, o qual nos trás conceitos físicos - em uma linguagem acessível até para leigos - que permeiam as origens do nosso universo.

O legado de Planck no espaço:

Um tênue brilho de micro-ondas com a temperatura exata de 2,73 Kelvins emana de todas as direções no céu. Ele teve origem no Universo bastante jovem, cerca de cem mil anos após o Big Bang, quando os primeiros átomos de hidrogênio se formaram. À medida que o Universo se expandiu, a energia hoje, tem seu pico na faixa de micro-ondas do espectro, seguindo a lei dos corpos negros. Essa radiação cósmica de fundo de micro-ondas foi detectada nos anos 1960 e mapeada em detalhe nos anos 1990 por um satélite da Nasa, o COBE (Cosmic Background Explorer). A última missão europeia para estudar as micro-ondas de fundo foi batizada com o nome Planck.

Efeito Fotoelétrico e a dualidade onda-partícula

Uma série de experimentos mirabolantes no século XIX mostrou que a teoria da luz como onda estava errada ou ao menos era insuficiente. Ficou claro que a luz que incide sobre uma superfície de metal desloca elétrons, cujas energias só podem ser explicadas se a luz for feita de fótons – projéteis – e não de ondas.

(Ao professor e aluno)

Heinrich Hertz brincava com centelhas ao tentar construir um receptor de rádio primitivo. A eletricidade enviada, crepitando entre duas esferas de metal no transmissor, desencadeava outra faísca em um segundo par no receptor – compondo um dispositivo chamado gerador de centelha.

A segunda faísca estalava mais facilmente, ele notou, quando as esferas do receptor estavam mais próximas – em geral separadas por algo em torno de um milímetro. Mas, estranhamente, centelhas também surgiam mais facilmente quando o aparato era banhado por luz ultravioleta e isso não fazia muito sentido.

Philipp Lenard, um assistente de Hertz, voltou ao laboratório. Ele reduziu o gerador de centelha a sua forma básica: duas superfícies de metal posicionadas no vácuo dentro de um tubo de vidro. As placas internas estavam separadas, mas conectadas do lado de fora do tubo por um cabo e um amperímetro para formar um circuito elétrico. Lenard apontou luzes de diferentes brilhos e frequências para a primeira placa, enquanto mantinha a segunda no escuro. Quaisquer elétrons expelidos da primeira placa voariam pela lacuna e atingiriam a segunda, completando o circuito e fazendo uma pequena corrente fluir.

Lenard descobriu que luz brilhante produzia mais elétrons do que luz tênue, como esperado, dado que mais energia estava incidindo sobre a placa. Mas a variação

da intensidade de luz quase não tinha efeito sobre a velocidade dos elétrons expelidos. Tanto fontes brilhantes como tênues produziam elétrons com a mesma energia, que ele media aplicando uma leve voltagem oposta para detê-los. Isso era inesperado – com maior energia sendo aplicada pela luz intensa, ele esperava encontrar elétrons mais rápidos.

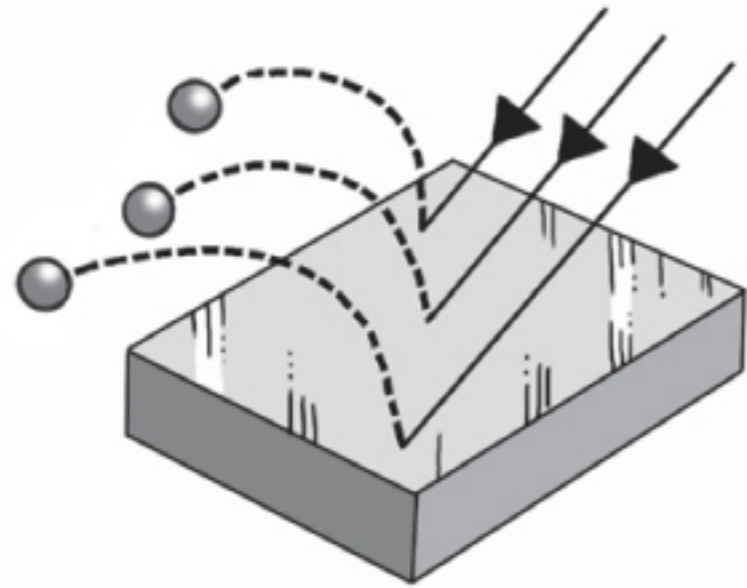


Figura 17 - Luz azul expelle elétrons para fora de metais.

Cores da luz

Outros físicos se voltaram ao problema, incluindo o americano Robert Millikan. Testando raios de diferentes cores, ele descobriu que a luz vermelha não era capaz de deslocar nenhum elétron, não importando qual fosse a intensidade da fonte. Mas as luzes ultravioleta ou azul funcionavam bem. Diferentes metais tinham diferentes “frequências de corte”, abaixo das quais a luz não

conseguia desalojar elétrons. A energia (velocidade) dos elétrons emitidos além desse limiar crescia com a frequência da luz. O gradiente dessa relação é conhecido como constante de Planck.

Esse comportamento era surpreendente: de acordo com as ideias da época, ondas de luz deveriam funcionar de maneira oposta. Ondas eletromagnéticas que banham a superfície de metal deveriam arrancar os elétrons aos poucos. Assim como ondas em tempestades carregam mais energia do que marolas, quanto mais intensa a luz, mais energéticos e numerosos deveriam ser os elétrons desalojados.

A frequência também não deveria ter nenhum efeito – em termos de energia aplicada a um elétron estático, não deveria existir muita diferença entre muitas ondas oceânicas pequenas ou umas poucas grandes. Entretanto, pequenas ondas rápidas expeliam elétrons com facilidade, enquanto grandes ondas lentas, não importando quão monstruosas fossem essas ondas, eram incapazes de movê-los.

Outro quebra-cabeça era que os elétrons estavam sendo desalojados rápido demais. Em vez de levar algum tempo para absorver firmemente a energia da luz, elétrons pulavam instantaneamente, mesmo com níveis baixos de luz. Por analogia, uma pequena “marola” era capaz de chutar o elétron para fora do metal. Ao final, algo deveria estar errado com a ideia da luz como simplesmente uma onda eletromagnética.

Fótons-bala de Einstein: Em 1905, Albert Einstein explicou as propriedades estranhas do efeito fotoelétrico com uma ideia radical. Em 1921, ele ganhou o prêmio Nobel por esse trabalho, não pela relatividade. Raciocinando sobre o conceito dos quanta de energia de Max Planck, Einstein argumentou que a luz existe em pequenos pacotes. Os quanta de luz foram depois batizados de “fótons”.

Einstein sugeriu que era a energia de fótons individuais, os quais atuavam como balas ou projéteis, que “chutavam” os elétrons para fora do metal. Apesar de não ter massa, cada fóton carrega certa quantidade de energia, em proporção à sua frequência. Fótons azuis e ultravioletas, em termos de energia, são mais intensos que os vermelhos. Isso poderia explicar por que a energia dos elétrons desalojados também aumenta com a frequência da luz e não com seu brilho.

Um fóton vermelho não vai desalojar nenhum elétron porque não contém energia suficiente para fazê-lo, ao contrário de um fóton azul. Um fóton ultravioleta, que tem ainda mais energia, expulsaria um elétron com mais velocidade. Ajustar a intensidade não ajuda. Assim como o disparo de uma uva não vai deter uma bala de canhão, aumentar o número de fótons vermelhos não vai deslocar elétrons.

A ideia dos quanta de luz de Einstein não decolou logo de cara. Mas uma enxurrada de experimentos que confirmaram que a energia em excesso, a partir do limiar de corte dos elétrons

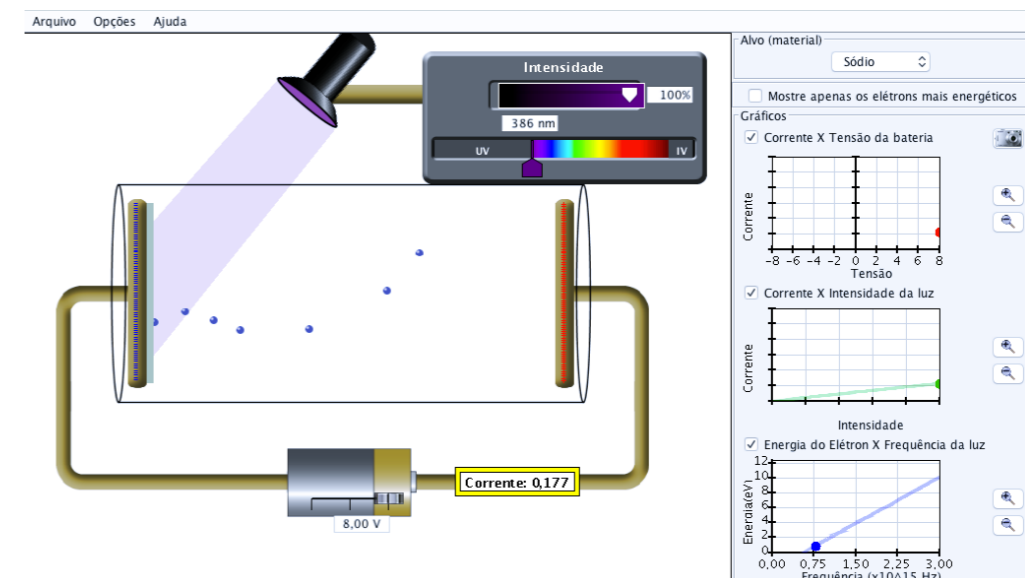
libertados crescia com a frequência da luz, rapidamente tornaram essa ideia maluca um fato.

Caro **Professor**.

Diante do efeito fotoelétrico, tem-se um simulador do mesmo, o qual deve ser usado para que o aluno possa visualizar o fenômeno que foi explicado por Albert Einstein.

Como os demais simuladores, o mesmo também ajuda ao aluno sair dos conceitos abstratos, proporcionando aos mesmos um melhor entendimento, quanto ao fenômeno físico.

SIMULADOR EFEITO FOTO ELÉTRICO



Para acessar o simulador clique no título ou no presente link: https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/photoelectric

DUALIDADE ONDA-PARTICULA

(Ao professor e aluno)

ALBERT EINSTEIN (1879-1955)

Em 1905, Albert Einstein publicou três estudos de física, todos eles impactantes. Era uma verdadeira façanha para um físico alemão que trabalhava meio período no Escritório de Patentes da Suíça, em Berna. Os estudos explicavam o movimento browniano, o efeito fotoelétrico e a relatividade especial. Em 1915, eles se seguiram de outro marco, a teoria da relatividade geral. Essa teoria foi comprovada de maneira espetacular apenas quatro anos depois por observações durante um eclipse solar. Einstein se tornou um nome familiar. Ele recebeu o prêmio Nobel em 1921 pelo seu trabalho com o efeito fotoelétrico. Em 1933, Einstein se mudou para os Estados Unidos. Ele assinou uma famosa carta alertando o presidente Roosevelt sobre o risco de os alemães desenvolverem uma arma nuclear, o que levou à criação do Projeto Manhattan. Einstein ao saber da criação do Projeto Manhattan, enviou outra carta ao Presidente Roosevelt solicitando para que não usassem a arma Nuclear.

A proposta feita por Einstein em 1905 de que a energia da luz era transmitida como pacotes de energia – fótons –, e não como ondas contínuas, era tão controversa que foram necessárias quase duas décadas e muitos testes adicionais até que fosse aceita. No início, ela pareceu reabrir o debate polarizado do século XVII de do que era feita a luz. Na realidade, ela anunciava uma nova compreensão da relação entre matéria e energia.

Nos anos 1600, Isaac Newton argumentou que a luz deveria se constituir de partículas, pois viajava em linhas retas, refletia-se organizadamente e desacelerava em materiais “refratários” como o vidro. Christiaan Huygens e, depois, Augustin-Jean Fresnel mostraram que a luz deveria ser uma onda, em razão do modo com que contornava obstáculos, difratava, refletia e entrava em interferência. James Clerk Maxwell consolidou a teoria ondulatória nos anos 1860 com suas quatro equações, resumindo o eletromagnetismo.

A proposta de Einstein de que a luz era feita de partículas chacoalhou o barco. E, mais do que isso, criou uma tensão desconfortável que ainda perdura. Isso porque a luz não é onda ou partícula – é ambas. E o mesmo vale para todas as ondas eletromagnéticas. Em busca da luz O comportamento da luz em uma variedade de experimentos mostra como ela é caprichosa.

Ela se comporta como uma série de torpedos sob algumas circunstâncias, como no aparato do efeito fotoelétrico, e como onda em outras. Em qualquer medida que fazemos sobre sua essência, a luz ajusta seu comportamento de modo que aquele lado de sua natureza se revele no experimento ao qual a sujeitamos.

Físicos elaboraram experimentos perspicazes para flagrar a luz e revelar sua “verdadeira” natureza. Nenhum deles conseguiu capturar sua essência pura. Variantes do experimento de dupla fenda de Young levaram a dualidade onda-partícula a seu limite, mas a sinergia permanece.

Quando a intensidade da luz é tão tênue que em princípio estaria passando um único fóton entre as fendas, de forma que ele estaria inferindo com ele mesmo. No momento da observação da passagem do fóton, o padrão de interferência desaparece. Fótons individuais se acumulam para formar coletivamente as familiares franjas estreitas. Se fecharmos uma fenda, os locais dos fótons disparados revertem para uma figura ampla de difração. Abra a fenda de novo, e as fendas reaparecem de cara.

O fóton se comporta como se estivesse passando simultaneamente pelas duas fendas. Se você tenta localizá-lo, digamos, posicionando um detector em uma delas, o padrão de interferência desaparece estranhamente. O fóton se torna uma partícula quando você o trata como tal. Em todos os casos

testados pelos físicos, as franjas de interferência aparecerão ou desaparecerão de acordo com o tratamento dado aos fótons.

LOUIS-VICTOR DE BROGLIE (1892-1987)

Pretendendo se tornar diplomata, Louis de Broglie entrou para a Sorbonne, em Paris, em 1909 para estudar história, mas logo mudou para a física. Após servir na seção de telégrafos do exército, baseada na Torre Eiffel, durante a Primeira Guerra Mundial, ele retornou para a Sorbonne para continuar seus estudos em física matemática. Inspirado pelo trabalho de Max Planck com a radiação de corpo negro, de Broglie apresentou sua teoria da dualidade onda-partícula em sua tese de doutorado em 1924, ganhando depois o prêmio Nobel em 1929.

Ondas de matéria A dualidade onda-partícula não se aplica apenas à luz. Em 1924, Louis-Victor de Broglie sugeriu que partículas de matéria – ou qualquer objeto – também podem se comportar como ondas. Ele designou um comprimento de onda característico para todos os corpos, grandes ou pequenos. Quanto maior o objeto, menor o comprimento de onda. Uma bola de tênis que voa sobre uma quadra tem comprimento de onda de 10^{-34} metros. Muito menor do que a largura de um próton. Como

objetos macroscópicos têm comprimentos de onda minúsculos, pequenos demais para enxergarmos, não podemos flagrá-los comportando-se como ondas.

Três anos depois, a ideia de Louis-Victor de Broglie foi confirmada: elétrons foram vistos em difração e interferem, assim como a luz. Já se sabia que a eletricidade era carregada por partículas – os elétrons – desde o final do século XIX. Assim como a luz não precisava de um meio para trafegar, em 1897, Joseph John (J. J.) Thomson mostrou que a carga elétrica poderia atravessar o vácuo, de modo que só uma partícula poderia fazer. Isso não se encaixou bem na crença de que os campos eletromagnéticos eram ondas. Em 1927, nos Laboratórios Bell, em Nova Jersey, Clinton Davisson e Lester Germer dispararam elétrons em um cristal de níquel. Os elétrons que emergiam estavam espalhados pelas camadas atômicas na estrutura do cristal e os raios que escapavam de lá se mesclavam para produzir um padrão de difração reconhecível. Elétrons estavam em interferência, do mesmo modo que a luz. Os elétrons estavam se comportando como ondas.

Uma técnica similar estava sendo usada para determinar a estrutura de cristais ao disparar raios X através deles – a cristalografia de raios X. Apesar de não haver certeza sobre sua origem quando foram descobertos em 1895 por Wilhelm Conrad Röntgen, logo se constatou que os raios X eram uma forma de radiação eletromagnética de alta energia.

Em 1912, Max von Laue se deu conta de que os curtos comprimentos de onda dos raios X eram comparáveis ao espaçamento entre os átomos de cristais; então, se fossem irradiados entre suas camadas, sofreriam difração. A geometria do cristal poderia então ser calculada pelas posições das áreas brilhantes que resultariam disso. Esse método foi usado na famosa prova da estrutura de dupla hélice do DNA em 1950.

Um experimento ligado a estes provou o conceito de fóton de Einstein em 1922. Arthur Compton teve sucesso na dispersão de raios X a partir de elétrons, medindo a pequena mudança de frequência que resultou daí – conhecida com efeito Compton. Tanto fótons de raios X quanto elétrons estavam se comportando como bolas de bilhar. Einstein estava certo. Além disso, todos os fenômenos eletromagnéticos se comportavam como partículas.

“Para a matéria, bem como para a radiação, em particular a luz, precisamos introduzir ao mesmo tempo o conceito de corpúsculo e o conceito de onda.”

Louis de Broglie, 1929

Hoje, físicos testemunham o comportamento onda-partícula em nêutrons, fótons e moléculas – até mesmo das grandes, como as bolas de futebol de carbono microscópicas conhecidas como buckyballs.

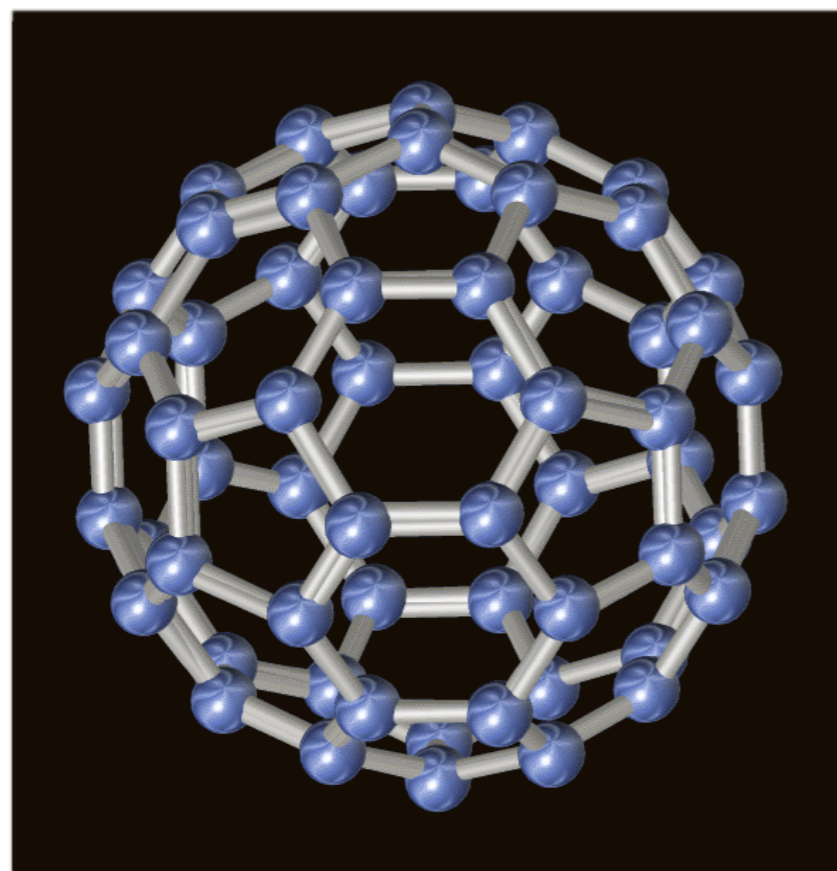


Figura - Estrutura de um *buckyballs*.

Caro professor.

Quanto aos conceitos de Buckyballs, os mesmo fazem parte de funções orgânicas e que são trabalhados em Química Orgânica na 3ª série do Ensino Médio.

Aqui podemos verificar mais um motivo importante da abordagem da Mecânica Quântica com a Química.

As estruturas moleculares, não apenas os fulerenos, mas todas que são estudadas em Química Orgânica, tem como base fundamental conceitos a Mecânica Quântica

AFINAL O QUE SÃO BUCKYBALLS??

Os fulerenos (*buckyballs*) são uma forma alotrópica do Carbono, a terceira mais estável após o diamante e o grafite. Tornaram-se populares entre os químicos, tanto pela sua beleza estrutural quanto pela sua versatilidade para a síntese de novos compostos químicos.

A descoberta dos fulerenos ocorreu em setembro de 1985 quando um grupo de cientistas, nomeadamente Harold Walter Kroto e Richard Errett Smalley, obtiveram uma série de estruturas químicas com 44 a 90 átomos de carbono, aparecendo em maior concentração aquelas com 60 átomos de carbono. Foi a primeira nova forma alotrópica a ser descoberta no século XX, e valeu a Kroto, Robert Curl e Smalley o Prêmio Nobel de Química em 1996.

Aqueles cientistas buscavam compreender os mecanismos para a formação de longas cadeias de carbono observadas no espaço interestelar. A técnica utilizada no experimento consistia na

vaporização do carbono a partir da irradiação de uma superfície de grafite com emprego de laser num jato pulsado de hélio de alta densidade, a uma temperatura de 104°C.

As amostras assim obtidas eram analisadas por espectrometria de massa o que possibilitou a identificação de fragmentos contendo 60 átomos de carbono. Foi então proposta uma estrutura semelhante a uma bola de futebol, apresentando 32 faces, 20 hexagonais e 12 pentagonais, batizada inicialmente como buckminsterfulereno, em homenagem ao arquiteto estadunidense Richard Buckminster Fuller, renomado pelos seus trabalhos apresentando cúpulas geodésicas, formadas a partir de faces hexagonais, combinadas com pentágonos.

Em 2010, o telescópio Spitzer detectou pela primeira vez "buckyballs" no espaço.

Os buckminsterfulerenos, bucky-bolas, ou apenas "fulerenos", constituem uma vasta família de nanomoléculas superaromáticas, simétricas, compostas por dezenas de átomos de carbono sp^2 -hibridizados, dispostos nos vértices de um icosaedro truncado.

Experimento da Dupla Fenda

Os objetos quânticos as vezes se comportam como partículas e às vezes se comportam como ondas. Esta dicotomia é conhecida como dualismo onda-partícula e tem intrigado grandes nomes da ciência. Para compreender o que significa o dualismo onda-partícula, pense em como as partículas e as ondas se comportam no mundo macroscópico.

(Ao professor e aluno.)

Caro professor.

Neste momento se faz necessário recordar conceitos da mecânica ondulatória, enfatizando suas propriedades, como frequência, velocidade, comprimento de onda, difração, etc.

Vale lembrar que é interessante que o aluno tenha como base o mundo macroscópico, com relação ao comportamento das ondas, para que assim possa compreender melhor o dualismo onda-partícula.

No mundo macroscópico, a energia pode viajar na forma de uma onda ou de uma partícula. as partículas transferem energia através de colisões, enquanto as ondas transferem energia através do movimento coletivo de um meio ou de campos eletromagnéticos. As entidades do mundo macroscópico podem ser classificadas como ondas ou como partículas e vários experimentos podem ser usados para determinar se uma entidade é uma onda ou uma partícula.

O mais famosos destes experimentos é o experimento da dupla fenda que utiliza um anteparo com duas fendas no qual incide uma onda ou um feixe de partículas.

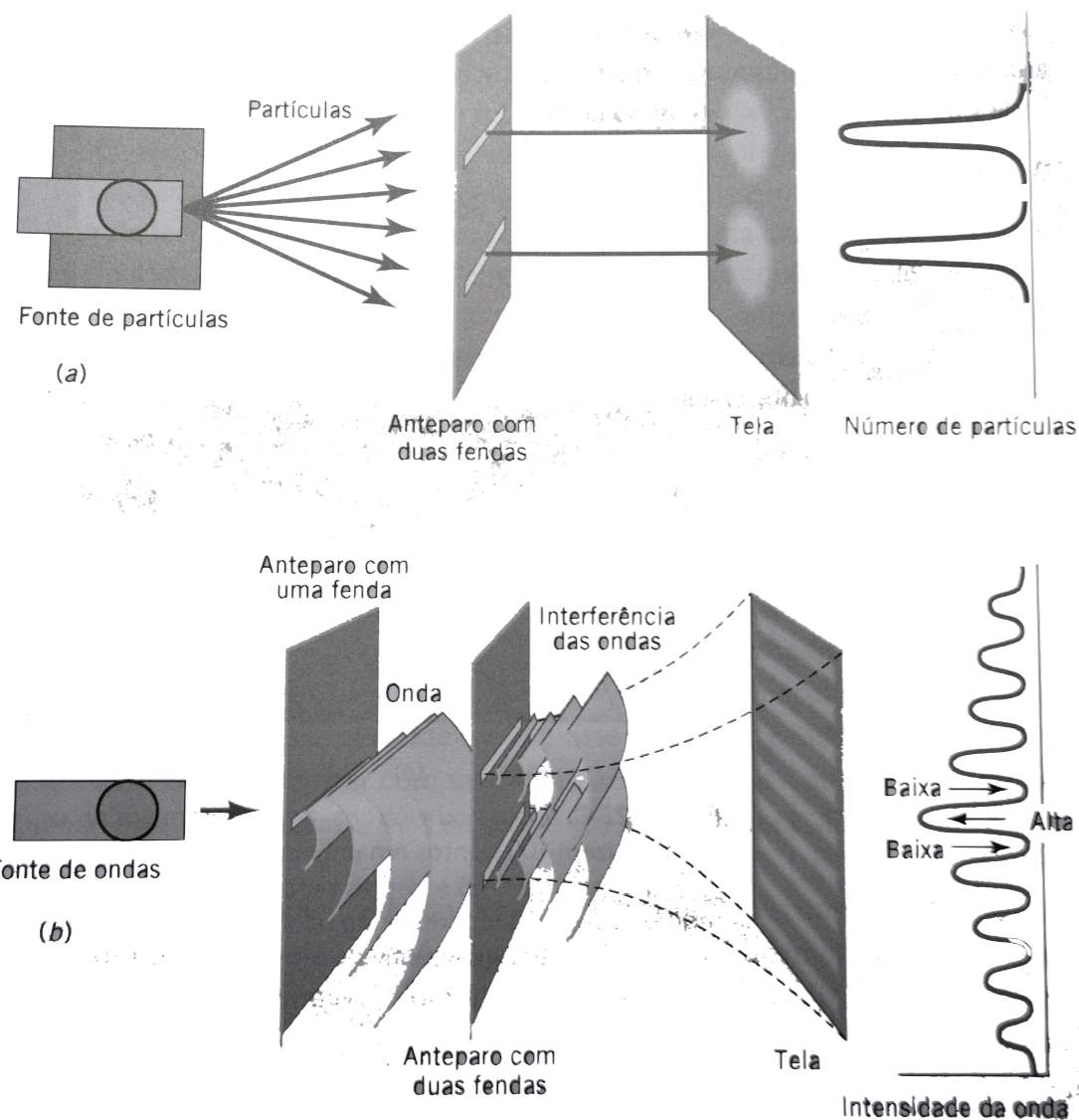
quando um feixe de partículas incide no anteparo. se você estivesse observando uma tela do outro lado do anteparo, veria as partículas se acumularem na tela nas duas regiões situadas atrás das fendas. Você não esperaria observar muitas partículas na região situada entre as fendas.

anteparo com duas fendas, as partículas tendem a se acumular nas regiões atrás das fendas. (b) Quando uma onda incide em um anteparo com duas fendas, a interferência entre as ondas que passam pelas duas fendas produz uma série de picos. O objetivo do primeiro anteparo, com uma única fenda, é assegurar que as ondas que chegam ao segundo anteparo estejam em fase.

Quando uma onda sonora incide no anteparo, por outro lado, devemos esperar que ocorram os fenômenos associados à interferência construtiva e destrutiva. Em vez de duas regiões de alta intensidade sonora situadas atrás das duas fendas, teremos talvez meia dúzia de regiões de alta intensidade, intercaladas com regiões de baixa intensidade.

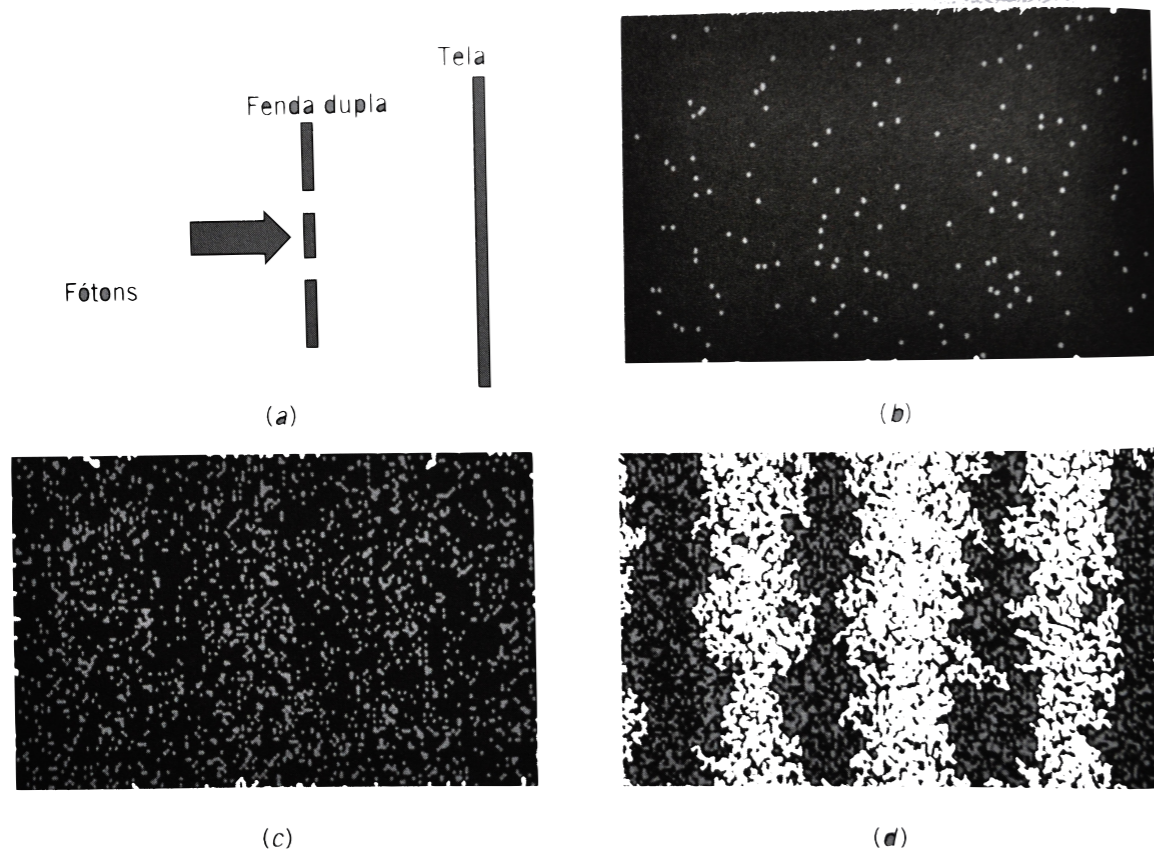
Sabe-se que a luz é emitida em pacotes chamados *fótons*. Os fótons se comportam como partículas, já que ocupam uma posição definida no espaço, é possível montar um experimento no qual um fóton é emitido em um certo local e recebido em outro local após um intervalo de tempo apropriado. Entretanto, quando iluminamos (ou seja, bombardeamos com fótons) um anteparo com duas fendas, obtemos uma figura de interferência. Neste tipo de experimento, os fótons se comportam como ondas. A questão é a seguinte: como é possível que às vezes os fótons se comportem como ondas e às vezes se comportem como partículas?

Ao diminuir a taxa de geração de fótons, de maneira que apenas um fóton, de cada vez, chegue ao anteparo, é possível observar que cada fóton atinge um ponto específico da tela depois de passar por uma das fendas, comportamento esperado de uma



O experimento da fenda dupla pode ser usado para determinar se um objeto é uma partícula ou uma onda. (a) quando um feixe de partículas incide em um

partícula. Quando deixamos os fótons se acumularem durante um longo período de tempo, porém, eles formam uma figura de interferência típica de uma onda.



Fótons ou elétrons, ao passarem um de cada vez por um anteparo com duas fendas (a), produzem 100 pontos em um filme fotográfico (b). Quando o número de fótons ou elétrons aumenta para 3000 (c) e depois para 70.000 (d), uma figura de interferência começa a aparecer. As regiões claras são lugares onde ocorre interferência construtiva; as regiões escuras são lugares onde ocorre interferência destrutiva.

Louis de Broglie (1892 - 1987) foi o primeiro a expressar esta natureza ondulatória das partículas quânticas em forma matemática. Ele formulou uma pergunta simples: se pensarmos

nas partículas quântica como ondas e partículas ao mesmo tempo, qual será a relação entre as propriedades mecânicas (como o momento) e as propriedades ondulatórias (como comprimento de onda) da mesma partícula? o resultado que ele obteve conhecido como *relação de de Broglie*.

1 - Em palavras:

O momento de um objeto (considerado como uma partícula) é igual à constante de Planck dividida pelo comprimento de onda do mesmo objeto (considerado como uma onda).

2 - Em uma equação com palavras:

(momento) = (Constante de Planck)/(Comprimento de Onda)

3 - Em uma equação com símbolos:

$$p = h/\lambda$$

Onde p é o momento, h é a constante de Planck e λ é o comprimento de onda.

O dualismo onda-partícula não se restringe aos fótons. é possível fazer experimentos semelhantes com qualquer objeto quântico: Elétrons, por exemplo, ou mesmo átomos inteiros. todos podem se comportar como partículas ou como ondas, dependendo do tipo de experimento. Quando o experimento se destina a

investigar as propriedades corpusculares do objeto, ele se comporta como uma partícula; quando o experimento tem por objetivo investigar as propriedades ondulatórias, ele se comporta como uma onda.

Alguns cientistas chegaram a tentar “enganar” as partículas quânticas decidindo que tipo de experimento seria realizado apenas depois que o objeto quântica estava a caminho do detector. Estes cientistas descobriram que o objeto quântico parece “saber” que tipo de experimento esta sendo realizado, já que os experimentos destinados a observar propriedades corpusculares sempre revelam que os objetos são partículas e os experimentos destinados a observar propriedades ondulatórias sempre revelam que os objetos são ondas.

Na verdade, os objetos quânticos não são nem partículas nem ondas no sentido clássico e sim um terceiro tipo de entidade, que apresenta propriedades de ambas. Se insistimos em pensar nestes objetos como se fossem bolas de sinuca ou ondas do mar, acabamos nos perdendo em um labirinto de contradições.

É como se uma pessoa tivesse passado toda sua vida vendo apenas as cores vermelhas e verde, acreditando que tudo que existe no mundo é vermelho ou verde. Se em algum momento ela se deparasse com um objeto azul, ficaria totalmente confusa. A única solução seria admitir que o problema não estava na natureza, mas na suposição de que não existia nada além do vermelho e do verde.

Da mesma forma, o problema do dualismo onda-partícula é consequência da suposição de que todos os objetos devem ser ondas ou partículas. Se admitirmos a possibilidade de que os objetos quânticos são entidades com as quais não estamos familiarizados e que portanto podem apresentar propriedades até então desconhecidas, o enigma desaparece. Entretanto, desaparece apenas se nos conformarmos em não tentar desenhar estes objetos ou fingir que são análogos a objetos macroscópicos.

Animação sobre o experimento da dupla fenda



Disponível no site:

<https://www.youtube.com/watch?v=GXAYW4a3OZY&t=277s>

Caro **professor**.

A animação sobre o experimento da fenda dupla do “Professor Quantum”, pode ser utilizado como uma introdução ou como uma forma de reforçar o conceito sobre a fenda dupla, no final da abordagem. Naturalmente que tal metodologia caberá ao professor em como utilizar tal animação.

O espectro do hidrogênio e a série de Balmer

TEXTO DESTINADO AO PROFESSOR

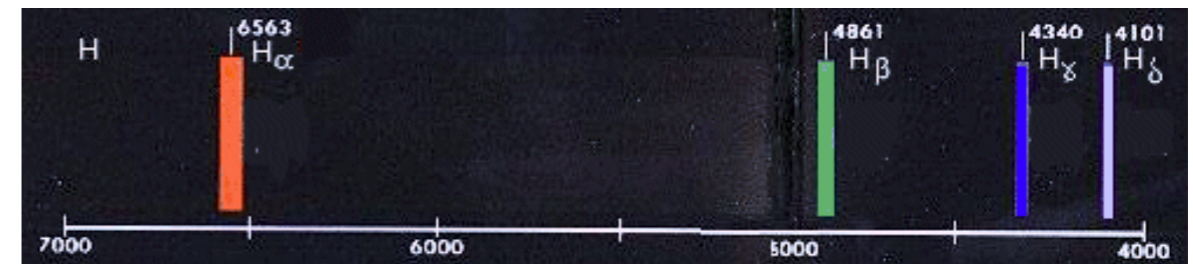
O ESPECTRO DO HIDROGÊNIO E A SÉRIE DE BALMER.

Caro professor.

O texto abordado no material sobre a série de Balmer e o espectro de hidrogênio, é um texto que dá apoio ao modelo atômico de Niels Bohr, pois o mesmo se utilizou da série de Balmer para poder formular e elaborar a sua hipótese.

Dessa forma, nesta seção, é dada uma ênfase na série de Balmer para dar suporte ao professor no momento da abordagem ao modelo atômico de Bohr.

O hidrogênio é o elemento mais leve e o que tem o espectro mais simples. O espectro do hidrogênio tem quatro raias mais ou menos intensas que são visíveis aos nossos olhos e várias outras que não são. A figura abaixo mostra as quatro linhas visíveis. Cada raia tem um nome de batismo dado pelos espectroscopistas: a vermelha, por exemplo, é a raia H_{α} .



Os números indicam o comprimento de onda da luz de cada componente em uma unidade chamada Angstrom, muito usada em espectroscopia. É um comprimento pequeno; 1 Angstrom vale 0,00000001 centímetros, ou 10^{-8} cm.

Veja abaixo uma tabela listando as quatro raias do espectro visível do hidrogênio. Cada raia é identificada por sua cor, seu nome, seu comprimento de onda em Angstroms e um número inteiro 'n' que terá papel fundamental em nosso relato.

COR	NOME	λ (em Angstroms)	n
VERMELHO	H_{α}	6563	3
VERDE	H_{β}	4858	4
AZUL	H_{γ}	4340	5
VIOLETA	H_{δ}	4101	6

Em 1885, o professor secundário suíço Johann Balmer meditou sobre esses números procurando um jeito de organizá-los. Esse é o ofício dos cientistas: dar ordem e sentidos aos números obtidos nas experiências. E Balmer teve sucesso. Depois de algumas tentativas achou uma fórmula relativamente simples que condensa todos os dados da tabela acima. É a seguinte:

$$\lambda_n = 3644 \left(\frac{n^2}{n^2 - 2^2} \right)$$

Nessa fórmula, **n** é o comprimento de onda, em Angstroms, da raia de número **n** do espectro do hidrogênio. **n** é um inteiro igual ou maior que 3.

Vejamos se ela dá certo para a raia vermelha que tem $n = 3$. Substituindo $3^2 = 9$ na fórmula, achamos:

$$3 = 3644 \left(\frac{9}{9 - 4} \right) = 6562,8 \text{ Angstroms!}$$

Pegue a calculadora e faça as contas para as outras três linhas. Leve em conta que pequenas discrepâncias são naturais e devidas às incertezas experimentais.

Logo se notou que essa fórmula também servia para as linhas invisíveis do espectro do hidrogênio, bastando trocar o 2^2 da fórmula por outro número ao quadrado. Por exemplo, usando $1^2=1$, obtemos a série de Lyman, do ultravioleta, com valores de n tomados de 2 para cima. Do outro lado do espectro estão outras raias invisíveis, na faixa chamada de infravermelho. Os comprimentos de onda dessas séries de raias também são obtidas da fórmula de Balmer, trocando o 2^2 por 3^2 etc, e usando ns maiores que 3, 4 etc.

Tudo isso foi generalizado pelo físico sueco Johannes Rydberg, em 1890, com uma fórmula que engloba a fórmula de Balmer e inclui todas as raias do espectro do hidrogênio, visíveis ou não. É a seguinte:

$$\frac{1}{\lambda} = R_H \left(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right)$$

Veja o significado dos personagens dessa fórmula:

n_f é um inteiro cujo valor indica que série de linhas a fórmula representa. Para a série de Lyman (ultravioleta), $n_f = 1$; para a série de Balmer (visível), $n_f = 2$; para a série de Paschen (infravermelho), $n_f = 3$ etc.

n_i é o mesmo n da fórmula de Balmer. Para cada série, seu valor começa com $n_f + 1$ e vai subindo. Portanto, n_i é sempre maior que n_f .

R_H é uma constante chamada de número de Rydberg e vale $R_H = 0,0010968 \text{ (A}^{-1}\text{)}$.

Pegue novamente a calculadora e comprove que a fórmula de Rydberg dá certo para as linhas da série de Balmer. Não esqueça que o comprimento de onda está ao inverso nessa fórmula.

Na época de Balmer e Rydberg, ninguém entendia porque o espectro do hidrogênio se ajusta tão bem a essas expressões relativamente simples. Quem deu o primeiro passo para desvendar esse enigma foi o dinamarquês Niels Bohr, como veremos.

Niels Bohr e seu modelo atômico.

CARO PROFESSOR

Aqui podemos perceber que a importância do modelo atômico de Bohr dentro da Química é imensa, explicando muitos fenômenos químicos até mesmo a estrutura de toda a tabela periódica, tópico, esse, que é tratado na sequência.

Nesta seção, pagina 69, é tratado o conceito de ligações químicas (Covalente ou Molecular, Iônica e metálica) partir de uma visão clássica, de uma forma mais superficial. Recomendamos, que se o professor quiser tratar de tal assunto de forma mais aprofundada, busque outras referências bibliográficas mais completas do que apenas o ebook.

Foi inserido no final do tema um simulador de Saltos Quânticos, para ajudar a elucidar a ideia do modelo atômico de Bohr.

(Ao professor e aluno)

Em 1913, o físico dinamarquês Niels Bohr aprimorou o modelo do átomo de Rutherford ao determinar como os elétrons se arranjam em torno do núcleo. Bohr imaginou que elétrons negativamente carregados trafegariam por órbitas em torno de um núcleo carregado positivamente, assim como planetas orbitam o Sol. Ele também explicou por que suas órbitas ficam a distâncias específicas do centro, ligando a estrutura atômica à física quântica.

A teoria do átomo de Bohr foi extremamente revolucionário. Ele elaborou sua teoria para o átomo de hidrogênio, com um próton e um elétron.

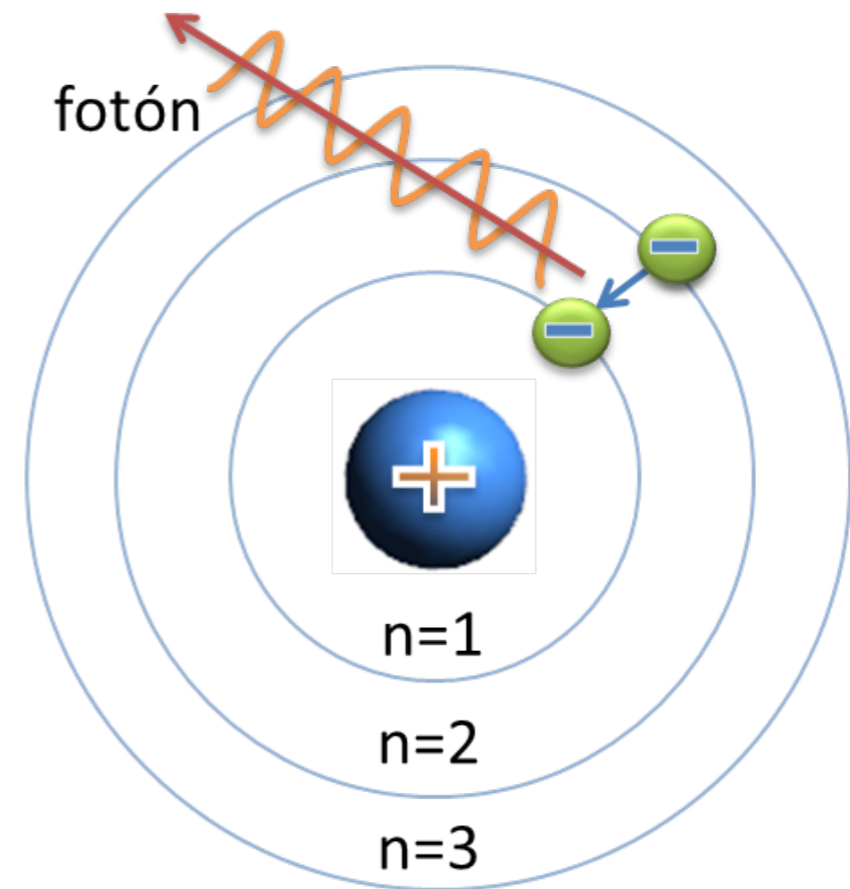
Elétrons são mantidos próximos ao núcleo por meio de forças eletrostáticas – a atração mútua entre cargas positivas e negativas. Mas cargas em movimento, ele sabia, deveriam perder energia. Assim como movimentar uma corrente elétrica é algo que gera um campo em torno de um fio ou em um radiotransmissor, mover elétrons é algo que emite radiação eletromagnética.

Bohr ao começar seus trabalhos, ainda não tinha conhecimento sobre a fórmula espectroscópica de Balmer, foi só em meio as suas pesquisas que teve conhecimento da mesma, e então se baseou nessa fórmula para elaborar sua teoria. De qualquer maneira, para Bohr, havia algo de estranho no movimento do elétron em torno do próton e no espectro em forma de linhas.

Sabia, por meio da eletrodinâmica de Maxwell, que uma carga elétrica em movimento acelerado emite sempre uma radiação eletromagnética. Ora, se o elétron é uma carga elétrica girando, ele é acelerado e, portanto, deveria ir perdendo energia e cair sobre o núcleo. Porém, isso não acontece, átomos não colapsam espontaneamente, e nenhum desses sinais de alta frequência jamais foi encontrado. Foi a partir daí que Bohr abandona as teorias eletromagnética de Maxwell e a Mecânica de Newton.

Bohr propôs que o elétron descrevia órbitas discretas, e que enquanto o elétron estava se movendo numa dessas órbitas, não emitia nenhuma radiação eletromagnética, o que era contrário à teoria de Maxwell. Um dos postulados fundamentais de Niels Bohr é que o elétron só emitia radiação quando passava de uma órbita de maior energia para uma de menor energia. Essa diferença energética entre as órbitas é que era transportada pela radiação, sob a forma de fótons. Assim, a partir da fórmula de Balmer que Niels Bohr induziu que a energia liberada pelo elétron saltando de uma órbita para outra era emitida sob a forma de um fóton de Einstein.

Elétrons, Bohr postulou, podem se mover entre órbitas subindo e descendo na escala, como se galgassem os degraus de uma escada. Esses passos são conhecidos como saltos ou pulos quânticos. A diferença de energia entre os degraus é adquirida ou perdida com o elétron absorvendo ou emitindo luz de uma frequência correspondente. Isso produz as linhas espectrais.



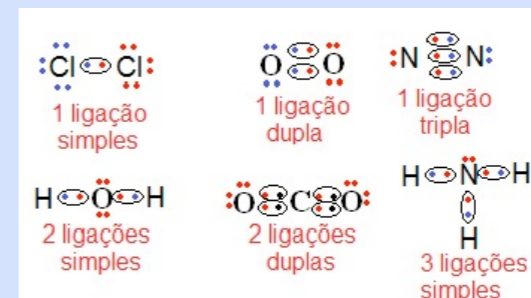
Para determinação das órbitas, Bohr admitiu uma coisa que contradizia frontalmente a mecânica de Newton. Ele admitia que só eram possíveis orbitais em que o momento angular do elétron fosse um múltiplo inteiro da constante de Planck “h”. Admitindo que só eram possíveis certos valores do momento angular, o que violava a mecânica de Newton, segundo a qual qualquer valor do momento angular era permitido. Dessa forma, Bohr explicou as discontinuidades das linhas espectrais dadas pela fórmula de Balmer e as frequências luminosas correspondentes.

O momento angular de cada uma das camadas aumenta de modo que cada órbita subsequente tenha 1, 2, 3, 4 vezes o da primeira, e assim por diante. Os valores inteiros para diferentes estados de energia dos elétrons são conhecidos como os “números quânticos” primários: $n = 1$ corresponde à órbita mais baixa, $n = 2$ à seguinte, e assim sucessivamente. Dessa maneira, Bohr pode descrever o conjunto de energias do hidrogênio, o átomo mais simples, com um elétron orbitando um único próton. Essas energias se encaixavam bem nas linhas espectrais do hidrogênio, solucionando um antigo quebra-cabeça. Bohr estendeu seu modelo para átomos mais pesados, que têm mais prótons e nêutrons em seus núcleos e mais elétrons em órbita. Ele supôs que cada órbita poderia conter apenas certo número de elétrons e que elas se preenchem das energias mais baixas para as mais altas. Quando um nível estava lotado, os elétrons passavam então a se acumular em camadas mais altas.

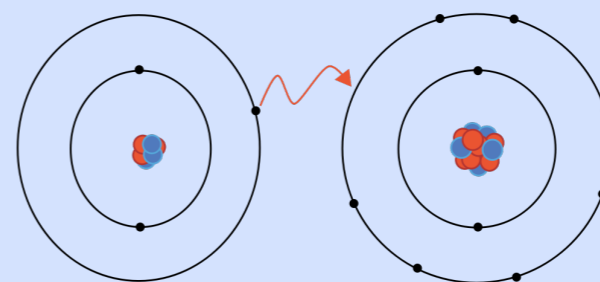
Como a vista dos elétrons mais externos para o núcleo está parcialmente bloqueada pelos elétrons internos, eles não sentem uma força atrativa tão grande do centro quanto sentiriam se estivessem sós. Elétrons próximos também repelem um ao outro. Então, o nível de energia de átomos grandes é diferente daqueles do hidrogênio. Modelos modernos mais sofisticados funcionam melhor do que o original de Bohr para explicar essas diferenças.

TIPOS DE LIGAÇÕES QUÍMICAS (ABORDAGEM CLÁSSICA)

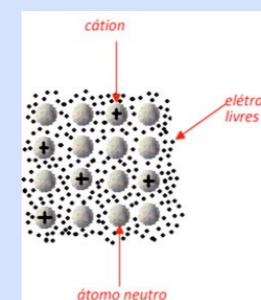
Ligação covalente: pares de elétrons são compartilhados por dois átomos na última camada, para que assim possam satisfazer a regra do octeto.



Ligação iônica: elétrons de um átomo de baixa eletronegatividade são transferidos (na maioria são átomos de elementos metálicos) para outro átomo com maior eletronegatividade (átomos de elementos não metálicos), resultando em íons positivos e negativos que se atraem mutuamente.



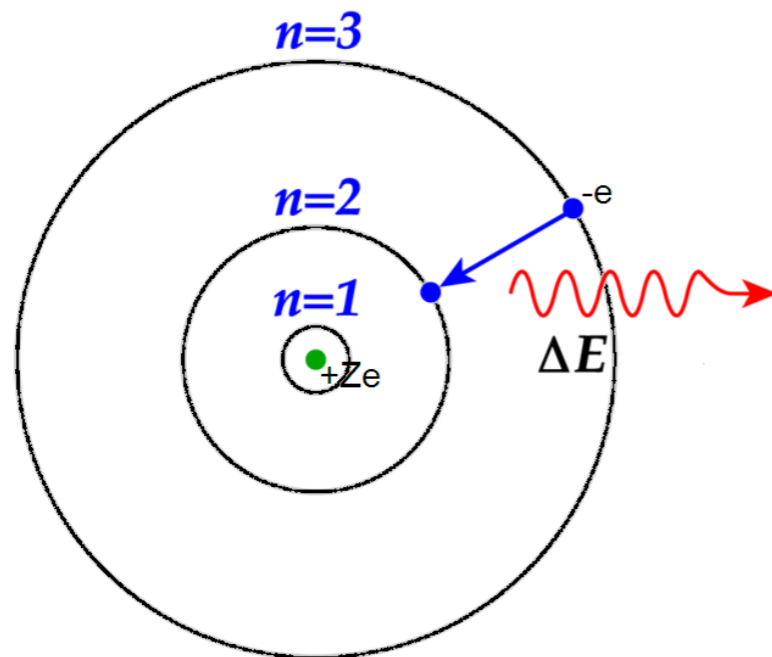
Ligações metálicas: íons positivos são ilhas num mar de elétrons



ELÉTRONS SALTITANTES

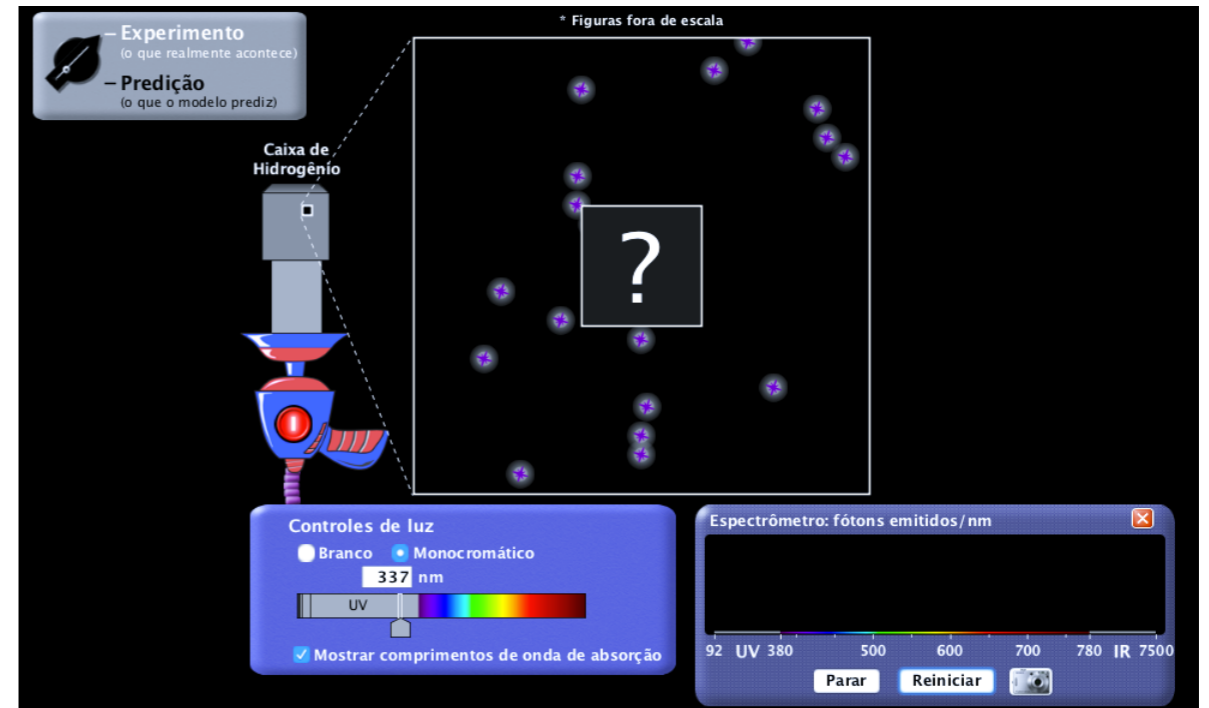
Elétrons podem pular de uma órbita para outra, ganhando ou perdendo radiação eletromagnética de uma frequência (f) proporcional à diferença de energia (ΔE), de acordo com a relação de Planck, em que h é a constante de Planck:

$$\Delta E = E_2 - E_1 = h f$$



SIMULADOR DE SALTOS QUANTICOS E DEMAIS MODELOS ATOMICOS.

Para acessar o simulador clique no titulo ou clique [aqui](#).



Modelo de Bohr e a Tabela Periódica

Caro professor.

Há uma tabela interativa que se encontra no final da abordagem do tema.

Tal tabela ajuda a elucidar muitas das propriedades periódicas que aparecem na classificação do elementos.

Ao abrir a mesma, poderá notar que há uma aba “Orbitais”, nessa aba, o aluno e o professor, poderão visualizar toda a configuração eletrônica de cada elemento químico, desde a distribuição de elétrons nos orbitais como também a forma desses orbitais em figuras 3D. O que vem facilitar a interpretação e a visualização de uma forma mais próxima a realidade do aluno.

Vale lembrar que para o acesso a tabela, necessitará de uma conexão a internet.

Tabela Periódica dos Elementos

(Ao professor e alunos.)

A Tabela Periódica dos Elementos, que reúne de forma sistemática todos os elementos químicos, constitui um poderoso instrumento conceitual para a compreensão da estrutura e das interações dos átomos. Dmitri Mendeleev, o cientista russo que inventou a tabela periódica no século XIX, atribuiu a cada elemento um número inteiro conhecido como número atômico. Hoje sabemos que o número atômico corresponde a número de prótons do átomo e também, no

caso de um átomo neutro, ao número de elétrons que cercam o núcleo. Quando dispomos os elementos da forma mostrada a baixo, com os elementos ficando progressivamente mais pesados quando prosseguimos da esquerda para a direita e

The image shows a standard periodic table of elements. Each element is represented by a colored box containing its atomic number, symbol, and name. The colors are used to group elements into blocks: s-block (orange), p-block (green), d-block (purple), and f-block (pink). The f-block is shown as two rows below the main table.

de cima para baixo, como se estivéssemos lendo um livro, elementos na mesma coluna possuem propriedades químicas muito semelhantes.

A característica mais marcante da tabela periódica é a semelhança entre os elementos pertencentes a mesma coluna. Assim, por exemplo, a coluna da extremidade esquerda da tabela contém elementos altamente reativos conhecidos como metais alcalinos (lítio, sódio, potássio, etc.). Estes elementos formam compostos (chamados sais) combinando-se, na proporção de um para um, com elementos da sétima coluna (flúor, cloro, bromo, etc.).

Os elementos da segunda coluna (berílio, magnésio, cálcio, etc.), conhecidos como metais alcalino-terrosos, também possuem propriedades semelhantes. Assim, por exemplo, todos se combinam com o oxigênio na proporção de um para um para formar compostos incolores com alto ponto de fusão.

Os elementos da extremidade direita da tabela (hélio, neônio, argônio, etc.) são gases incolores e inodoros que praticamente, não participam de nenhuma reação química. Estes elementos, são conhecidos também como gases nobres, são usados em aplicações nas quais outros gases seriam excessivamente reativos. Assim, por exemplo, o hélio é empregado em dirigíveis por ser um dos gases mais leve que o ar, o outro gás mais leve que o ar é o hidrogênio, porém, ele pode causar explosões extremamente perigosas. O argônio é utilizado em lâmpadas

incandescentes por que se fosse utilizado o oxigênio ou até mesmo o nitrogênio, os mesmos reagiriam com o filamento de tungstênio da lâmpada.

No final do século XIX, os cientistas sabiam que a tabela periódica funcionava (ela ajudou a organizar os 63 elementos conhecidos na época e a prever a existência de outros) mas não tinham a menor idéia de como tudo isso funcionava. A confiança na tabela periódica foi fortalecida pelo fato de que, quando foi escrita pela primeira vez por Dmitri Ivanovich Mendeleev, continha algumas lacunas, ou seja, lugares nos quais devia existir um elemento mas que ainda não havia sido descoberto. A procura por esses elementos resultou na descoberta do escândio em 1876 e do germânio em 1886, cujas propriedades eram muito parecidas com as que tinham sido previstas na tabela.

Tabela Periódica e as camadas eletrônicas

Hoje sabemos que a disposição dos elementos na tabela periódica reflete a disposição dos elétrons em torno do núcleo atômico: um arranjo em camadas.

Quando dois átomos se aproximam um do outro o suficiente para participarem de uma reação química, como acontece quando um átomo de oxigênio e um átomo de carbono encontram-se em um pedaço de carvão que está queimando, os elétrons da última camada dos átomos são os primeiros a interagir. São estes

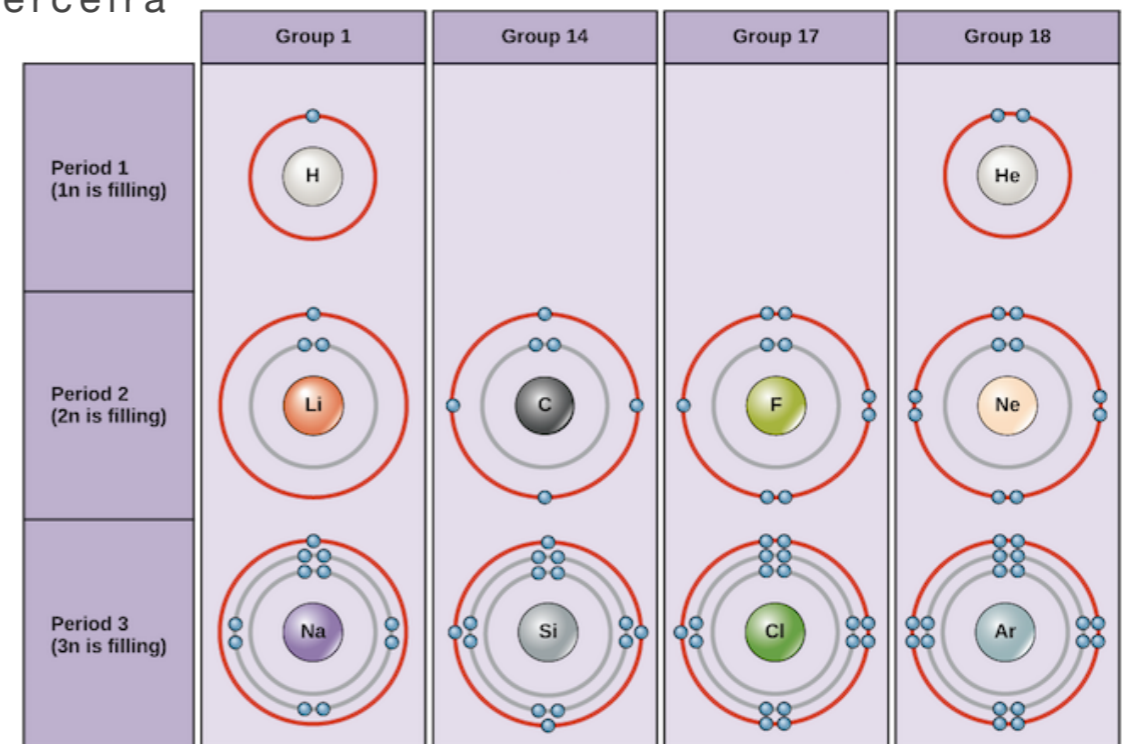
elétrons externos que estabelecem as propriedades químicas dos elementos.

No processo de estudar os átomos e seus elétrons, os físicos e químicos descobriram um fato curioso. Os elétrons obedecem ao chamado princípio de exclusão de Pauli, segundo o qual dois elétrons do mesmo átomo não podem ocupar o mesmo estado ao mesmo tempo (Vale lembrar aqui que o termo “estado” não é a mesma coisa que órbita ou camada; cada camada possui mais de um estado.). O número de estados depende da camada. A camada mais interna, que corresponde a menor energia possível, tem apenas dois estados disponíveis. Quando começamos a catalogar os elementos químicos, temos o elemento 1, Hidrogênio, com apenas um elétron na sua única camada, seguido do elemento 2, Hélio, com dois elétrons na mesma camada. Já no elemento 3, Litio o mesmo possui uma camada a mais que o Hidrogênio e o Hélio, onde tem-se um elétron nessa camada mais externa, chamada de segunda camada, pois a primeira já foi toda preenchida. Vale lembrar que a energia na segunda camada é maior que a da primeira, o que justifica do por que apenas o Hidrogênio (H) e o Hélio (He), aparecerem na primeira linha da tabela periódica.

Um fato interessante é que o Litio e o Hidrogênio estão na mesma coluna, não por que são elementos semelhantes nas propriedades físicas e/ou químicas, mas, por possuírem apenas um elétron na sua última camada.

Um fato na segunda camada é que tem espaço para até 08 (oito) elétrons. É por isso que existem oito elementos na segunda linha da tabela periódica, começando com o lítio e terminando com o neônio. O neônio está na mesma coluna que o hélio e esperamos que os dois elementos possuam propriedades químicas semelhantes, já que em ambos a última camada está totalmente preenchida. Tanto o hélio com o neônio são gases incolores e inodoros, que praticamente não participam de nenhuma reação química.

Dessa forma, a simples contagem de estados disponíveis para os elétrons nas primeiras duas camadas mostra por que existem dois elementos na primeira linha da tabela periódica e oito elementos na segunda linha. Cálculos semelhantes revelam que a terceira



camada comporta 8 elétrons, a quarta 18 e assim por diante.

Desta forma, a misteriosa regularidade que Mendeleev havia encontrado entre os elementos químicos pode finalmente ser explicada.

TABELA PERIÓDICA DINÂMICA

The image shows a screenshot of the 'Tabela Periódica Dinâmica' website. The page features a periodic table with various elements highlighted in different colors. A large element card for Cadmium (Cd) is displayed, showing its atomic number (48), symbol, name, and atomic weight (112,411). The table is categorized into groups like 'Metais alcalinos', 'Metais alcalino-terrosos', 'Lantanídeos', 'Metais de transição', 'Metais de pós transição', 'Semimetais', 'Outros não metais', 'Halogênios', and 'Gases nobres'. The website header includes navigation links like 'Wikipédia', 'Propriedades', 'Orbitais', 'Isótopos', and 'Compounds', along with search and filter options.

Para acessar a tabela periódica dinâmica clique no título acima ou clique [aqui](#).

Linhas de Fraunhofer

CARO PROFESSOR

O texto hora abordador remete ao conceito de espectroscopia e mesmo a dispersão luminosa de Newton.

Aqui se faz necessário relembrar os conceitos que foram abordados no início do material.

Luz pode ser absorvida ou emitida quando um elétron de um átomo se move de um nível de energia para outro. Como as camadas dos elétrons ficam em energias fixas, a luz só pode adotar certas frequências e aparece como uma série de faixas – conhecidas como linhas de Fraunhofer – quando decomposta por um prisma ou uma grade de fendas.

Desde que Isaac Newton iluminou um prisma de vidro com um raio de sol no século XVII, sabemos que a luz branca é feita de uma mistura das cores do arco-íris. Mas, se você olhar mais de perto, o espectro da luz do Sol contém muitas listras pretas – como se fosse um código de barras. Comprimentos de onda específicos estão sendo cortados quando a luz do Sol passa pelas camadas gasosas exteriores da estrela.

Cada “linha de absorção” corresponde a um elemento químico em particular visto em vários estados e energias. Os comuns são o hidrogênio e o hélio, que compõem a maior parte do Sol, e produtos de sua queima, incluindo carbono,

oxigênio e nitrogênio. Ao mapear o padrão de linhas é possível analisar a química do Sol.

O astrônomo inglês William Hyde Wollaston viu linhas negras no espectro solar em 1802, mas a primeira análise detalhada dessas linhas foi conduzida em 1814 pelo fabricante de lentes alemão Joseph von Fraunhofer, que hoje empresta seu nome a elas. Fraunhofer conseguiu listar mais de 500 linhas; equipamentos modernos conseguem ver milhares.

Nos anos 1850, os químicos alemães Gustav Kirchhoff e Robert Bunsen descobriram em laboratório que cada elemento produz um conjunto único de linhas de absorção – cada um tem seu próprio código de barras. Elementos também podem emitir luz nessas frequências. Luzes de neon fluorescentes, por exemplo, emitem uma série de linhas brilhantes que correspondem aos níveis de energia dos átomos do gás neon dentro dos tubos.

A frequência precisa de cada linha espectral corresponde à energia de um salto quântico entre dois níveis de energia num átomo em particular. Se o átomo está num gás muito quente – como aquele no tubo de luz neon – os elétrons tentam se resfriar e perdem energia. Quando caem para um nível de energia inferior, eles produzem uma linha de emissão brilhante na frequência correspondente à diferença de energia.

Gases frios, por outro lado, absorvem energia de uma fonte de luz ao fundo, expulsando um elétron para um nível superior. Isso

resulta em uma linha negra – uma lacuna – no espectro da fonte de luz ao fundo. O estudo da química espectral, conhecido como espectroscopia, é uma técnica poderosa para revelar o conteúdo de materiais.

Grades - Em vez de usar prismas de vidro, trambolhos com poder limitado, um dispositivo com uma série de fendas estreitas paralelas pode ser inserido no raio de luz. Isso é chamado de grade de difração: Fraunhofer produziu as primeiras a partir de cabos alinhados.

Grades são ferramentas muito mais poderosas do que prismas e podem dobrar a luz em ângulos maiores. Elas também aproveitam as propriedades ondulatórias da luz. Um raio visto através de cada uma das fendas dispersa sua energia em razão da difração. O ângulo com que ele se curva cresce com o comprimento de onda da luz, mas é inversamente proporcional à largura da fenda. Fendas muito finas espalham a luz mais abertamente, e a luz vermelha é defletida mais do que a azul.

Quando há duas ou mais fendas, a interferência entre de ondas entra em ação – picos e vales das ondas de luz se somam ou se anulam, criando um padrão de listras claras e escuras, conhecidas como franjas, em uma tela. O padrão é feito de dois efeitos sobrepostos: o padrão de fenda única aparece, mas dentro de suas franjas há uma série mais fina de listras, cujas divisões são inversamente proporcionais à distância entre as duas fendas.

Físicos podem construir grades sob medida para dissecar o espectro da luz em resolução cada vez maiores ao variar a densidade e o tamanho das fendas. Grades de difração são muito usadas em astronomia para observar a luz de estrelas e galáxias e ver de que elas são feitas, uma vez que cada material tem um padrão específico.

Apesar de a luz branca se dispersar para formar um suave espectro vermelho-verde-azul, átomos emitem luz apenas em certas frequências. Esse código de barras de “linhas espectrais” corresponde aos níveis de energia de elétrons dentro deles. Os comprimentos de onda de elementos comuns, como hidrogênio, hélio ou oxigênio, são bem conhecidos dos experimentos de laboratório.

Linhas de emissões brilhantes aparecem quando um elétron está excitado e perde energia, caindo para um nível de energia menor e liberando o excesso na forma de um fóton. Linhas de absorção também são possíveis, se átomos são banhados com luz da energia certa para chutar elétrons para uma órbita mais alta. O código de barras aparece então como listras pretas contra um pano de fundo amplexo.

A frequência exata das linhas depende do estado de energia dos átomos e de eles estarem ionizados ou não – em gases muito quentes os elétrons mais externos podem ser arrancados. Por causa de sua precisão, as linhas espectrais são usadas para investigar muitos aspectos fundamentais da física de gases. As

linhas se ampliam mais em gases quentes pelo movimento dos átomos, o que se torna uma medida de temperatura. As intensidades relativas de diferentes linhas podem revelar ainda mais coisas, como quão ionizado está o gás.

DESVIO PARA O VERMELHO

Como os comprimentos de onda de linhas espectrais são conhecidos com precisão, eles são úteis para medir velocidades e distâncias em astronomia. Da mesma forma que uma sirene de ambulância soa mais aguda e depois mais grave após ela ter passado por nós – conhecida como efeito Doppler – ondas de luz de uma estrela ou uma galáxia que se afastam de nós parecem ter sido esticadas. As linhas espectrais chegam em comprimentos de onda ligeiramente maiores, e a diferença é conhecida como desvio para o vermelho. Linhas espectrais de objetos se movendo em nossa direção parecem ter comprimentos de onda ligeiramente menores, com o desvio para o azul. Na escala do cosmo, o fato de que a maior parte das galáxias sofre desvio para o vermelho e não para o azul prova que elas estão se afastando de nós – o Universo está se expandindo.

Mas uma inspeção mais detalhada deixa tudo mais complicado – a aparição de estruturas mais finas nas linhas espectrais nos diz mais sobre a natureza dos elétrons e tem sido instrumental em esquadrihar as propriedades dos átomos na escala quântica.

“Todas as leis das linhas espectrais e da teoria atômica surgiram originalmente da teoria quântica. Ela é o misterioso órgão no qual a natureza toca sua música dos espectros, da qual segundo o ritmo ela regula a estrutura dos átomos e dos núcleos.”

Arnold Sommerfeld, 1919

JOSEPH VON FRAUNHOFER (1787-1826)

Nascido na Baviera, Alemanha, Fraunhofer ficou órfão aos 11 anos e se tornou um aprendiz de vidreiro. Em 1801, ele quase morreu soterrado quando a oficina desmoronou. Ele foi resgatado por um príncipe – Maximiliano I José da Baviera – que sustentou sua educação e o ajudou a se mudar para um mosteiro especializado em vidraria fina. Lá ele aprendeu a fazer um dos melhores vidros ópticos do mundo e finalmente tornou-se diretor do instituto. Assim como muitos vidreiros da época, morreu cedo – aos 39 anos – em função do envenenamento por vapores de metais pesados usados no ofício.

Spin Eletrônico

CARO PROFESSOR

O tema abordado nesse tópico com relação ao spin eletrônico, ajuda a esclarecer a distribuição dos elétrons em um átomo, inclusive a forma geométrica das moléculas.

Vale ressaltar, que tal assunto deixou de ser abordado em vários livros didáticos de Química. Porém, o mesmo é de importância juntamente com o Princípio da Exclusão de Pauling, para uma melhor elucidação quanto a distribuição dos elementos na classificação periódica.

**“Um elétron não é mais
(nem menos) hipotético do
que uma estrela.”**

Arthur Stanley Eddington, 1932

Quando o hidrogênio quente brilha, emite uma série de linhas espectrais. Elas surgem quando os elétrons realizam saltos quânticos, pulando de um nível de energia maior para um menor, à medida que resfriam. Cada linha do espectro do hidrogênio corresponde a um salto em particular, quando a energia entre os níveis dos elétrons é convertida em luz da frequência correspondente.

Quando o elétron cai do segundo nível para o primeiro, ele emite luz com um comprimento de onda de 121 nanômetros (bilionésimo de metro), que fica na parte ultravioleta do espectro. Um elétron pulando do terceiro nível para o primeiro emite luz de maior energia, com um comprimento de onda menor, de 103 nm. A partir do quarto, são 97 nm. Como as camadas de elétrons ficam mais próximas entre si à medida que aumentam de energia, as lacunas de energia entre eles diminuem. As linhas de queda para determinada camada, então, tendem a se acumular na direção da ponta azul do espectro.

O conjunto de linhas espectrais que resulta dos elétrons caindo para um nível em particular é chamada “série”. Para o hidrogênio, o átomo mais simples e o elemento mais comum no Universo, as primárias são batizadas em homenagem a cientistas. A série de transições para a primeira camada é conhecida como série de Lyman, levando o nome de Theodore Lyman, que as descobriu entre 1906 e 1914. A primeira linha espectral (do nível 2 para o nível 1) é batizada de Lyman-alfa, a segunda (do 3 ao 1) é a Lyman-beta, e assim por diante.

O conjunto de saltos para o segundo nível é conhecido como série de Balmer, pois foi prevista por Johann Balmer, em 1885. Muitas dessas linhas ficam em partes visíveis do espectro. O conjunto de saltos para o terceiro nível de energia é a série de Paschen, pois foi observada por Friedrich Paschen em 1908. Ela fica no infravermelho.

Análises adicionais mostraram que essas linhas espectrais não eram puras, mas tinham estruturas finas. Vista em resolução realmente alta, uma linha do hidrogênio se revelava como duas linhas próximas, não uma. Os níveis de energia dos elétrons que geram essas linhas estavam sendo divididos em múltiplos.

Balas de prata

Em um famoso experimento em 1922, Otto Stern e Walther Gerlach dispararam um feixe de átomos de prata de um forno quente ao longo de um campo magnético. O feixe se dividia em dois, criando duas marcas em uma chapa fotográfica. Stern e Gerlach escolheram átomos de prata porque, além de poder ser detectada por emulsão fotográfica, eles possuem um único elétron externo. O objetivo de seu experimento era observar as propriedades magnéticas dos elétrons.

Quando os elétrons da prata passam pelo campo, eles se comportam como pequenas barras de ímã e experimentam uma força proporcional ao gradiente do campo magnético externo. Stern e Gerlach esperavam que essas forças se orientassem de

maneira aleatória – produzindo uma única mancha na sua chapa de detecção. O raio, porém, dividiu-se em dois, criando dois pontos. Isso significava que os “ímãs” elétrons tinham apenas duas orientações possíveis. Isso era bem estranho.

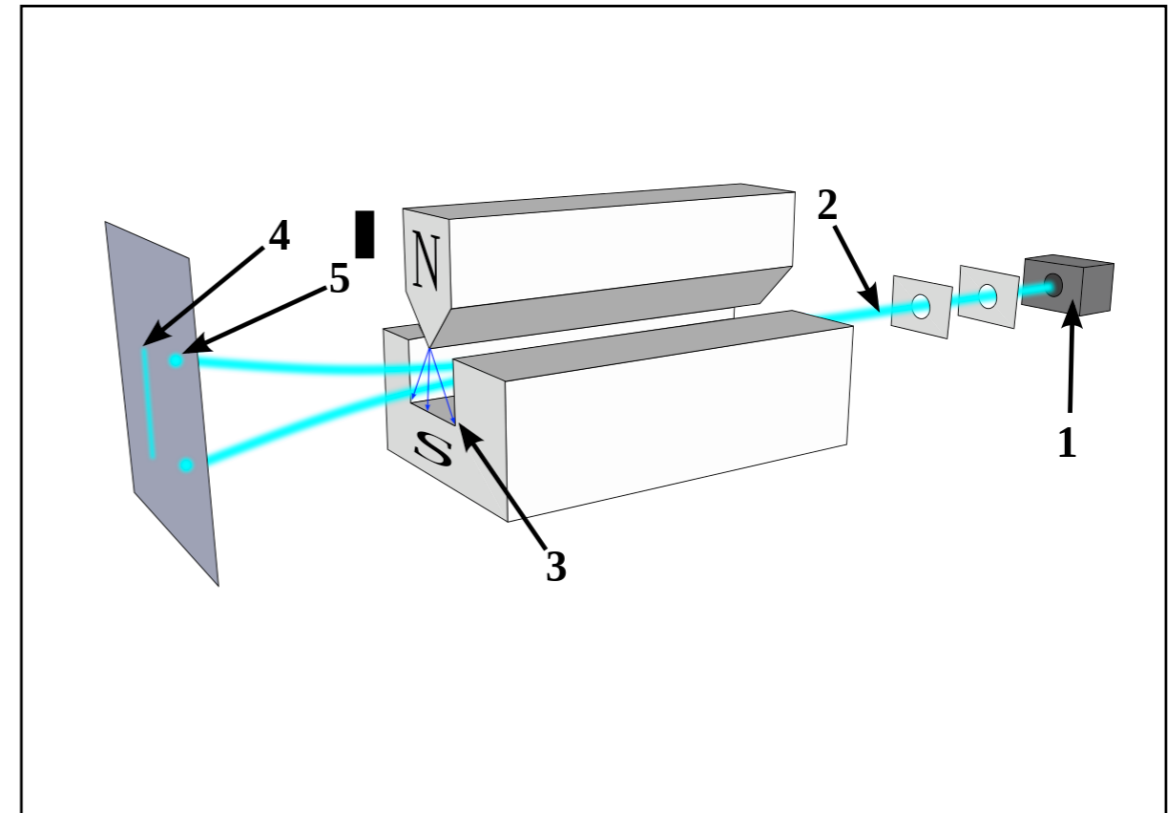
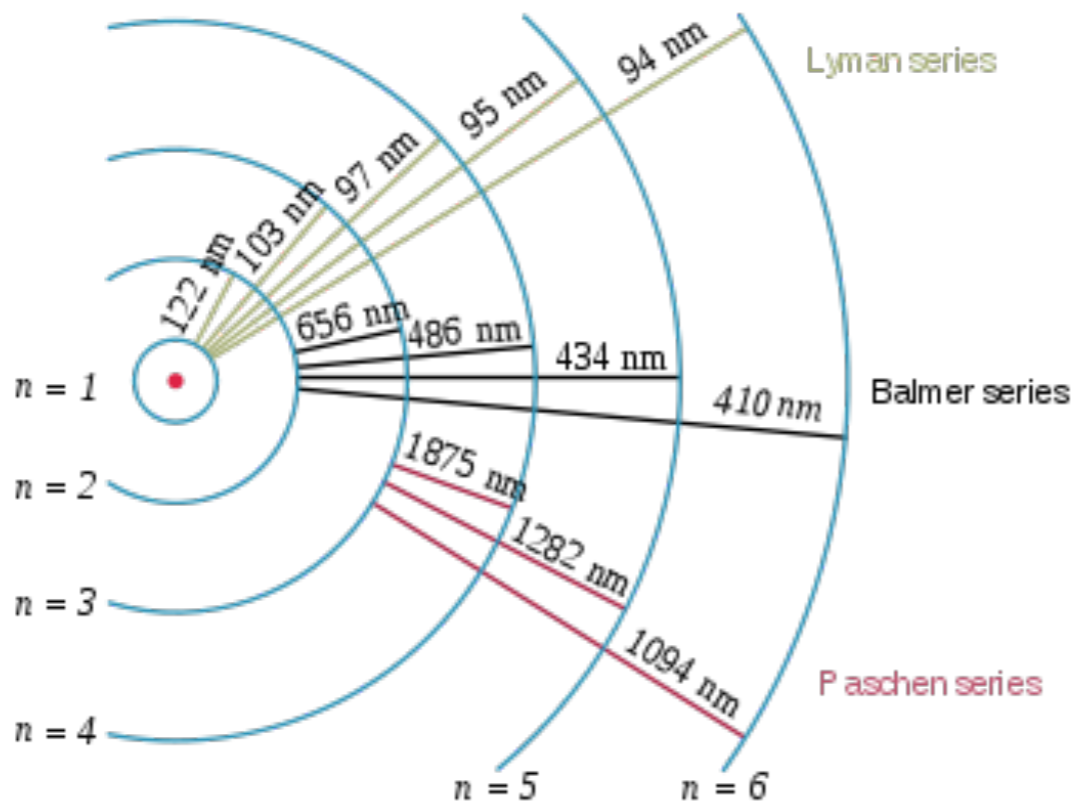


Figura demonstra a Experiência de Stern-Gerlach onde: 1- Forno; 2 - Feixe de átomos de Prata; 3- campo magnético não homogêneo; 4 - Resultado esperado; 5 - O que foi realmente observado.

Spin eletrônico

O spin quântico não é, na realidade, um movimento de rotação, mas uma propriedade intrínseca das partículas, do mesmo jeito que a massa e a carga elétrica. Para descrever se o spin está para cima ou para baixo, físicos dão aos elétrons e a outras partículas um número de spin quântico, que é definido como um valor de $\frac{1}{2}$ positivo ou negativo nos elétrons.



Elétrons saltando entre níveis de energia em um átomo de hidrogênio emitem luz com comprimentos de onda específicos. O conjunto de linhas que resulta dos saltos para um nível em particular é chamado de série.

A divisão de linhas espectrais que surgem de elétrons dentro de campos magnéticos é conhecida com efeito Zeeman, em

memória do físico holandês Pieter Zeeman. Ele é visto na luz de manchas solares, por exemplo. Uma linha que se divide em função de um campo elétrico é conhecida como efeito Stark, em homenagem a Johannes Stark.

O impacto do experimento de Stern e Gerlach foi enorme – foi a primeira vez que as propriedades quânticas de uma partícula se revelaram em laboratório. Cientistas rapidamente prosseguiram com mais testes, mostrando, por exemplo que o núcleo de alguns átomos tem momento angular quantizado – que também interage com o spin para criar divisões de linhas “superfinas”. Viram que é possível trocar o spin dos elétrons de um estado para o outro usando campos variáveis. Essa descoberta está na raiz das máquinas de imagem por ressonância magnética encontradas hoje em hospitais.

Magnetismo de manchas solares

Em 1908, o astrônomo George Ellery Hale observou o efeito Zeeman na luz de manchas solares, regiões escuras na superfície do Sol. O efeito desaparecia para a luz de áreas mais brilhantes, implicando que as manchas solares tinham imensos campos magnéticos. Ao medir as separações das linhas espectrais repartidas, ele conseguiu deduzir a força desses campos. Ele prosseguiu mostrando que há simetrias na polaridade magnética de manchas solares que se comportavam de modo oposto, dependendo de qual lado do equador solar elas estavam, por exemplo.

Princípio da Exclusão - Linus Pauli

CARO PROFESSOR

Na abordagem do tema sobre o princípio da Exclusão de Pauli, o mesmo define o que são bósons e férmions.

A sugestão, que juntamente, com os alunos possam se aprofundar no tema, pois tais conceitos ajuda a explicar inclusive a vida das estrelas.

Dois elétrons nunca são o mesmo. O princípio de Pauli afirma que cada um deve ter um conjunto único de propriedades quânticas de modo que se possa diferenciá-los. Isso acabou por explicar por que átomos têm certos números de elétrons em camadas, a estrutura da tabela periódica e por que a matéria é sólida, ainda que seja majoritariamente espaço vazio.

No modelo do átomo de Niels Bohr, de 1913, o orbital de energia mais baixa do hidrogênio, acomoda apenas dois elétrons, o próximo oito e assim em diante. Essa geometria está incorporada à estrutura em blocos da tabela periódica. Mas por que o número de elétrons por camada é limitado e por que os elétrons sabem em qual nível de energia ficar?

Wolfgang Pauli buscou uma explicação. Ele vinha trabalhando com o efeito Zeeman – a repartição de linhas espectrais que resulta quando o magnetismo muda os níveis de energia de elétrons em rotação nos átomos – e viu similaridades no espectro de metais alcalinos, que possuem um elétron na superfície e gases nobres com camadas lotadas. Parecia haver um número fixo de estados nos quais os elétrons poderiam estar.

Isso poderia ser explicado se cada elétron tivesse um estado descrito por quatro números quânticos – energia, momento angular, magnetismo intrínseco e spin. Em outras palavras, cada elétron tem um endereço único.

A regra de Pauli – conhecida como princípio da exclusão de Pauli – criada em 1925, afirma que dois elétrons em um átomo jamais podem ter os mesmos quatro números quânticos. Nenhum elétron pode estar no mesmo lugar e tendo as mesmas propriedades que outro ao mesmo tempo.

Organização dos elétrons

Seguindo na tabela periódica para elementos cada vez mais pesados, o número de elétrons dos átomos aumenta. Os elétrons não podem obter todos o mesmo assento e eles preenchem, então, camadas cada vez mais altas. São como assentos em um cinema sendo preenchidos dos próximos à tela até os mais distantes.

Dois elétrons podem, ambos, habitar a energia mais baixa de um átomo, mas só se seus spins estiverem desalinhados. No hélio, seus dois elétrons podem ambos ficar na camada mais baixa com spins opostos. No lítio, o terceiro é chutado para próxima camada.

A regra de Pauli se aplica a todos os elétrons e a algumas outras partículas cujos spins aparecem em múltiplos de meia unidade básica, incluindo o próton e o nêutron. Essas partículas são chamadas “férmions”, em homenagem ao físico italiano Enrico Fermi.

Elétrons, prótons e nêutrons são todos férmions, então o princípio de exclusão de Pauli se aplica aos blocos constituintes do átomo que compõem a matéria. O fato de dois férmions não poderem sentar no mesmo assento é o que dá à matéria sua rigidez. A maioria do interior dos átomos consiste em espaço vazio, mas não podemos espremê-los como uma esponja ou empurrá-los um para dentro do outro como um queijo em um

ralador. Pauli respondeu a uma das questões mais profundas da física.

BÓSONS

Nem toda partícula é um férmion – algumas têm spin de valor inteiro. Elas são chamadas bósons, em homenagem ao físico indiano Satyendranath Bose, que as estudou. Fótons são bósons, bem como as partículas que transmitem às outras forças fundamentais. Alguns núcleos simétricos podem agir como bósons, incluindo o hélio, que é feito de dois prótons e dois nêutrons. Imunes ao princípio de Fermi, vários bósons podem adquirir as mesmas propriedades quânticas ao mesmo tempo. Milhares de bósons podem agir de modo quântico conjuntamente, um fenômeno que é central a estranhos comportamentos quânticos macroscópicos, como os superfluidos e a supercondutividade.

As vidas das estrelas

O princípio da exclusão de Pauli tem implicações em astrofísica. Estrelas de nêutrons e anãs brancas devem a ele sua existência. Quando estrelas maiores que nosso Sol envelhecem, seus

motores de fusão nuclear falham. Eles param de converter elementos do hidrogênio até o ferro e se tornam instáveis. Quando o centro colapsa, a estrela implode. Suas camadas, similares às de uma cebola, caem para dentro, com parte do gás sendo expulso em uma explosão supernova.

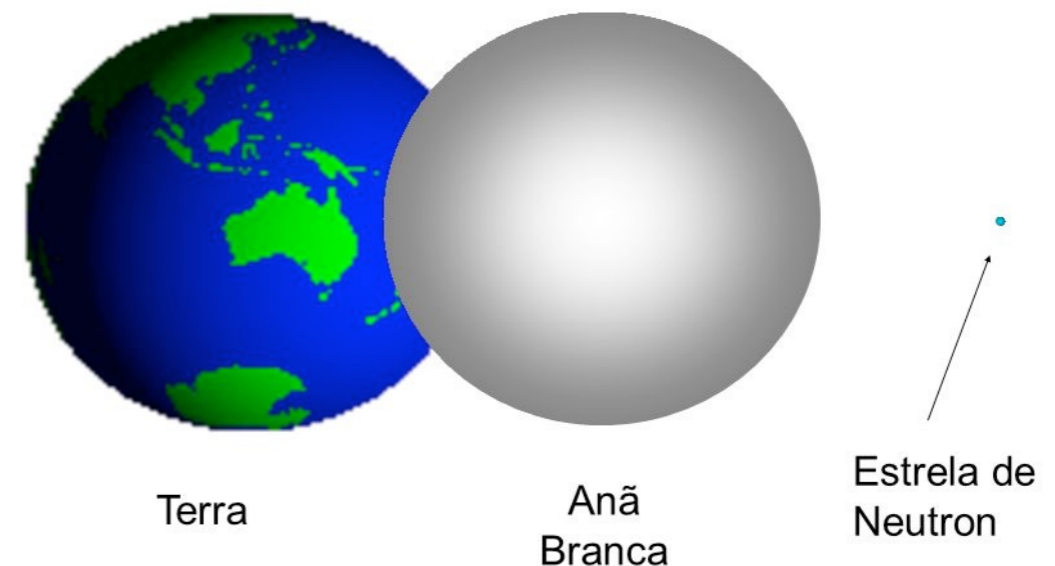
Quando o gás colapsa, a gravidade o puxa ainda mais para dentro. Seus restos se contraem, esmagando os átomos uns contra os outros. Mas os elétrons rígidos em torno do átomo resistem – o princípio de Fermi sustenta a estrela moribunda apenas com sua “pressão da degeneração”. Tal estrela é conhecida como anã branca e contém uma massa similar à do Sol, mas compactada num volume igual ao da Terra. Um cubo de açúcar de uma anã branca pesaria uma tonelada.

Para estrelas maiores que o Sol – com massa ao menos 1,4 vez maior, proporção conhecida como limite de massa de Chandrasekhar – a pressão é tão grande que no final até os elétrons sucumbem. Eles se fundem com prótons para formar nêutrons. Uma “estrela de nêutrons”, então, resulta de quando os elétrons desaparecem.

Nêutrons também são férmions, então eles também se escoram uns aos outros – eles não podem todos adotar o mesmo estado quântico. A estrela remanescente ainda permanece intacta, mas seu tamanho se reduz a um raio de cerca de apenas dez quilômetros. É como comprimir a massa do Sol até uma área do tamanho do comprimento de Manhattan. Um cubo de açúcar

feito da matéria densa de estrelas de nêutrons pesaria mais de 100 milhões de toneladas.

A comparação não precisa terminar aí – estrelas realmente maciças acabam se tornando buracos negros. O princípio de exclusão de Pauli ajuda a sustentar muitas coisas no Universo, desde as partículas mais básicas até estrelas distantes.



Equação de Onda de Schrödinger

CARO PROFESSOR

O conceito sobre a equação de onda de Schrodinger pode parecer, de um ponto de vista, um pouco complexo, mas o objetivo não é gravar uma fórmula, mas sim, ajudar a entender o caráter ondulatório da partícula.

Caso necessário, cabe relembrar os conceitos de ondulatória, ajuda a melhor interpretar o presente tema.

Em 1926, Erwin Schrödinger conseguiu descrever as energias dos elétrons em átomos ao tratá-los não como partículas, mas como ondas. Sua equação calcula a "função de onda" que descreve a probabilidade de um elétron estar em algum lugar em dado momento. É uma das fundações da mecânica quântica.

No início do século XX estava claro que os conceitos de partículas e ondas estavam muito entranhados. Albert Einstein mostrou em 1905 que ondas de luz também poderiam aparecer como torrentes de fótons como rajadas de balas, cujas energias cresciam com a frequência da luz. Louis-Victor de Broglie propôs, em 1924, que toda matéria também era assim - elétrons, átomos e quaisquer objetos feitos deles têm o potencial de entrar em difração e interferência, assim como ondas.

Na teoria do átomo de Niels Bohr, de 1913, elétrons viviam em órbitas fixas em torno do núcleo. Elétrons tomam a forma de ondas estáticas - como uma corda de violão ao ressonar. Em um átomo, energias dos elétrons são limitadas a certos harmônicos. Um número inteiro de comprimentos de onda do elétron precisa caber na circunferência de uma órbita do elétron.

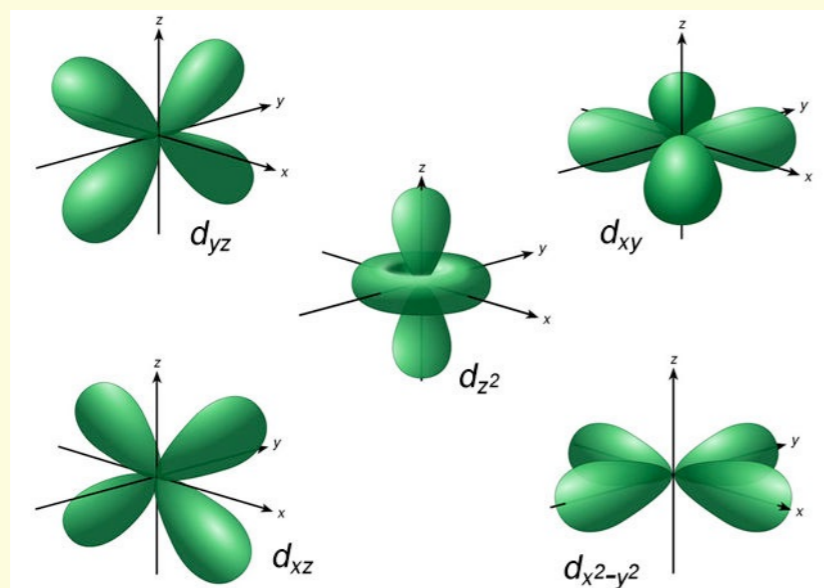
Mas como os elétrons se movem? Se eles são como ondas, eles se espalhariam então ao longo de toda a órbita, presumivelmente. Se eles são partículas compactas, talvez possam trafegar em trajetórias circulares, como planetas em torno do Sol. Como essas órbitas se arranjam? Planetas ocupam todos um mesmo plano. Átomos têm três dimensões.

O físico austríaco Erwin Schrödinger decidiu descrever o elétron matematicamente como uma onda tridimensional. Custando a progredir, em dezembro de 1925 ele

viajou para um chalé isolado nas montanhas ao lado de uma amante. Seu casamento era notoriamente complicado e ele matinha muitas parceiras, com o conhecimento de sua esposa.

ÓRBITAS DOS ELÉTRONS

A equação de Schrödinger levou a modelos tridimensionais mais sofisticados de orbitais de elétrons nos átomos. Eles são contornos de probabilidade, delineando regiões onde os elétrons têm de 80% a 90% de probabilidade de se localizarem – considerando que há uma pequena probabilidade de que eles possam estar virtualmente em qualquer outro lugar. Esses contornos surgiram como formas não esféricas, como as imaginadas por Bohr. Alguns são formas mais alongadas, como sinos ou roscas. Químicos usam esse conhecimento hoje para manipular moléculas.



Schrödinger não era um homem convencional – sempre desarrumado e conhecido por andar sempre de botas e mochila. Um colega lembra como ele era confundido com um mendigo quando comparecia a congressos.

No chalé, o humor Schrödinger melhorou. Ele percebeu que havia progredido muito com seus cálculos. Ele pode publicar o que já estava feito e então permanecer trabalhando nos aspectos mais difíceis – como incorporar a relatividade e a dependência do tempo – depois.

O artigo de 1926 que resultou daí apresenta uma equação que descreve a chance de uma partícula se comportar como onda em certo lugar, usando física ondulatória e probabilidade. Hoje ele é um marco da mecânica quântica.

O diagrama apresenta a equação de Schrödinger dependente do tempo:
$$-\frac{\hbar^2}{2m} \nabla^2 \Psi + V\Psi = i\hbar \frac{\partial \Psi}{\partial t}$$
 A equação é centralizada e rodeada por seis balões de diálogo que explicam os termos:

- Constante de Planck Reduzida ao Quadrado
- Laplaciano de Ψ é a variação espacial da função de onda
- Número imaginário dado pela raiz quadrada de -1
- Massa da Partícula a ser descrita
- Potencial V que age sobre a partícula.
- Variação da função de Onda Ψ com o tempo

Na mecânica quântica a equação de Schrodinger, descreve como o estado quântico de um sistema físico muda com o tempo. De forma análoga, podemos citar que na mecânica clássica, a equação de movimento é a segunda lei de Newton ($F=m.a$) utilizada para prever matematicamente o que o sistema fará a qualquer momento após as condições iniciais do sistema. Na mecânica quântica a equação que prevê matematicamente o que sistema quântico fará é a equação de Schrödinger.

Matemática da chance

A equação de Schrödinger previu corretamente os comprimentos de onda das linhas espectrais do hidrogênio. Um mês depois ele submeteu um segundo estudo, aplicando sua teoria a sistemas atômicos básicos, como a molécula diatômica. Em um terceiro estudo, ele apontou que essa equação de onda era exatamente equivalente à mecânica de matriz de Heisenberg e podia explicar os mesmos fenômenos. Em um quarto artigo ele incorporou a dependência do tempo, mostrando como uma função de onda evoluiria.

Como a explicação de Schrödinger era simples para físicos familiarizados com teoria ondulatória clássica, a equação foi rapidamente aclamada como revolucionária e imediatamente suplantou a mecânica de matriz de Heisenberg no quesito popularidade. A teoria de matrizes tinha menos adeptos, por se expressar em um tipo de matemática abstrata e não familiar.



Funções de onda descrevem a probabilidade da localização de um elétron. Quanto maior for a amplitude da função de onda, maior a chance de um elétron estar naquele lugar.

Einstein, que adotou a abordagem de onda, deleitou-se com o avanço de Schrödinger.

A teoria quântica estava se desenvolvendo rapidamente, mas havia sofrido um abalo. Estaríamos nós realmente descobrindo algo sobre o mundo real?

Funções de onda Schrödinger expressava a probabilidade de uma partícula estar em determinado lugar em dado tempo em termos de uma “função de onda”, que incluía toda a informação que saberíamos sobre aquela partícula.

Funções de onda são difíceis de captar, porque não as testemunhamos em nossa vivência pessoal e não é fácil visualizá-las e interpretá-las. Assim como com a mecânica de matriz, ainda havia um oceano entre a descrição matemática de uma onda-partícula e a entidade real, um elétron ou um fóton, por exemplo.

Na física convencional, usamos as leis de Newton para reescrever o movimento de uma partícula. Em cada dado instante, podemos dizer exatamente onde ela está e em qual direção está se movendo. Na mecânica quântica, porém, só podemos falar sobre a probabilidade de uma partícula estar num lugar em certo momento.

Funções de onda descrevem a probabilidade da localização de um elétron. Quanto maior for a amplitude da função de onda, maior a chance de um elétron estar naquele lugar.

“Deus rege a eletromagnética por teoria ondulatória às segundas, quartas e sextas, e o Diabo a rege por teoria quântica às terças, quintas e sábados.”

Lawrence Bragg, citado em 1978

“A mecânica quântica certamente se impõe. Mas uma voz interior me diz que ela ainda não é o real. A teoria diz muita coisa, mas não nos deixa mais perto dos segredos Dele. Eu, em qualquer sentido, estou convencido de que Ele não joga dados.”

Albert Einstein, em carta Max Born, 4 de dezembro de 1926

Com o que uma função de onda se pareceria? Na equação de Schrödinger, uma partícula solitária que flutua no espaço livre tem uma função de onda que parece uma onda senoidal. A função de onda é zero em lugares onde a existência da partícula pode ser descartada, como além dos limites de um átomo.

A amplitude da função de onda pode ser determinada ao considerarmos os níveis de energia permitidos – os quanta de energia – da partícula, que são sempre maiores que zero. De modo análogo, apenas certos harmônicos são possíveis para uma onda com um comprimento de corda fixo. Como apenas um conjunto limitado de níveis de energia são permitidos pela teoria

quântica, é mais provável que a partícula esteja em alguns lugares do que em outros.

Sistemas mais complicados têm funções de onda que são uma combinação de muitas ondas senoidais com outras funções matemáticas, como um tom musical feito de muitos harmônicos.

Ao trazer a ideia da dualidade onda-partícula para os átomos e todas as formas de matéria, Schrödinger ganhou seu lugar como um dos pais da mecânica quântica.

Princípio da incerteza de Heisenberg

CARO PROFESSOR

No seção sobre o princípio da incerteza, é dado uma abordagem mais aprofundada do que vários livros didáticos de química e física.

O qual, no material ora apresentado, é tratado de uma maneira mais histórica-conceitual. Ilustrando de uma forma que o aluno possa ter uma melhor compreensão quanto ao princípio da incerteza.

Pois, sabe-se que Heisenberg se deu conta de que algumas propriedades do mundo atômico eram inerentemente incertas (como até os dias de hoje, muitas ainda são). Se você sabe a posição de uma partícula, então não pode saber simultaneamente seu momento linear. Se você sabe em que momento uma partícula fez algo, não pode determinar sua energia exata.

Em 1926, Werner Heisenberg e Erwin Schrödinger começaram um intenso debate. Com um ano de intervalo, os dois haviam apresentado modos radicalmente diferentes de expressar a quantização do estado de energia dos elétrons em átomos, com implicações vastamente diferentes.

Heisenberg havia proposto sua “mecânica de matriz”, uma descrição matemática das ligações entre os estados de energia dos elétrons e as linhas espectrais que esses elétrons produziam quando realizavam saltos quânticos entre níveis de energia. Foi uma façanha técnica, mas físicos estavam hesitantes em adotá-la. Eles não conseguiam conceber o que as equações – embutidas em uma notação de matriz pouco usual – realmente significavam.

Impulsionada pelo apoio de Albert Einstein, a alternativa de Schrödinger era muito mais palatável. A mecânica ondulatória, que descrevia as energias de elétrons em termos de ondas estacionárias ou harmônicas, envolvia conceitos familiares. Ela se encaixou bem na sugestão de Louis de Broglie de que a matéria pode se comportar como onda, o que foi confirmado por experimentos mostrando que elétrons podem sofrer difração e interferência.

Em maio de 1926, Schrödinger publicou um estudo provando que as mecânicas de ondas e matriz produziam resultados similares – elas eram matematicamente equivalentes. Ele argumentou que sua teoria de ondas era melhor que a descrição

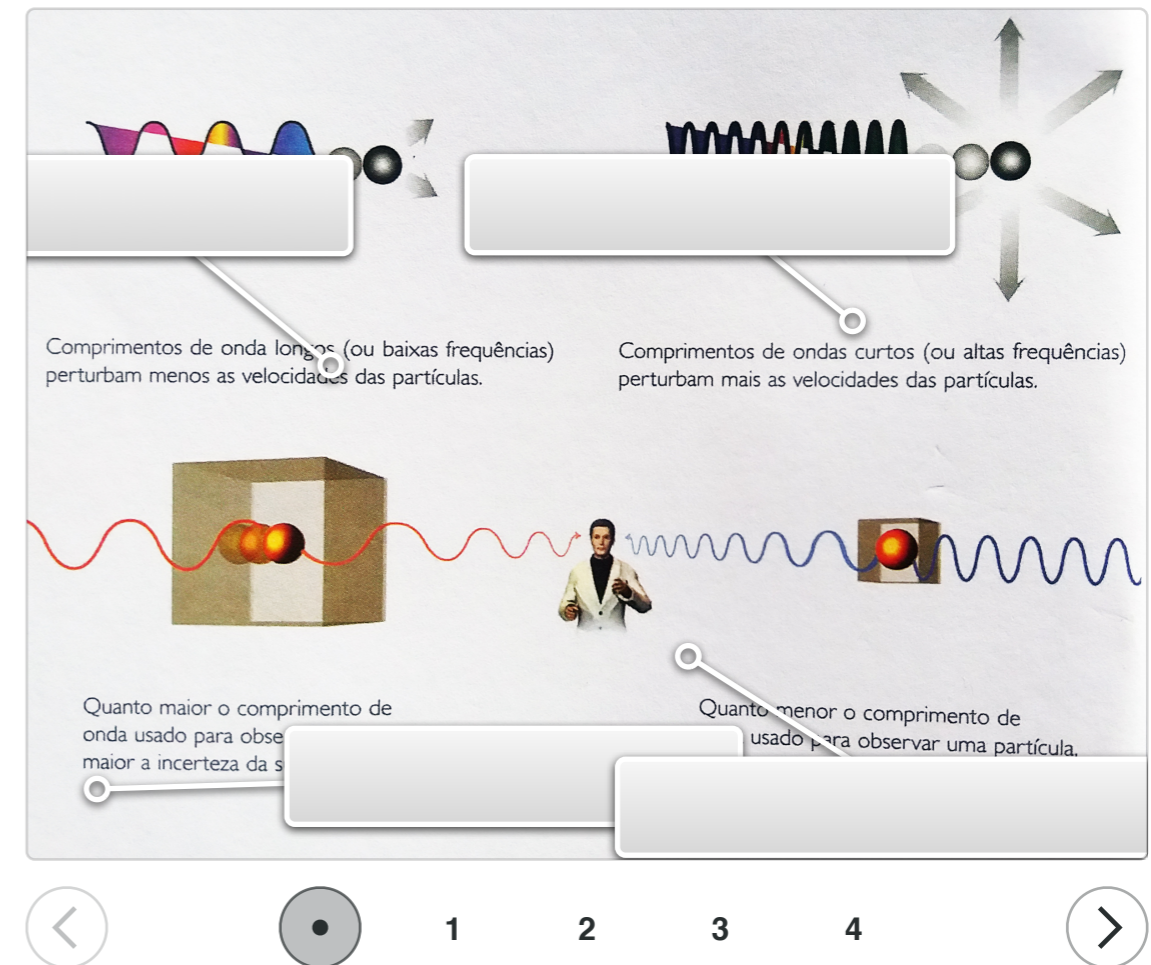
de matriz, o que irritou Heisenberg. Uma das razões da preferência de Schrödinger era que as descontinuidades e saltos quânticos intrínsecos à teoria de matriz não pareciam naturais. Ondas contínuas eram muito mais agradáveis. Heisenberg e Bohr achavam que esses mesmos saltos eram justamente o ponto forte do modelo.

Heisenberg era pouco afável. Ele era um jovem num ponto crítico da carreira, tentando ativamente um cargo de professor em uma universidade alemã, e não ficou feliz ao ver sua grande realização ser ofuscada.

“Quanto maior a precisão da posição determinada, menos preciso é o momento linear naquele instante, e vice-versa.”

Werner Heisenberg, 1927

Imagem interativa sobre o princípio da incerteza.



Em outubro de 1926, Schrödinger foi a Copenhague para visitar Niels Bohr. Heisenberg também estava lá, trabalhando com Bohr. Os físicos discutiram cara a cara sobre a veracidade de suas ideias, mas não conseguiram progredir. A partir de então, começaram a considerar as interpretações físicas de suas equações. Logo depois, Pascual Jordan, o colega de Heisenberg em Göttingen, e Paul Dirac, em Cambridge, combinaram

equações das duas abordagens em um conjunto de equações – a base daquilo que hoje se chama mecânica quântica.

Físicos começaram tentar explicar o que essas equações significavam na realidade. Como as medidas “clássicas” feitas em laboratório estariam conectadas àquilo que ocorria na escala de um átomo.

Incerteza, a única certeza

Enquanto estudava essas equações, Heisenberg encontrou um problema fundamental. Ele percebeu que era impossível medir algumas propriedades de forma precisa porque o aparato usado iria interferir nos átomos que estavam sendo medidos.

A posição de uma partícula e seu momento linear não poderiam ser inferidos de uma só vez; sua energia também não poderia ser conhecida em um instante preciso. A razão não era a falta de habilidade do experimentalista. Essas incertezas residem no coração da mecânica quântica. Heisenberg apresentou seu “princípio da incerteza” inicialmente em uma carta a Wolfgang Pauli em fevereiro de 1927 e mais tarde em um artigo formal.

Qualquer medição possui alguma incerteza associada. Você pode medir a altura de uma criança como sendo de 1,20m, entretanto seu resultado será tão exato quanto a precisão de sua fita métrica, digamos que seja de milímetros. Dessa forma, é muito fácil errar por um centímetro se a fita não estiver esticada

ou se seu olho não estiver bem alinhado com a cabeça da criança.

A incerteza de Heisenberg, porém, não é um erro de medida desse tipo. Sua alegação é profundamente diferente: não é possível saber o momento angular e a posição exatamente ao mesmo tempo, não importa quão preciso seja o instrumento usado. Se você determinar um dos dois, o outro se torna mais incerto.

Teste imaginário

Heisenberg imaginou realizar um experimento para medir o movimento de uma partícula subatômica, como um nêutron. Um radar poderia rastrear a partícula, ao refletir ondas eletromagnéticas nela. Para uma precisão máxima, seria preciso usar raios gama, que têm comprimentos de onda muito curtos. Entretanto, por causa da dualidade onda-partícula, o raio gama que incide sobre o nêutron atuaria como uma rajada de fótons-bala. Os raios gama possuem frequências muito altas, então cada fóton carregaria um bocado de energia. Quando um fóton poderoso atingisse o nêutron, ele lhe daria um grande impulso que alteraria sua velocidade. Então, mesmo que você saiba a posição do nêutron naquele instante, sua velocidade teria mudado imprevisivelmente.

Se usássemos fótons de baixas energias para minimizar a mudança de velocidade, seus comprimentos de onda são

longos, então a precisão com que seria possível medir suas posições seria degradada. Não importa o quanto se otimiza o experimento, é impossível descobrir tanto a posição quanto a velocidade de uma partícula. Existe um limite fundamental sobre o que pode ser conhecido em um sistema atômico.

Ele expressou esta idéia através de uma relação matemática que é uma descrição completa e exata do princípio da incerteza. Vale lembrar que, em vez de velocidade v , esta relação é dada em termos de o momento $p=vm$, onde m é a massa da partícula.

1 - Em palavras:

O produto do erro ou indeterminação na medição da posição de um objeto pelo erro ou indeterminação na medição do momento do objeto é maior ou igual a uma constante (a constante de Planck dividida por 4π)

2 - Em uma equação com palavras:

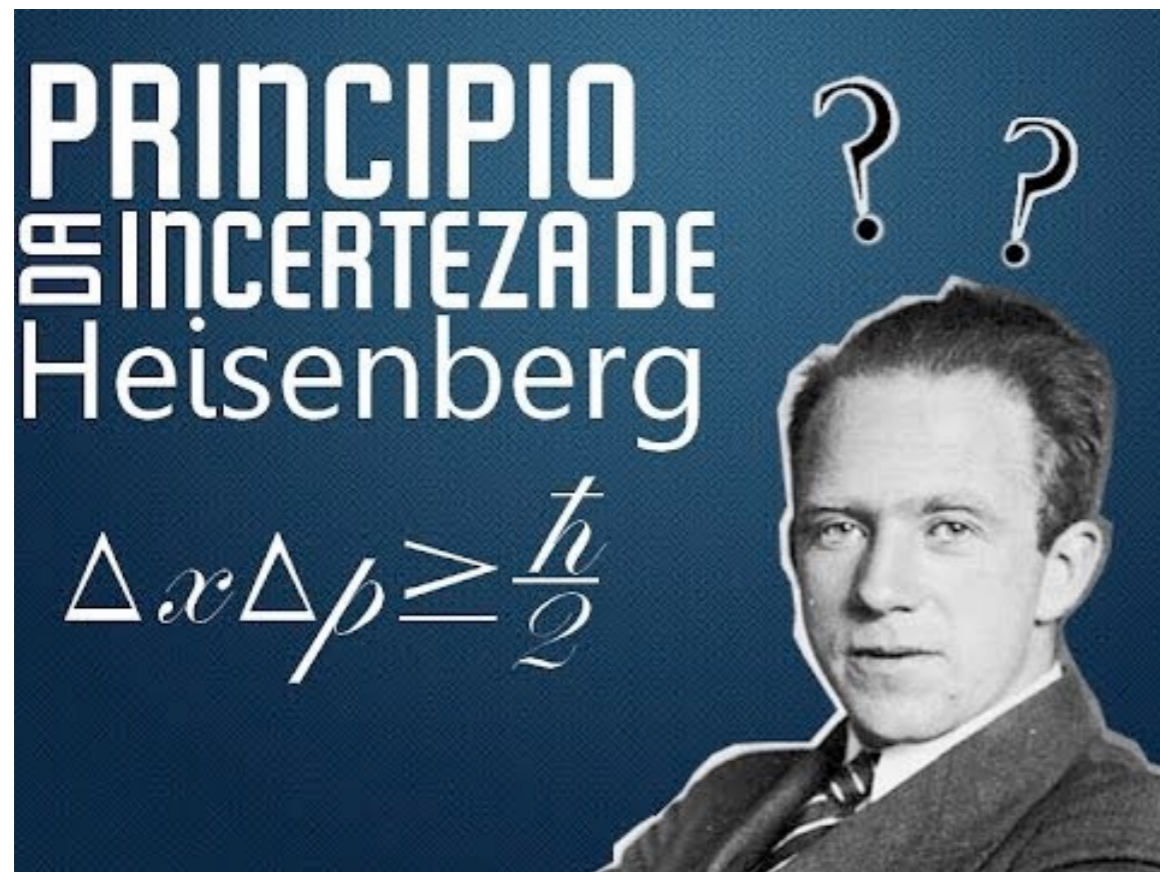
**(Indeterminação da posição) X (Indeterminação do momento) \geq
(Constante de Planck)/ 4π**

3- Em uma equação com simbolos:

$$\Delta x \cdot \Delta p \geq h/4\pi$$

Onde x é a posição p é o momento do objeto e h é a constante de Planck. A letra grega Δ (delta maiúsculo) é usada para representar a faixa de valores que uma grandeza pode assumir e, portanto, a indeterminação da medida desta grandeza.





Heisenberg logo percebeu que as implicações de seu princípio da incerteza eram profundas. Imagine uma partícula em movimento. Em razão dos limites fundamentais sobre o que é possível conhecer sobre ela, não é possível descrever o comportamento passado da partícula até que uma medida o determine. Nas palavras de Heisenberg, “o caminho só passa a existir quando o observamos”. O trajeto futuro da partícula também não pode ser previsto, já que você não sabe sua velocidade e sua posição. Tanto o passado quanto o futuro se tornam embaçados.

Newton superado

Um mundo tão imprevisível assim colidiu com a interpretação dos físicos sobre a realidade. Em vez de um universo preenchido com entidades concretas – que existem independentemente e cujos movimentos e propriedades poderiam ser verificados por experimentos – a mecânica quântica revelou uma massa fervilhante de probabilidades trazidas à tona apenas pela ação de um observador.

Não há causa e efeito, apenas probabilidade. Muitos físicos acham isso difícil de aceitar – Einstein nunca aceitou. Mas é isso que os experimentos e a matemática nos dizem. A física saltou do laboratório da experiência para o reino do abstrato.

Caro **professor**.

Na próxima página, o material traz uma breve biografia sobre a vida de Werner Heisenberg, inclusive quanto a liderança no projeto de armas nucleares para Alemanha na Segunda Guerra Mundial.

Tema o qual pode servir também, como uma forma de interdisciplinaridade com disciplinas de História e Geografia.

O mesmo pode ser aprofundado de acordo com a disposição e interesse do professor.

WERNER HEISENBERG (1901-1976)

Werner Heisenberg cresceu em Munique, Alemanha, e amava as montanhas. Quando adolescente, durante a Primeira Guerra Mundial, trabalhou em uma fazenda de leite, onde estudava matemática e jogava xadrez nas horas vagas. Na Universidade de Munique, estudou física teórica, completando o doutorado bastante cedo. Assumiu uma cadeira de professor em Leipzig com apenas 25 anos, e trabalhou em Munique, Göttingen e Copenhague, onde encontrou Niels Bohr e Albert Einstein. Em 1925, inventou a mecânica de matriz, recebendo o prêmio Nobel em 1932. Seu princípio da incerteza foi formulado em 1927.

Durante a Segunda Guerra Mundial, Heisenberg liderou o projeto alemão para armas nucleares, que não obteve sucesso em produzir uma bomba. Até hoje ninguém sabe se ele atrasou o projeto de propósito ou apenas carecia de recursos.

A interpretação de Copenhague

CARO PROFESSOR

Em 1927, o físico dinamarquês Niels Bohr tentou explicar o sentido físico da mecânica quântica. Naquilo que ficou conhecido como interpretação de Copenhague, ele combinou o princípio da incerteza de Heisenberg à equação de onda de Schrödinger para explicar como a intervenção de um observador significa que há coisas que jamais poderemos saber.

O presente tema é destinado ao **Professor** e **Alunos**.

A busca da compreensão do significado da mecânica quântica começou para valer em 1927. Físicos se dividiam em dois campos. Werner Heisenberg e seus colegas acreditavam que a natureza das partículas como ondas eletromagnéticas e matéria, descrita em sua representação de matriz, era soberana. Os seguidores de Erwin Schrödinger argumentava que a física de ondas é subjacente ao comportamento quântico.

Heisenberg também mostrou que nossa compreensão era fundamentalmente limitada em razão de seu princípio da incerteza. Ele acreditava que tanto o passado quanto o futuro eram insondáveis até que fossem fixados por observações, por causa da incerteza intrínseca de todos os parâmetros que descrevem o movimento de uma partícula subatômica.

Outro homem tentou agrupar tudo. Bohr, chefe do departamento de Heisenberg na Universidade de Copenhague, era o cientista que uma década antes havia explicado os estados de energia quânticos dos elétrons no átomo de hidrogênio. Quando Heisenberg chegou a seu “princípio da incerteza”, em 1927, ele estava trabalhando em Copenhague no instituto de Bohr. Bohr aparentemente havia retornado de uma viagem quando encontrou o esboço do artigo de Heisenberg em sua escrivaninha, junto de um pedido para encaminhá-lo a Albert Einstein.

Bohr ficou intrigado com a ideia, mas reclamou para Einstein que o teste imaginário de Heisenberg – envolvendo um microscópio de raios gama – tinha falhas, porque não considerava as propriedades de onda da matéria. Heisenberg adicionou uma correção que incluía a dispersão de ondas de luz e sua conclusão continuou firme. Incertezas são inerentes à mecânica quântica. Mas o que estava realmente acontecendo?



Figura - Bohr e Einstein.

Na visão de Bohr, os aspectos de onda e partícula de uma entidade real são características “complementares”. Eles são dois lados de uma mesma moeda, da mesma maneira que algumas ilusões de óptica aparentam ter duas figuras diferentes, um padrão preto e branco – um vaso ou duas faces se encarando, por exemplo.

O elétron, o próton ou o nêutron reais não são nem uma coisa nem outra, mas uma composição de ambas. Certa característica só aparece quando um experimentalista intervém e seleciona qual aspecto medir. A luz parece se comportar como um fóton ou como uma onda eletromagnética porque esse é o sinal que estamos procurando. Como o experimentalista perturba o sistema pristino, Bohr argumentou, há limites para o que podemos saber sobre a natureza. O ato de observação gera as incertezas que Heisenberg enxergou. Essa linha de raciocínio ficou conhecida como a “interpretação de Copenhague” da mecânica quântica.

Bohr percebeu que o princípio da incerteza, segundo o qual não é possível medir tanto a posição quanto o momento linear de uma partícula subatômica ao mesmo tempo, é central. Uma vez que uma característica é medida com precisão, a outra se torna menos conhecida. Heisenberg acreditava que a incerteza surgia em razão da mecânica do processo de medição em si. Para medir a quantidade, precisamos interagir com ela, como fazendo fótons baterem em uma partícula para detectar seu movimento. Essa interação altera o sistema, Heisenberg percebeu, tornando o estado subsequente incerto.

O entendimento de Bohr era bastante diferente: o observador é parte do sistema que está sendo medido, ele argumentou. Não faz sentido descrever o sistema sem incluir o aparelho de medida. Como podemos descrever o movimento de uma

partícula considerando-a isolada se ela está sendo bombardeada de fótons para ser rastreada? Mesmo a palavra “observador” está errada, afirmou Bohr, porque ela sugere uma entidade externa. O ato de observação é como uma chave, que determina o estado final do sistema. Antes desse ponto, podemos apenas dizer que o sistema tinha uma chance de estar em algum estado possível.

O que acontece quando fazemos uma medição? Por que a luz que passa por duas fendas entra em interferência como ondas em um dia, mas muda para um comportamento similar ao de partículas no outro se tentamos capturar o fóton que passa em uma fenda? De acordo com Bohr, escolhemos antecipadamente qual será o resultado ao decidirmos como queremos medi-lo.

O que podemos saber

Aqui Bohr se inclinou sobre a equação de Schrödinger e seu conceito de “função de onda”, contendo tudo o que podemos saber sobre uma partícula. Quando o caráter de um objeto é fixado – como partícula ou como onda, por exemplo – por um ato de observação, dizemos que a função de onda “colapsou”. Todas as probabilidades, exceto uma, desaparecem. Resta apenas a consequência. Então, a função de onda de um raio de luz é uma mistura de possibilidades: o comportamento de onda ou de partícula. Quando detectamos a luz, a função de onda colapsa para deixar uma forma. A luz não faz isso para alterar seu

comportamento, mas porque realmente consiste das duas coisas.

Heisenberg inicialmente rejeitou a imagem de Bohr. Ele se agarrou a seu panorama original de partículas e saltos de energia. Os dois cortaram relações. Heisenberg aparentemente teve um ataque de choro em certo ponto durante um argumento com Bohr. Muita coisa estava em jogo na carreira do jovem.

As coisas melhoraram depois, em 1927, quando Heisenberg conseguiu um emprego na Universidade de Leipzig. Bohr apresentou sua ideia de complementaridade sob aplausos em uma conferência na Itália e muitos físicos a adotaram. Em outubro, Heisenberg e Max Born estavam falando sobre a mecânica quântica como se tivesse sido totalmente solucionada.

Nem todo mundo concordava, sobretudo Einstein e Schrödinger, que não se deixaram convencer pela doutrina de Bohr até o fim de suas vidas. Einstein acreditava que partículas poderiam ser medidas com precisão. A ideia de que partículas reais seriam governadas por probabilidades o incomodava. Isso não seria necessário em uma teoria melhor, ele argumentou. A mecânica quântica deveria ser incompleta.

Ainda hoje físicos lutam para compreender o significado mais profundo da mecânica quântica. Alguns tentaram oferecer novas explicações, apesar de nenhum deles ter suplantado Bohr. A

visão de Copenhague sobreviveu ao tempo por causa de seu poder explicativo.

Princípio de correspondência

Para fechar a lacuna entre sistemas quânticos e normais, incluindo nossas experiências na escala humana, Bohr também introduziu o “princípio de correspondência”, segundo o qual o comportamento quântico deve desaparecer de sistemas maiores com os quais estamos familiarizados, nos quais a física newtoniana é adequada.

Gato de Schrödinger

CARO PROFESSOR

Para revelar quão ridícula era a interpretação de Copenhague da mecânica quântica, Erwin Schrödinger escolheu acertadamente um gato como estudo de caso. Imaginando-o encaixotado por certo período com um frasco de veneno, ele argumentou que não fazia sentido pensar em um animal real como uma nuvem de probabilidade simplesmente por carecermos de conhecimento sobre o que acontece.

A partir dessa analogia com o gato que em muitos livros e material aparece a imagem de um gato, inclusive nesse material.

O tema ora abordado é para o **Professor** e também **alunos**.

A proposta de Niels Bohr da interpretação de Copenhague da mecânica quântica impressionou muitos físicos, mas os fãs mais arraigados da abordagem da função de onda não embarcaram. Erwin Schrödinger e Albert Einstein permaneceram à margem.

Em 1935, Schrödinger tentou ridicularizar a ideia de Bohr sobre uma nuvem probabilística etérea ao publicar uma situação hipotética que ilustrava a natureza contraintuitiva do colapso de funções de onda e da influência do observador. Albert Einstein fez o mesmo, com seu artigo sobre o paradoxo Einstein-Podolsky-Rosen, que dava pistas sobre correlações de longa distância implausíveis.

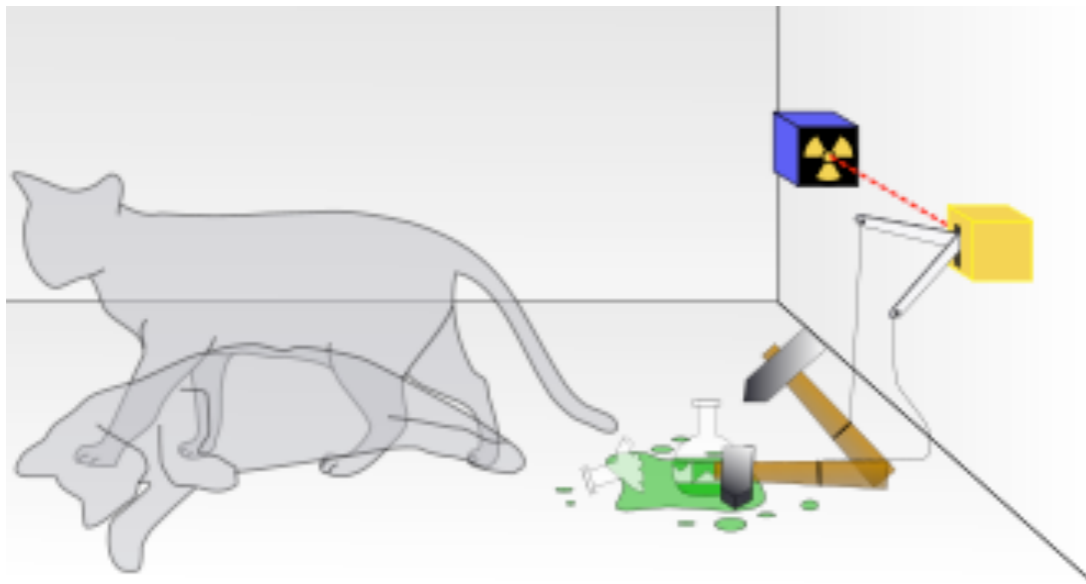
Na interpretação de Copenhague, sistemas quânticos eram obscuros e indeterminados até que um observador chegasse apertando o interruptor e decidindo qual qualidade seu experimento iria medir. A luz é tanto partícula quanto onda, até que decidamos que forma queremos testar – só então ela adota essa forma.

Schrödinger, que teve a perspicácia de desenvolver uma teoria de átomos baseada em ondas, opondo-se a ideia de que algo não visto “existisse” em todas as formas possíveis. Quando abrimos uma geladeira e vemos que ela contém queijo, cereal e leite, estaria ela realmente em um dilema matemático sobre exibir ovos e chocolate antes de observarmos?

Probabilidades quânticas obviamente não fazem muito sentido em grandes escalas. O artigo de Schrödinger continha um experimento imaginário que tentava ilustrar esse comportamento usando algo capaz de atrair maior empatia – um gato.

Schrödinger considerou o seguinte cenário. Um gato é trancado dentro de uma câmara de aço junto a um “dispositivo diabólico”: um frasco de cianureto de hidrogênio, que seria aberto apenas caso um átomo radioativo decaísse. O destino do gato dependeria da probabilidade de o átomo já ter decaído ou não.

“Se alguém deixar o sistema intocado por uma hora, diríamos que o gato ainda estaria vivo caso durante esse tempo nenhum átomo tivesse decaído. O primeiro decaimento atômico o teria envenenado”, escreveu. O triste aparato de Schrödinger deixaria o gato com chance de 50% de estar vivo ou morto quando a caixa fosse aberta depois desse tempo.



De acordo com a interpretação de Copenhague da física quântica, enquanto a caixa estiver fechada, o gato existe em uma sobreposição de estados – tanto vivo quanto morto, ao mesmo tempo.

Apenas quando a caixa for aberta o destino do animal será selado. Da mesma forma que um fóton é tanto onda quanto partícula até que escolhamos como detectá-lo, a função de onda colapsa em favor de uma das facetas.

Schrödinger argumentou que uma explicação tão abstrata não faz sentido para um animal real como um gato. Certamente ele estaria ou vivo ou morto, não uma mistura de ambos. A interpretação de Bohr, ele pensou, deveria ser um atalho conveniente para aquilo que realmente estaria acontecendo num nível mais profundo. O universo opera por maneiras ocultas e a cada vez só podemos testemunhar parte da figura.

Einstein também achava que a descrição de Copenhague não fazia sentido. Ela suscitava muitas outras questões. Como um ato de observação faz a função de onda colapsar? Quem ou o que pode fazer a observação – é preciso que seja um humano ou qualquer ser sensível poderá fazê-la? Poderia o gato observar a si mesmo? A consciência é necessária?

Poderia o gato colapsar a função de onda da partícula para ditar o resultado? Nesse caso, como pode qualquer coisa existir no Universo? Quem observou a primeira estrela ou, digamos, a

primeira galáxia? Ou estariam elas em um dilema quântico até a vida surgir? As charadas são intermináveis.

Levando a lógica de Copenhague ao extremo é possível que nada no Universo exista assim. Essa visão é reminescente da filosofia de George Berkeley, filósofo do século XVII e contemporâneo de Isaac Newton. Berkeley apresentou a ideia de que todo o mundo externo seria apenas parte de nossa imaginação. Não podemos ter nenhuma evidência sobre a existência de nada externo a nós – tudo o que podemos sentir e saber está contido em nossas mentes.

O problema de como as medições determinam os resultados foi revisitado em um romance de Hugh Everett em 1957. Ele sugeriu que as observações não destroem as opções, mas as recortam para dentro de uma série de universos paralelos.

De acordo com sua hipótese dos “muitos mundos”, cada vez que captamos o caráter de um fóton, o Universo se divide em dois. Em um mundo a luz é uma onda; no outro é uma partícula. Em um universo o gato está vivo quando abrimos a caixa; na dimensão complementar o animal foi morto pelo veneno.

Em todos os outros aspectos ambos os ramos do universo são o mesmo. Então, cada observação produz um novo mundo, com uma bifurcação após a outra. Ao longo da história do universo isso poderia ter criado vários mundos paralelos – um número indefinido, talvez infinito.

A ideia de Everett foi inicialmente ignorada, até que um artigo de física para leigos e fãs de ficção científica, tocados por seu apelo, o puseram nos holofotes. Mas hoje ele existe como uma variante moderna chamada teoria dos “multiversos”, que alguns físicos estão usando para explicar por que o Universo é tão acolhedor – pois todos os universos não acolhedores estão se acumulando em outros lugares.



Emaranhamento Quântico

CARO PROFESSOR

Em 1935, três físicos – Albert Einstein, Boris Podolsky e Nathan Rosen – elaboraram um paradoxo que desafiou interpretações da mecânica quântica. O fato de a informação quântica aparentemente poder viajar mais rápido do que a velocidade da luz parecia ser um furo na ideia do colapso de funções de onda.

Inclusive Einstein, falava desse evento de transmissão de informação quântica ser uma “ação fantasmagórica”, pois a mesma contradizia a sua lei da relatividade.

Cabe aqui citar que em 2014, o emaranhamento quântico foi comprovado por uma Física Brasileira. Inclusive a notícia se encontra no final da abordagem desse tema, juntamente com suas entrevista.

Cabe ao professor dar conhecimento aos seus alunos quanto ao fato, pois infelizmente nossa mídia não dá a cobertura devida para a área das ciências. E tal fato não deve cair no esquecimento.

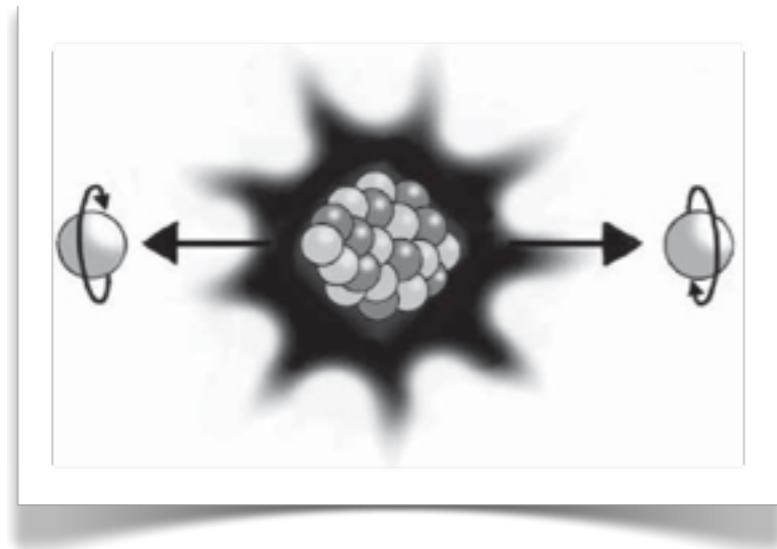
A interpretação de Copenhague da mecânica quântica, proposta por Niels Bohr em 1927, raciocina que o ato da medição influencia um sistema quântico, fazendo-o adotar as características que são observadas na sequência. As propriedades da luz como onda ou como partícula sabem quando aparecer porque o experimentalista efetivamente diz a elas o que fazer.

Einstein achava isso precipitado. A ideia de Bohr significava que sistemas quânticos permaneceriam no limbo até que fossem realmente observados. Antes de alguma medida lhe dizer em que estado o sistema se encontra, ele existe como um misto de todos os estados possíveis. Einstein argumentou que essa sobreposição era irreal. Uma partícula existe independentemente de estarmos ali para vê-la.

Einstein acreditava que o Universo tem uma existência própria e as incertezas da mecânica quântica ilustravam que algo estava errado com a teoria e com sua interpretação. Para expor lacunas na visão de Copenhague, Einstein, junto de seus colegas Boris Podolsky e Nathan Rosen, elaborou um experimento imaginário, descrito num estudo publicado em 1935. Ele ficou conhecido como paradoxo Einstein-Podolsky-Rosen ou EPR.

Imagine uma partícula, talvez um núcleo atômico, que decai para outros dois menores. De acordo com as regras de conservação de energia, se uma partícula

não era originalmente estacionária, as partículas filhas deveriam adquirir momento angular e momento linear opostos e de valor igual. As partículas emergentes voam cada uma para um lado e têm spins de direções opostas.



Um núcleo atômico decai criando duas partículas de spins opostos.

Outras propriedades quânticas do par também estão ligadas. Se medimos a direção do spin de uma partícula, instantaneamente sabemos o estado da outra: ela deve ter spin oposto para se encaixar nas regras quânticas. Contanto que nenhuma das partículas interaja com outras, o que perturbaria o sinal, esse fato permanece verdadeiro, não importando quão longe as partículas estejam ou quanto tempo se passe.

Na linguagem da interpretação de Copenhague, ambas as partículas filhas existem em uma sobreposição de todos os resultados possíveis – uma mistura de todas as diferentes

velocidades e direções de spin que elas podem assumir. No momento em que medimos uma delas, as probabilidades da função de onda de ambas as partículas colapsam para consolidar esse resultado.

Einstein, Podolsky e Rosen argumentaram que isso não fazia sentido. Einstein sabia que nada poderia viajar mais rápido que a luz. Seria, então, possível passar um sinal instantâneo a uma partícula que se encontrasse, muito, muito longe, podendo estar no outro lado do universo? A interpretação de Copenhague deveria estar errada. Schrödinger, mais tarde, usou a expressão “emaranhamento” para descrever essa estranha ação à distância.

Einstein acreditava em “realidade local”: que tudo no mundo existe independentemente de nós e que sinais carregam informação não mais rapidamente do que a velocidade da luz. As duas partículas no experimento imaginário já devem saber em quais estados estão quando elas se separam, afirmou. Elas carregam esse conhecimento com elas, em vez de mudar de estado simultaneamente em distâncias remotas.

Mas Einstein estava errado. Sua ideia soa razoável e adequada à nossa vivência diária. No entanto, ela se demonstrou falsa por numerosos experimentos quânticos ao longo de décadas. A “ação fantasmagórica à distância” de fato ocorre, e partículas acopladas de fato parecem “falar” umas com as outras através do espaço mais rapidamente do que a luz. Físicos já conseguem emaranhar as propriedades quânticas de mais de duas partículas

e vê-las mudarem de estado juntas a dezenas de quilômetros de distância.

A sinalização quântica à distância abre diversas aplicações para novas formas de comunicação remota, incluindo o envio de mensagens instantâneas através de vastas porções do espaço. Ela traz a possibilidade de computadores quânticos, capazes de conduzir muitos cálculos ao mesmo tempo ao longo de toda a memória da máquina.

As unidades de informação quântica são conhecidas como bits quânticos ou “qubits”. Assim como computadores normais usam o código binário para descrever mensagens em longas sentenças de zeros e uns, qubits adotariam um entre dois estados quânticos. Mas, melhor que isso, eles também poderiam existir em estados mistos, permitindo a realização de cálculos com os quais podemos apenas sonhar.

Ainda assim, a indeterminação que dá à sinalização quântica o seu poder significa que não podemos transmitir um conjunto de informações completo de um lugar a outro. O princípio da incerteza de Heisenberg significa que sempre há uma lacuna de informação em algum aspecto, que não podemos conhecer. Então, o teletransporte humano – tal qual o conhecemos na ficção científica – é impossível.

Apesar de a transmissão de átomos ser impossível, é possível movimentar informação através do espaço usando teletransporte

quântico. Se duas pessoas – frequentemente chamadas de Alice e Bob em exemplos de físicos – seguram cada uma delas um par de partículas emaranhadas por meio de medições em particular, elas podem usá-las para transportar qubits.

Primeiro, Alice e Bob precisam adquirir seus pares de partículas pareadas, talvez dois fótons, um se afastando do outro. O qubit de Alice pode estar em um estado que ela pretende enviar a Bob. Mesmo que ela não saiba qual estado é esse, ela pode influenciar o fóton de Bob a dar-lhe essa mensagem. Ao fazer uma medição do fóton dela, Alice o destrói. Mas o fóton de Bob segue adiante. Bob pode fazer sua própria medição para extrair informação.

Como nada na verdade está viajando a lugar algum, não há teletransporte de matéria nesse sentido. À exceção da primeira troca de partículas, não há comunicação direta entre os dois mensageiros. Pelo contrário, a mensagem original de Alice é destruída no processo de envio e seu conteúdo é recriado em algum outro lugar.

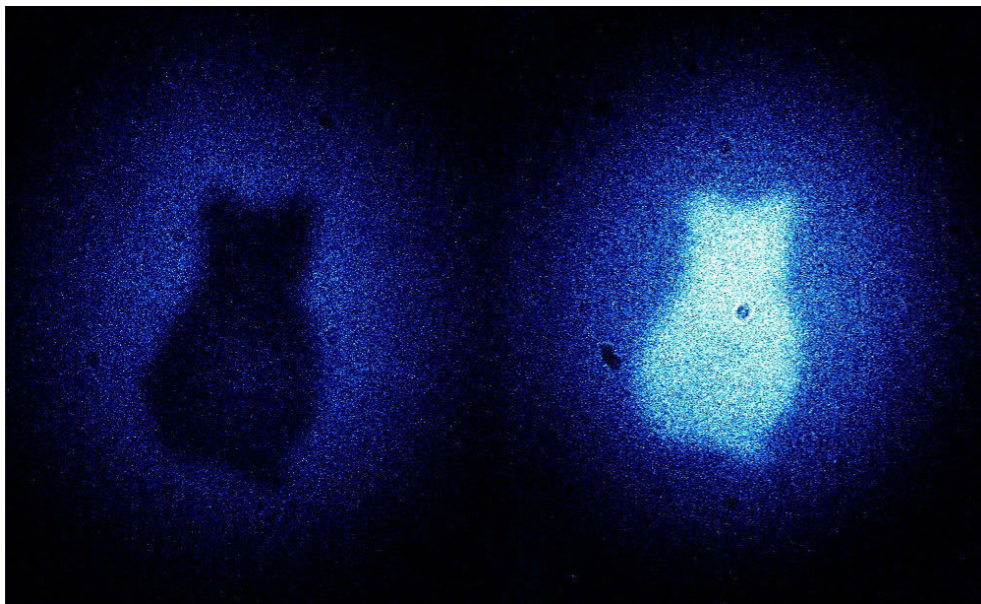
Partículas emaranhadas também podem ser usadas para transmitir mensagens cifradas, de modo que só o receptor-alvo pode lê-las. Qualquer bisbilhoteiro quebraria a pureza do emaranhamento, arruinando a mensagem de vez.

O desconforto de Einstein com o emaranhamento era compreensível – é difícil imaginar o universo como uma teia de conexões quânticas, com números desconhecidos de partículas

falando com suas gêmeas distantes. Mas é assim que ele é. O Universo é um grande sistema quântico.

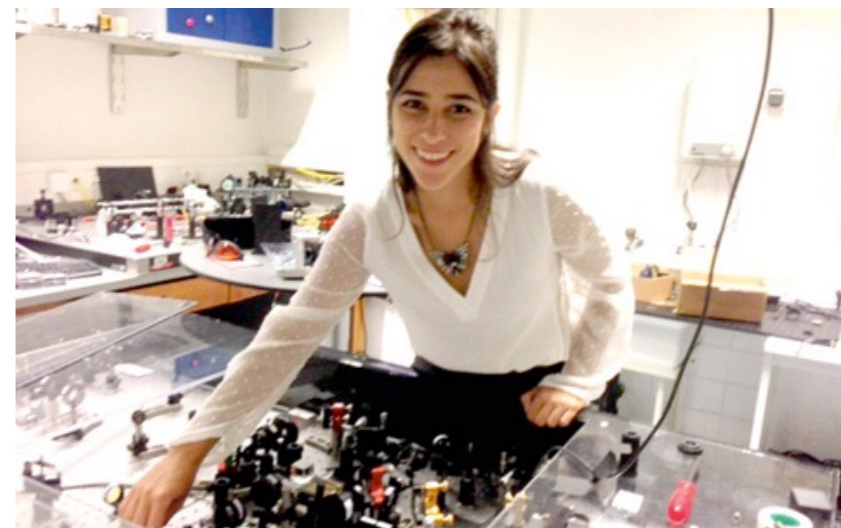
NOTICIA - ISTO É - Física Brasileira, Gabriela Barreto Lemos e a comprovação do Entrelaçamento Quântico.

No ano de 2014 a brasileira Dra. Gabriela Barreto Lemos, 32 anos, à frente de um grupo de cinco físicos, conduziu um experimento que registrou imagens oriundas não da reflexão da luz, mas de um bizarro tipo de “telepatia” entre partículas conhecido como “emaranhamento quântico”. Esse fenômeno – classificado pelo físico alemão Albert Einstein como “assustador” – ocorre apenas com partículas menores do que um átomo, como os fótons que formam a luz.

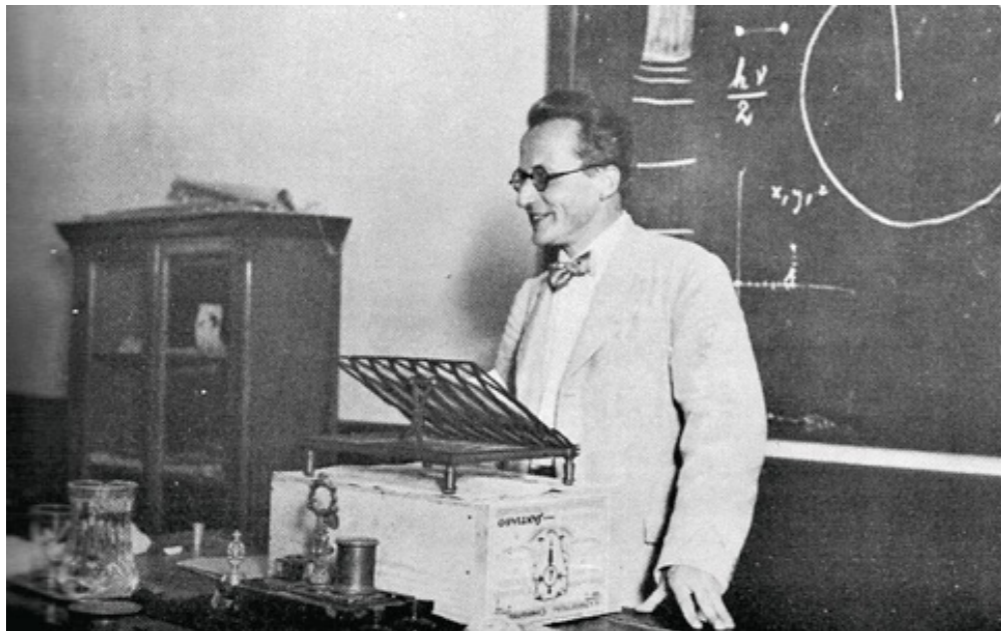


Gabriela idealizou o experimento usando o desenho de um gato entalhado em uma fina pastilha de silício - uma referência ao também famoso Gato de Schrodinger. [Imagem: Gabriela Barreto Lemos et al. - 10.1038/nature13586]

“A ótica quântica é doidíssima, supercontraintuitiva, e eu adoro isso”, disse Gabriela à ISTOÉ em entrevista por telefone. Mineira de Belo Horizonte, ela faz pós-doutorado no Instituto para Ótica Quântica e Informação Quântica de Viena, na Áustria, uma das instituições científicas mais respeitadas do mundo. Foi no laboratório europeu que Gabriela desenvolveu o estudo que, pela primeira vez, registrou imagens de um objeto que nunca “viu” luz (confira infográfico). “O feixe de luz que foi detectado pela nossa câmera nunca atingiu a figura do gato, mas era ‘irmão gêmeo’ do feixe que passou por ele”, explica a pesquisadora. Isso provou, com resultados práticos, que partículas que não têm nenhuma conexão física podem compartilhar informação, como se conversassem telepaticamente.



A escolha da figura do gato para registrar a imagem não foi por acaso. A equipe de Gabriela quis homenagear o físico austríaco e ganhador do Prêmio Nobel Erwin Schrödinger. Em 1935, para mostrar o aparente paradoxo de outro conceito da mecânica quântica – o das realidades paralelas que coexistem enquanto não forem observadas –, ele propôs um experimento mental em que um gato é colocado dentro de uma caixa fechada. A vida do animal ficaria à mercê de partículas radioativas. Se elas fossem liberadas, o gato morreria. Se não, ficaria vivo. Para Schrödinger, se os princípios da mecânica quântica fossem aplicados a seres e objetos maiores, o gato teria que estar vivo e morto ao mesmo tempo, até que alguém abra a caixa para observá-lo.



O físico austríaco Erwin Schrödinger. Em 1935, para ilustrar o comportamento aparentemente ilógico de partículas subatômicas, ele propôs o experimento imaginário do gato que está vivo e morto ao mesmo tempo

Acima de tudo, Gabriela e sua equipe conseguiram trazer para o mundo real alguns dos conceitos mais complicados da física moderna. E isso não é um feito pequeno. “Os chamados efeitos quânticos não são nada triviais”, diz Gabriela, que ganhou uma bolsa de estudo da Academia Austríaca de Ciências e não depende de nenhum programa do governo brasileiro para conduzir sua pesquisa. Ao mesmo tempo, a equipe que realizou o experimento vislumbra, num horizonte não muito distante, aplicações práticas para essa captação indireta de imagens. Médicos poderiam, por exemplo, iluminar um tecido sensível com uma luz invisível, que não danificaria as células, enquanto um raio de luz “gêmea”, porém visível, criaria a foto em uma câmera.

O trabalho pioneiro, publicado na respeitada revista científica Nature, gerou reconhecimento internacional para Gabriela e sua equipe. Quando terminar o pós-doutorado, no fim de 2015, ela pretende retornar ao Brasil para continuar as pesquisas. “Temos pessoas muito capacitadas na física brasileira”, diz. “Esse tipo de conhecimento não pode ser negligenciado pelo País.”



Fotografia fantasma

Gabriela idealizou o experimento usando o desenho de um gato entalhado em uma fina pastilha de silício - uma referência ao também famoso Gato de Schrodinger.

Ela produziu pares de fótons entrelaçados e os enviou em duas direções diferentes: enquanto o primeiro fóton podia atravessar o recorte do gato e então se perder, o outro membro de cada par ia direto para um detector, sem nunca passar pelo gato, e sem ter como se comunicar com seu irmão.

A imagem foi gerada pelos fótons coletados pelo detector - aqueles que nunca poderiam ter passado pelo recorte do gato.

Confirmando as previsões da teoria quântica, o gato apareceu perfeitamente na fotografia - uma imagem gerada por fótons que nunca passaram pelo objeto que foi fotografado.

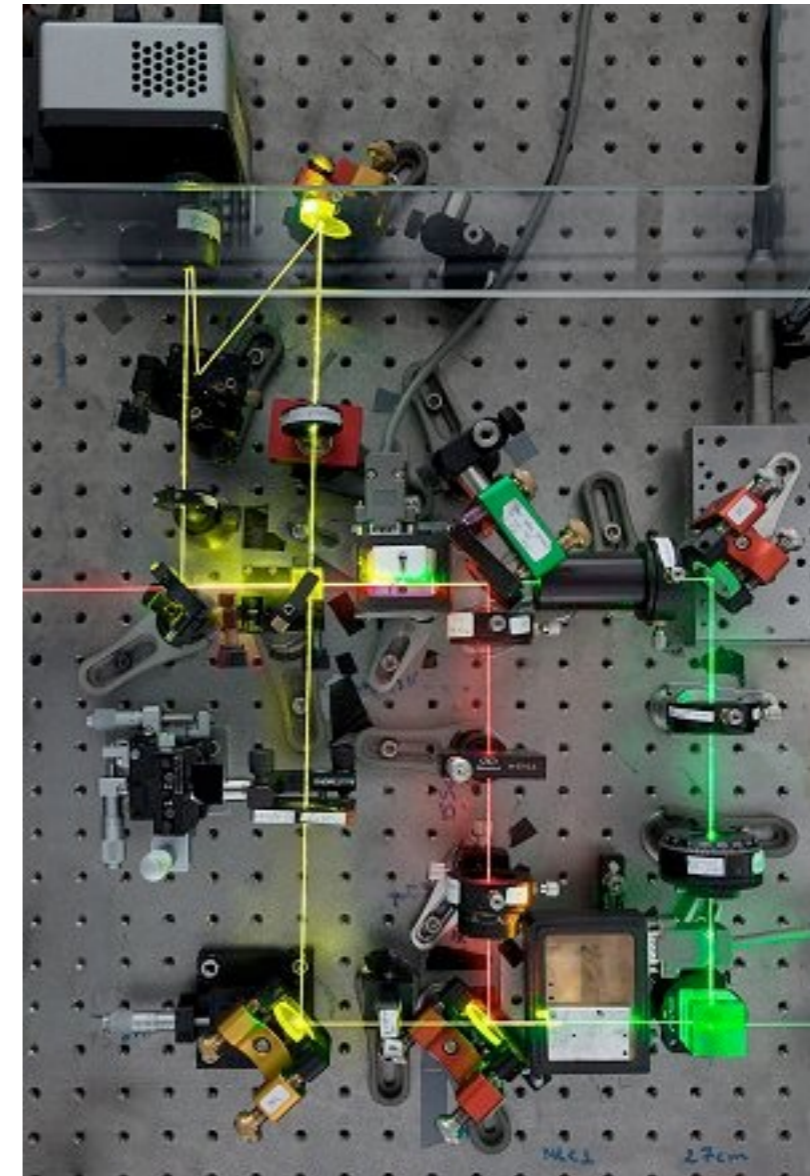


Imagem do experimento, mostrando os diferentes caminhos dos dois fluxos de fótons. [Imagem: Universidade de Viena]

Disponível no site:

[http://istoe.com.br/
381125_UM+GATO+UMA+BRASILEIRA+E+UM+FEITO+INEDITO
+NA+FISICA/](http://istoe.com.br/381125_UM+GATO+UMA+BRASILEIRA+E+UM+FEITO+INEDITO+NA+FISICA/)

Bibliografia:

Quantum imaging with undetected photons

**Gabriela Barreto Lemos, Victoria Borish, Garrett D. Cole,
Sven Ramelow, Radek Lapkiewicz, Anton Zeilinger**

Nature

Vol.: 512, 409-412

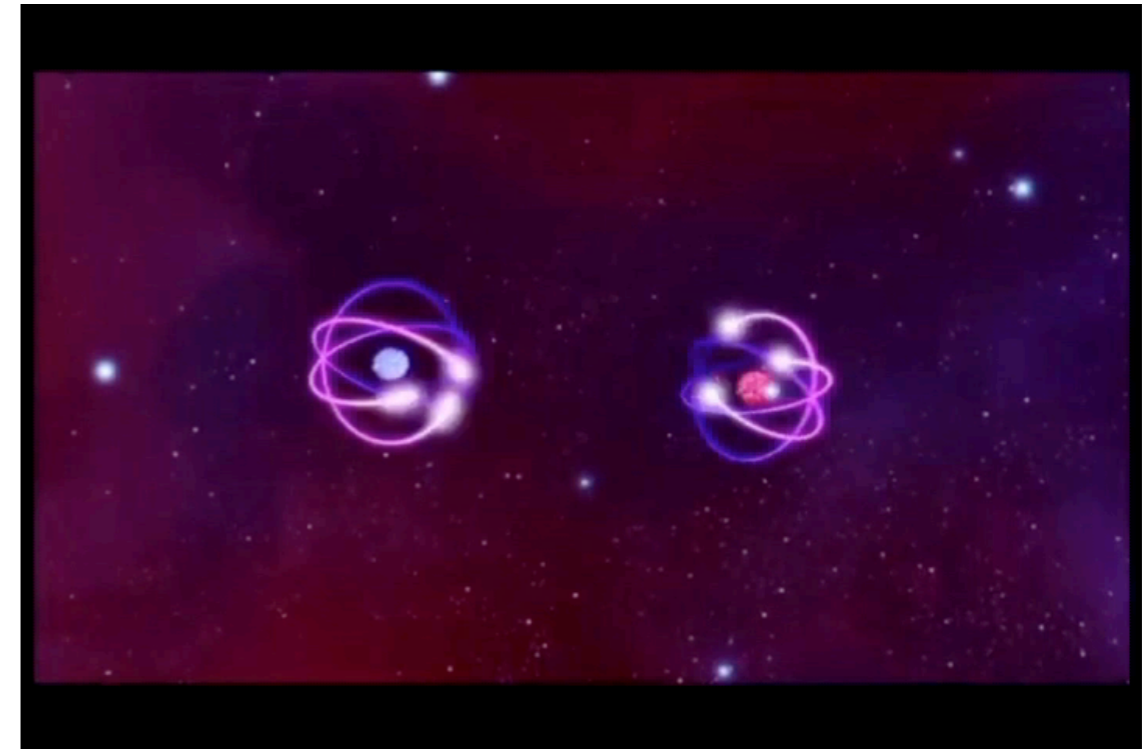
DOI: 10.1038/nature13586

Entrevistas com a Dra Gabriela Barreto Lemos, podem ser acessados no youtube através dos seguintes endereços:

Hangout Nupesc - Emaranhamento Quântico: a Fotografia quântica e o Gato de Schrodinger: <https://www.youtube.com/watch?v=Z-em5XI-zAo>

(Canal: revistaSTOE) Vida de física: <https://www.youtube.com/watch?v=4C-rjsJUUNo>

Documentário sobre o Entrelaçamento Quântico.



Disponível no site:

<https://www.youtube.com/watch?v=QamNg3jhJOw&t=2s>

Caro **professor**

O video acima nos traz um breve relato e uma breve explanação quanto ao entrelaçamento quântico, por meio de recurso audio visual, o qual com certeza facilitará o repasse conceitual do fenômeno para o aluno.

Tunelamento Quântico

CARO PROFESSOR

A abordagem sobre o Tunelamento Quântico, traz para a disciplina de Química uma vasta explicação sobre a Radioatividade, tanto que a mesma poderia ser explicada apenas com mecânica quântica.

Um exemplo é quando uma partícula alfa pode precisar de um bocado de energia para escapar da forte cola do núcleo, mas como existe uma pequena probabilidade de que ela o faça, existe a chance dessa partícula exceder a barreira de energia. Isso é chamado tunelamento quântico.

O tema abordado nesta seção é para o **Professor** e **alunos**.

Sendo que o professor pode, trazer o conteúdo sobre a radioatividade e trabalhar os dois juntos.

Vale lembrar ainda que há um simulador no final para que o professor possa demonstrar o tunelamento Quântico aos alunos.

Quando você arremessa uma bola de tênis contra uma parede, espera que ela quique e volte. Imagine se em vez disso ela aparecer do outro lado da parede. Isso pode acontecer na escala atômica de acordo com as regras da mecânica quântica.

Como uma partícula, uma molécula ou mesmo um gato podem ser descritos como uma onda – incorporados em uma função de onda da equação de Schrödinger – existe uma chance de que ela seja extensa. Elétrons, por exemplo, não orbitam seu núcleo como planetas, mas estão espalhados por todas as suas camadas orbitais. Se o concebemos como partículas, o elétron pode estar em qualquer lugar dessa região, com alguma probabilidade. É improvável, mas elétrons podem até mesmo pular para fora dos átomos em que residem.

O tunelamento quântico é a habilidade de uma partícula atingir uma faixa energética no mundo quântico que não seria possível num cenário clássico. É como se um cavalo pudesse de alguma maneira atravessar uma cerca alta demais para pular porque sua função de onda seria capaz de abrir um buraco nela. Superar barreiras de energia por tunelamento é algo com um papel nos processos de fusão nuclear que fazem brilhar o Sol e outras estrelas e tem aplicações em eletrônica e óptica.

Decaimento radioativo

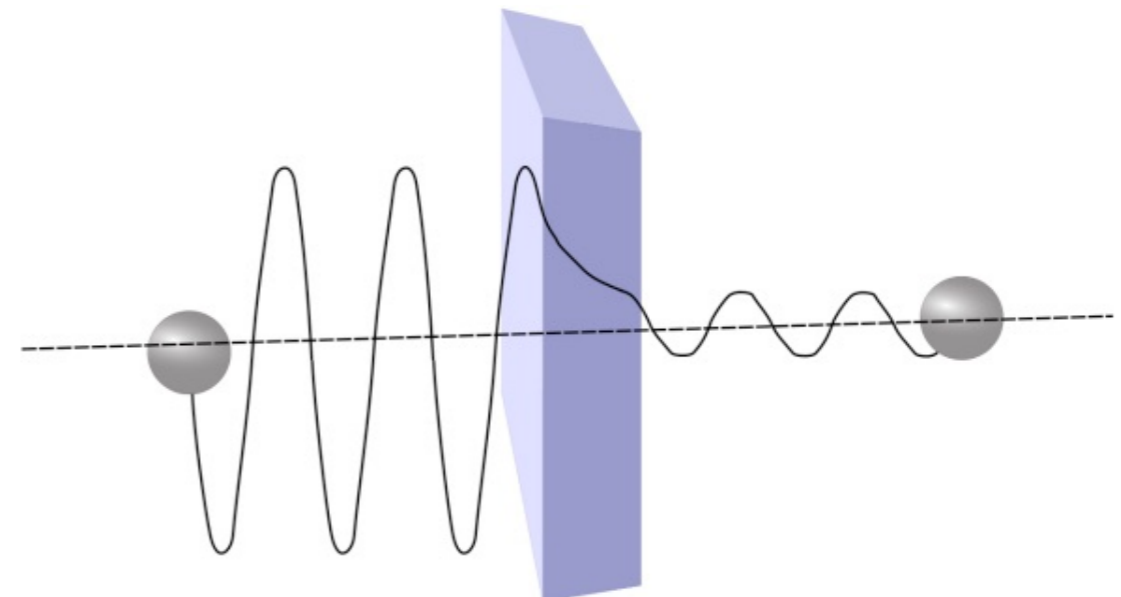
Físicos tiveram a ideia do tunelamento quântico quando tentavam descobrir como átomos radioativos decaem. É impossível prever o exato momento em que um núcleo instável vai se romper e expulsar um pouco de radiação, mas podemos dizer em média, para muitos núcleos, quão provável é. Essa informação normalmente é expressa em termos da meia-vida, o período necessário para metade dos átomos decaírem. Mais formalmente, é o intervalo no qual há uma chance de 50% de dado átomo ter decaído.

Em 1926, Friedrich Hund criou o conceito de tunelamento quântico, que logo foi cooptado para explicar o decaimento alfa. Um pedaço de polônio-212, por exemplo, emite partículas alfa (dois prótons com dois nêutrons) rapidamente e tem uma meia-vida de 0,3 microssegundos. Elas possuem energias típicas em torno dos 9 MeV (milhões de elétrons-volt). Mas a partícula alfa deveria requerer 26 MeV para escapar à energia vinculante do núcleo, de acordo com a física clássica. Ela não deveria ser capaz de se soltar de modo algum, mas claramente ela o faz. O que está acontecendo?

Por causa das incertezas da mecânica quântica, há uma pequena possibilidade de uma partícula alfa escapar do átomo de polônio. A partícula alfa é capaz de saltar – ou abrir um túnel quântico – através da barreira de energia. A probabilidade de que ela o faça pode ser calculada usando a equação de onda de Schrödinger,

estendendo a função de onda para além do átomo. Max Born percebeu que o tunelamento era um fenômeno geral da física quântica e não estava restrito à física nuclear.

Como podemos visualizar o tunelamento quântico? A partícula alfa que sente um puxão de atração da força nuclear é como uma bola rolando em um vale. Se ela tem uma pequena quantidade de energia, ela rola para a frente e para trás e fica aprisionada. Se ganhar energia o suficiente, porém, ela poderá atravessar o monte e escapar do vale. Essa é a imagem da física clássica.



Existe uma pequena chance de a função de onda de uma partícula “tunelar” através de uma barreira de energia, mesmo quando ela não possui energia o suficiente para superá-la de acordo com a física clássica.

No mundo quântico, a partícula alfa também tem tendência a se comportar como onda que pode se espalhar. De acordo com a equação de onda de Schrödinger, as propriedades das partículas

podem ser descritas por função de onda que se parecem vagamente com ondas sinusoidais. A função de onda precisa ser contínua e refletir o fato de que a partícula tem maior tendência a existir dentro do átomo, mas há também uma pequena probabilidade de que as partículas escapem do vale da carga nuclear, por isso algumas devem vazar.

Visualizando isso matematicamente, a função de onda é uma onda senoidal em um vale, mas quando ela atinge as laterais dos montes ela se estende através dessa barreira de energia. Ela perde força quando o faz, então uma barreira grossa e mais difícil de penetrar, mas não impossível. Após isso, ela retoma seu caráter de vai e vem de onda senoidal no outro lado do morro. Ao calcular a força da função de onda no lado distante do morro em relação ao interior é possível determinar a probabilidade de a partícula alfa escapar.

Ondas evanescentes

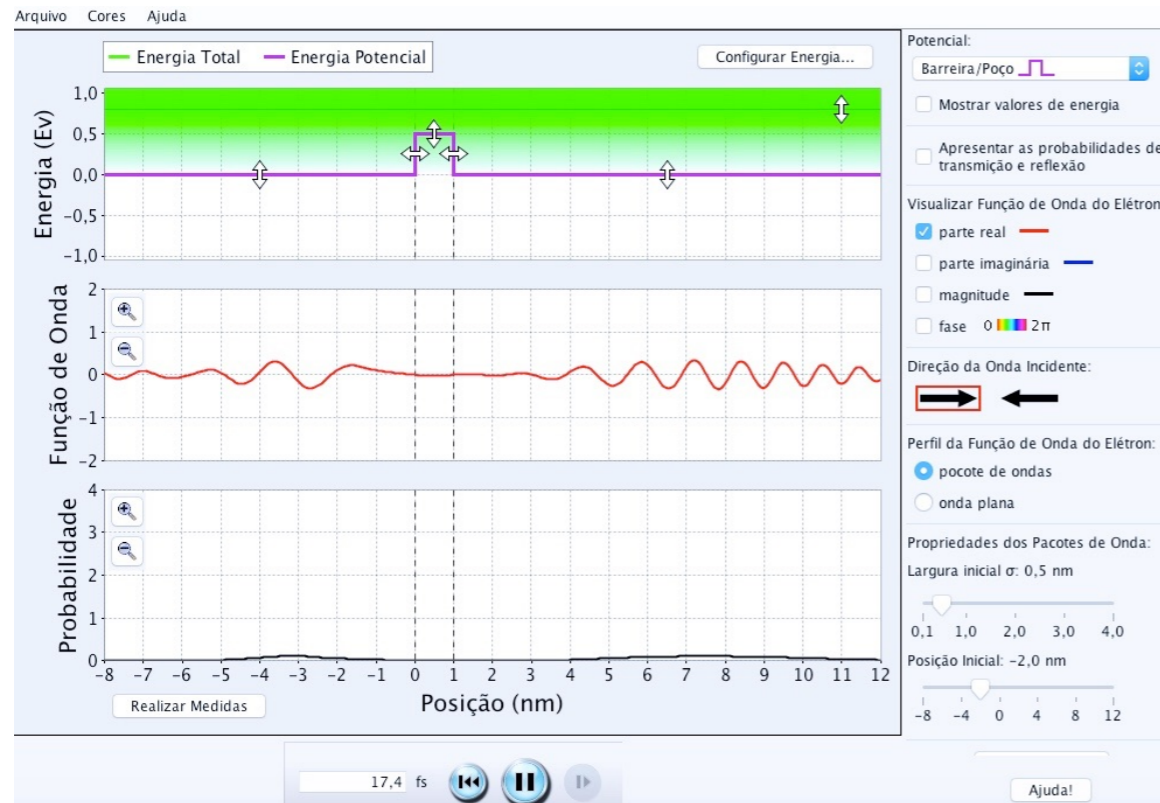
A luz pode espalhar energia através de um espelho graças a um fenômeno relacionado. Um raio de luz que incide sobre um espelho e é completamente refletido não pode ser explicado usando as equações de ondas eletromagnéticas de Maxwell. Para manter as propriedades das ondas inteiras e equilibrar as equações, um pouco de energia precisa passar pelo espelho. Isso é conhecido como ondas evanescentes.

Ondas evanescentes decaem espontaneamente em força e rapidamente se tornam tão fracas que são invisíveis. Mas se algum material equivalente é posicionado perto do primeiro espelho, a energia pode ser captada e transmitida. Essa técnica de acoplamento é usada por alguns dispositivos ópticos e é análoga ao espalhamento de energia magnética entre bobinas indutoras e um transformador.

Tunelamento também é útil em eletrônica. Ele permite a elétrons pular barreiras de modo controlado em arranjos de semicondutores e supercondutores. Junções de túnel, por exemplo, são “sanduíches” feitos de materiais condutores em volta com um isolante no meio – uns poucos elétrons podem pular de um lado para o outro do isolante. O tunelamento também é usado em alguns tipos de diodo e transistor, como meio de controlar voltagens, um pouco com um controle de volume.

O microscópio de varredura por tunelamento usa esse princípio para produzir imagens da superfície de materiais, revelando detalhes na escala de átomos. Ele o faz ao posicionar uma agulha carregada perto da superfície. Um pequeno número de elétrons passam da agulha para a superfície por tunelamento quântico, e a força da corrente revela a distância entre os dois. Tais microscópios são tão poderosos que chegam a uma precisão de 1% do diâmetro de um átomo.

TUNELAMENTO QUANTICO - SIMULADOR



Para acessar o simulador clique no título ou clique [aqui](#).

ENERGIA NAS PARTICULAS (ÁTOMOS E MOLÉCULAS)

CARO PROFESSOR

O tema que será abordado aqui é uma forma de repassar aos alunos um conceito de energia interna que todos os átomos e moléculas possuem em todas substancias. Dando dessa forma uma visão geral, de uma forma mais clássica, para que o aluno possa entender, inclusive, o significado de energia interna que muitas vezes é tratado em Termoquímica e Termodinâmica.

Esses conceitos são abordados no material em uma linguagem simples para que o aluno possa entender melhor tais conceitos.

O estudo e a evolução dos modelos atômicos em geral, deram para a área da química a base necessária para explicações como reações químicas acontece, qual o caminho descrito por elas, seu tempo, sua intensidade e, inclusive, sua energia. Enfim, na química vemos muito da Física e da Mecânica Quântica (MQ).

Todas as contribuições na área da Física estão na Química como base para explicações de todos os fenômenos que alteram a estrutura da matéria.

Nesse caso, não podemos, em hipótese alguma, dizer que um fenômeno físico, não altera a estrutura da matéria. Pois na alteração da matéria, existe fenômenos físicos e químicos, que determinam como essa alteração vai acontecer.

Podemos ver a Física presente em toda a Química como o movimento browniano das partículas que é o movimento térmico das mesmas. Este é inerente a todas as partículas, sejam elas grandes ou pequenas, concentrações de moléculas, moléculas e átomos.

O mundo se compõe de átomos em movimento. Os átomos possuem massa, o átomo em movimento possui energia cinética. Naturalmente, que a massa do átomo é muito pequena e, conseqüentemente, sua energia também é pequena, porém, devemos ter em mente que são milhões e milhões de átomos.

Quando falamos da lei de conservação de energia, esta não era uma lei de conservação suficientemente universal. O impulso e o momento se conservavam em um experimento, porém a energia apenas se conservava em um caso ideal, ou seja, quando não havia atrito. Na verdade, a energia sempre diminuía.

É claro, que antes, não se dizia nada sobre a energia dos átomos. Agora surge a ideia natural: aonde a primeira vista observávamos a diminuição da energia, na realidade essa energia era transmitida para os átomos do corpo de um modo imperceptível.

Os átomos se submetem as leis da mecânica. Naturalmente que sua mecânica é um pouco original; porém, não muda o foco; com respeito a lei de conservação de energia, os átomos não são diferentes em nada dos corpos macroscópicos.

Portanto a conservação da energia total se observa somente quando, além da energia mecânica do corpo, mas também a sua energia interna e do meio em que o corpo esta inserido. Somente nesses casos que a lei é universal.

Sendo assim podemos dizer que a energia de um corpo tem como primeira componente: a soma das energias cinéticas de todos os átomos. Como sabemos os átomos atuam mutuamente uns sobre os outros. Dessa forma, temos também a energia potencial dessas interações. Assim, temos, que a energia total de um corpo se dá pela soma das energias cinéticas das partículas e da energia potencial de suas interações.

É fácil compreender, que a energia mecânica do corpo, como um todo, é somente uma parte da energia total. Pois, quando o corpo esta em repouso, suas moléculas não entram em repouso e muito menos param de atuar umas sobre as outras. A energia do movimento térmico das partículas que estão no corpo em repouso e a energia de interação das partículas, formam a energia interna do corpo. Por isso, a energia total do corpo é a soma das energias: mecânica e interna.

Ao se estudar a energia interna, observa-se que não há perda de energia. Se examinarmos a natureza com uma lente de aumento de milhões de vezes, o quadro que nos é apresentado é extremamente harmônico. Não há nenhuma fração de energia mecânica perdida, o que se observa é a transformação para energia interior do corpo ou para o meio. E quanto ao trabalho, houve perda? Mas é claro...que não! A energia foi convertida para acelerar o movimento relativo das moléculas e a alteração de sua posição relativa.

As moléculas se submetem a lei da conservação de energia mecânica. No mundo molecular não existe forças de atrito; assim as moléculas são regidas pela transformação de energia potencial em cinética e vice-versa. Somente no mundo macroscópico, em que há “perda” de energia.

Tanto que se em algum fenômeno, seja ele físico e/ou químico, ocorre a perda de energia mecânica, total ou parcial, na mesma magnitude aumenta a energia interna dos corpos e também do

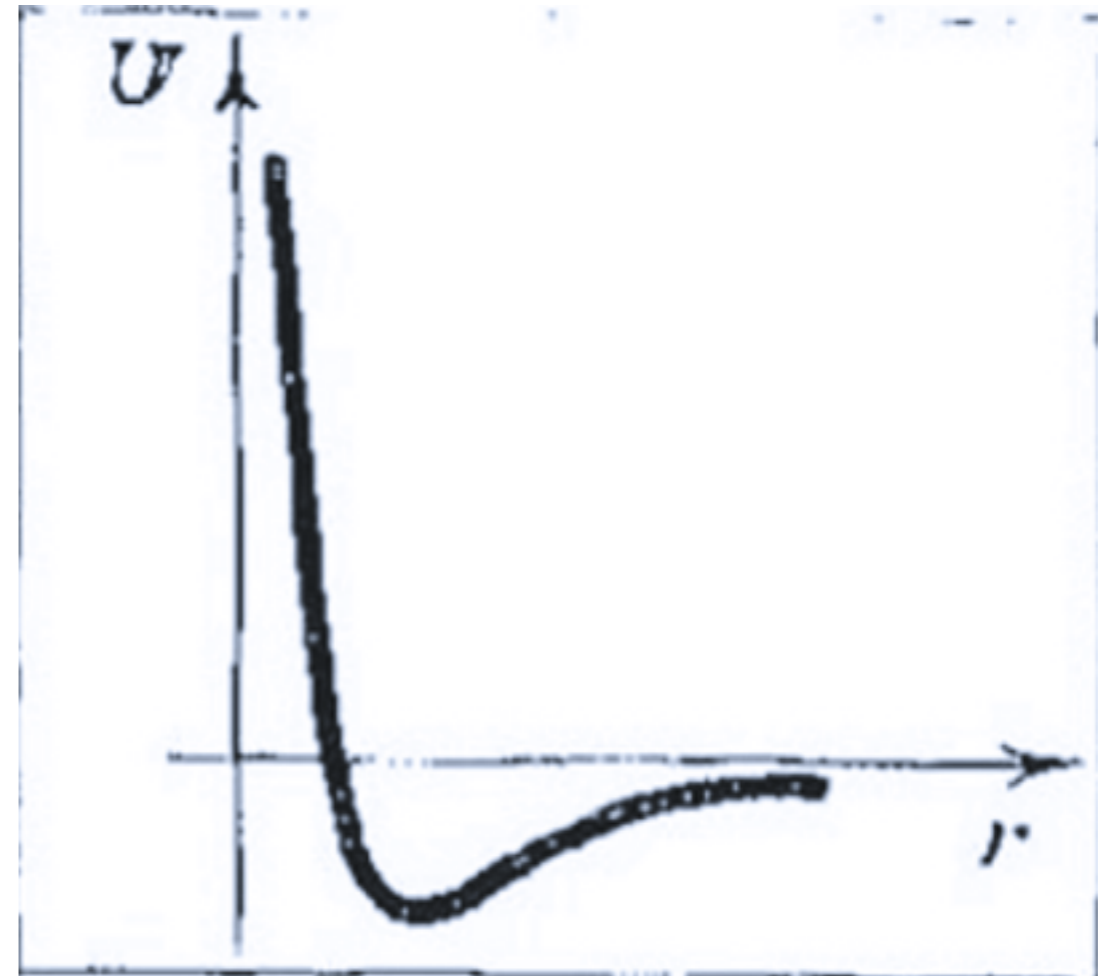
meio em que o fenômeno ocorre. Em resumo, a energia mecânica se transforma, sem nenhuma perda, em energia das moléculas e dos átomos.

Estrutura da matéria

As moléculas são compostas de átomos. os átomos estão ligados nas moléculas por forças químicas..

Existem moléculas que são compostas por dois, três, quatro átomos. As moléculas maiores, as de proteínas, são compostas de dezenas e até mesmo de centenas de milhares de átomos. O reino das moléculas é muito variado.

As propriedades das moléculas são determinadas, não apenas pela quantidade ou tipo de átomos que participam em sua formação, mas também pela ordem e por sua configuração geométrica (forma de sua união). A molécula não é um conglomerado desordenado de ladrilhos, mas representa, sim, uma construção com uma arquitetura complexa, onde cada ladrilho tem seu lugar e vizinhos determinados. A construção atômica de uma molécula pode ser regida em maior ou menor grau. Em todo caso, cada um dos átomos efetua oscilações ao redor do ponto de equilíbrio. Em alguns casos, partes da molécula podem girar com relação a outras, dando a molécula livre, no processo de seu movimento térmico, as mais diversas configurações.



Na figura acima temos uma curva que representa a energia potencial de uma molécula que contem dois átomos. A mesma apresenta uma curva característica, primeiramente, decresce, depois, sobe um pouco, formando um poço, e por fim, se aproxima lentamente do eixo horizontal, o qual representa a distância que há entre os átomos.

Sabe-se que a situação é estável quando a energia potencial alcança o valor mínimo. Quando o átomo forma parte da

molécula, ele se encontra no “poço” potencial, realizando algumas oscilações térmicas ao redor de sua posição de equilíbrio.

A distancia desde o fundo do “poço” até o eixo vertical se pode chamar de distancia de equilíbrio. A esta distancia estariam os átomos se cessasse o movimento térmico.

A curva de energia potencial informa todos os detalhes da interação dos átomos. Analisando a curva, pode-se determinar se as partículas se atraem ou se repelem em uma determinada distancia, se cresce ou diminui a força de interação ao separar ou a aproximar as partículas. Quanto maior for a curvatura do gráfico maior será também a força de interação.

Os átomos se atraem entre si, mesmo quando separados por grandes distancias, porém, essa força de atração tende a diminuir com rapidez a medida que a distancia entre eles aumenta. Certamente, que ao aproxima-los a força de atração tende a aumentar, alcançando o valor máximo quando os átomos estão bastante próximos uns dos outros. Ao se aproximar ainda mais, a atração fica mais fraca e, finalmente, a distância de equilíbrio desaparece. Ao aproximar os átomos a uma distancia menor que a de equilíbrio, aparecem as forças de repulsão, que se desenvolvem abruptamente e, em seguida, tornam praticamente impossível diminuir ainda mais a distância entre eles.

As distancias de equilíbrio entre os átomos são diferentes para os vários tipos de átomos.

Para os diversos pares de átomos, não apenas são diferentes as distancias desde o fundo do “poço” até o eixo vertical, como também a profundidade do “poço”.

Essa profundidade tem um significado: para sair do poço, é necessário uma energia que tem que ser precisamente, igual a profundidade. Por isso, a profundidade do poço pode ser chamada de energia de ligação ou enlace das partículas.

A distancia entre os átomos das moléculas são tão pequenas, que para medir é necessário se utilizar de uma unidade especial, chamado Ångström (o qual já foi visto em tópicos anteriores do material), caso contrário, ao expressar os valores no sistema métrico ficaria uma numeração extensa para se escrever, como o seguinte exemplo: 0,000000012 cm. Esta é a distancia entre os átomos em uma molécula de oxigênio.

Assim o Ångström, é uma unidade mais cômoda para expressar valores no mundo atômico.

O valor do mesmo é: **$1\text{Å} = 10^{-8}\text{ cm}$**

A distancia entre os átomos das moléculas encontram-se entre 1 e 4 Ångström. Já a distancia de Equilíbrio, citada anteriormente para o oxigênio, é igual a 1,2 Å.

Como vemos, a distancia entre os átomos são muito pequenas.

Para medir a energia de ligação, se emprega no geral, a caloria, mas não relacionando a uma molécula, o que, naturalmente, resultaria em um número insignificante, mas sim a quantidade de matéria, conhecida como mol ou em algumas bibliografias como molécula-grama, aqui utilizamos a expressão mol, o qual é o número de gramas igual ao peso molecular relativo (N_A).

É claro que a energia de ligação dos átomos em uma molécula, assim como as distancias entre os átomos, oscila entre limites insignificantes.

Para o mesmo oxigênio, a energia de ligação é igual a 116 000 cal (116 kcal) para cada mol, para o hidrogênio, a 103 000 cal/mol, etc.

Como citado anteriormente, os átomos se situam nas moléculas, de maneira totalmente determinada, formando as vezes construções muito complexas.

Alguns exemplos de moléculas um pouco mais simples seriam: a molécula de CO_2 (gás carbônico), os três átomos estão situados em fila, com o átomo de carbono no meio. A molécula de água H_2O , tem uma forma angular; no vértice do angulo (que é igual a 105°) esta o átomo de oxigênio. O gás metano CH_4 , o átomo de carbono esta situado no centro de uma figura de quatro faces com arestas iguais, chamada tetraedro.

Já os átomos de carbono do benzeno C_6H_6 , formam um hexágono regular. A união dos átomos de carbono com os hidrogênios vem desde os vértices do hexágono. Assim todos os átomos estão situados em um plano.

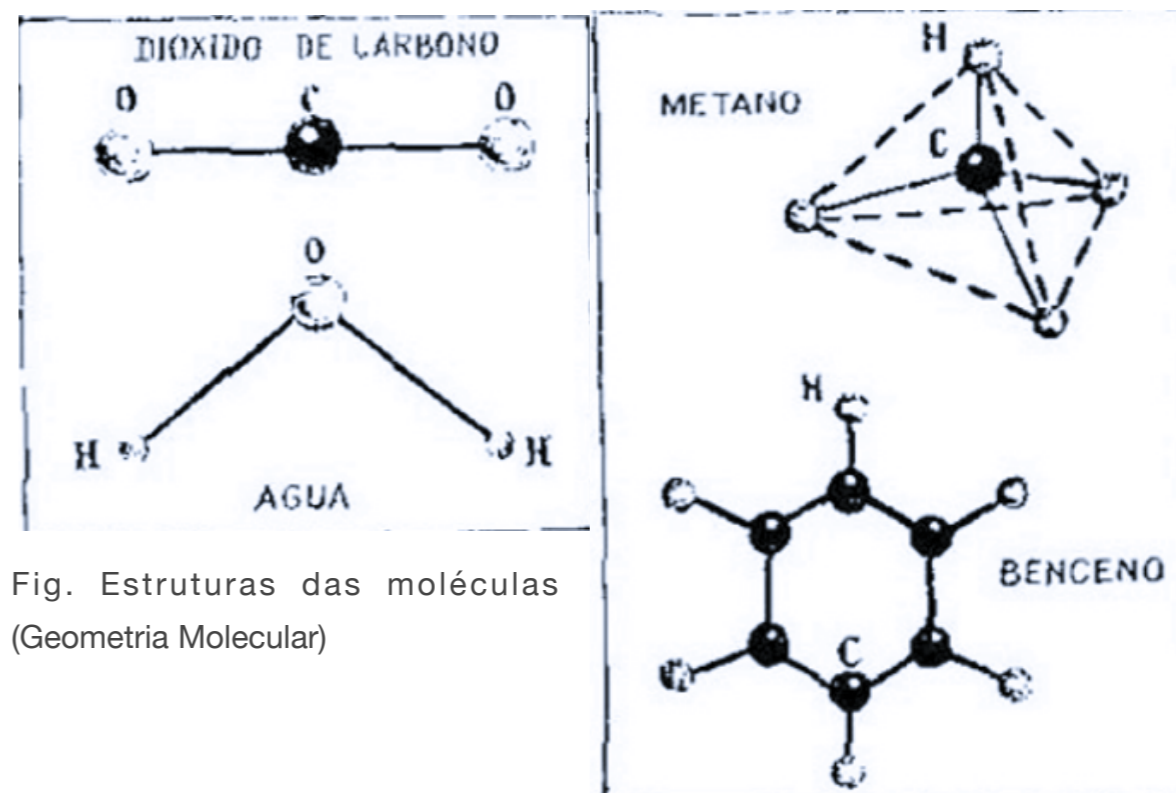


Fig. Estruturas das moléculas (Geometria Molecular)

Suponhamos que tenha sido realizado uma reação química: havia moléculas de uma espécie e se formaram outras. Uma ligação se destruiu, outras se formaram de novo. Para romper essas ligações entre os átomos, tem que realizar muito trabalho e demanda de energia, como para fazer sair rolando a bola do "poço". Pelo contrário, a formação de novas ligações ocorre a liberação de energia.

A pergunta que se faz é: qual trabalho é maior, o de destruir ligações ou de formar novas ligações? Na natureza encontramos reações de ambos os tipos.

O excesso de energia se chama efeito térmico em uma reação, ou como bem conhecido, Termoquímica. Os efeitos térmicos nas reações podem ser, frequentemente, medidos em uma ordem de grandeza de dezenas de milhares de calorias por cada mol.

Para escrever tais valores em uma reação química, umas das formas é escrever o mesmo na própria reação.

Um exemplo seria a reação de combustão do carbono na forma de grafite (Isso mesmo! A ponta do seu lápis ou lapiseira é puro carbono), ou seja, a união do carbono com o oxigênio, se escreve da seguinte forma:



Isso significa que ao ocorrer a união do $\text{C}_{(\text{grafite})}$ com o $\text{O}_{2(\text{g})}$ essa reação libera uma energia de 94.250 calorias.

Deste modo, essas expressões têm um significado claro de equações algébricas, escrito para os valores das energias internas.

Interação da moléculas

As moléculas das substâncias que foram citadas anteriormente, são formadas por átomos que estão fortemente ligados entre si.

Nos processos de dissolução, fusão e evaporação estas ligações não se rompem. A molécula continua comportando-se como uma partícula isolada, como um pequeno corpo físico a quaisquer ações físicas e mudanças de estado.

As moléculas se atraem mutuamente, isso ninguém duvida mais. Tanto que se em um instante as moléculas pararem de se atrair, todos os corpos líquidos e sólidos, iriam se desmoronar em moléculas.

As moléculas se repelem mutuamente, pois em caso contrario os corpos líquidos e sólidos se comprimiriam com uma facilidade extraordinária.

Dessa forma, notamos que as forças que atuam nas moléculas, em grande parte, são muito parecidas com as forças que atuam nos átomos, ou seja, aquelas que já havíamos visto anteriormente. A curva de energia potencial que foi descrita para os átomos, fornece, praticamente, as características fundamentais da interação entre as moléculas. No entanto, entre estas duas interações existem diferenças particulares.

Por exemplo, a distancia de equilíbrio entre os átomos de oxigênio que formam a molécula e os átomos de oxigênio das moléculas vizinhas, que são atraídos para uma posição de equilíbrio. A diferença é notável: os átomos de oxigênio que formam a molécula estão a uma distancia de 1,2 Å; já os átomos

de oxigênio das diversas moléculas estão a uma distancia entre eles de 2,9 Å.

Para outros átomos, também se obtém resultados semelhantes. Os átomos das moléculas diferentes se distancia mais longe um dos outros do que os átomos de dentro da molécula. Por isso, é mais fácil separar uma molécula de outras que os átomos de dentro de uma molécula, sem falar, que há uma diferença de energia muito maior do que comparado com as distancias.

Se a energia necessária para quebrar a ligação de átomos de oxigênio que forma a molécula for de 100 kcal/mol, a energia necessária para separar as moléculas de oxigênio é menor do que 2 kcal/mol.

Naturalmente que a energia das moléculas e átomos não esta apenas nas interações, mas como já foi citado anteriormente, também na questão da energia cinética de cada átomo e de cada molécula, o que acaba dando a característica de energia térmica.

Porém existe muito outros fenômenos físicos e químicos, onde demonstra a energia nessas partículas.

Ligações Químicas - Abordagem Quântica

CARO PROFESSOR

Chegamos ao último tema abordado no Material. Aqui é tratado as ligações Químicas a partir de uma abordagem Quântica.

É fato que nesse ponto do material, tanto o professor como os alunos já estejam familiarizados com alguns conceitos que aqui serão abordados, lembro ainda que o material é elaborado a partir de uma abordagem histórico-conceitual, para que professores e alunos possam conhecer as idéias da MQ e sua importância no desenvolvimento de conceitos da Química.

Foi através da mecânica quântica ondulatória que se deu a explicação da origem da valência química e das suas leis de saturação. Sendo que a mecânica Clássica não permitia compreender a existência de forças com saturação. Dessa maneira, a teoria quântica permitiu uma fusão mais profunda entre a Física e a Química.

As teorias sobre ligação química foram em grande parte inspiradas na idéia da união por meio de pares de elétrons, proposta pelo físico-químico Gilbert Newton Lewis em 1916, após a teoria de Bohr. A ligação seria representada por meio de dois pontos, os quais seriam os elétrons, colocados entre os símbolos dos elementos, ou por um traço, simbolizando a união. Do ponto de vista de Lewis, os dois elétrons da ligação são atraídos eletrostaticamente pelos dois núcleos atômicos, sendo compartilhados pelos mesmos. Nesse modelo de ligação temos associado a ele a chamada teoria do octeto. Segundo Lewis, os elétrons ficariam dispostos ao redor do núcleo de modo a minimizar a repulsão entre os mesmos. Sendo que o número máximo de elétrons na valência seria oito, com exceção dos elementos Hidrogênio e Hélio, que são elementos do primeiro período.

O octeto proposto por Lewis pode ser representado por 04 (quatro) pares de pontos em torno do símbolo do elemento, o que acaba representando a disposição espacial de um cubo, pois, sob o ponto de vista do modelo, é a geometria que melhor conduz à uma repulsão entre os elétrons. Sendo que com a movimentação dos elétrons, a disposição cúbica acaba por tornar-se uma distribuição esférica ao redor do núcleo.

Com relação ao compartilhamento de elétrons, este fenômeno está inerente a afinidade eletrônica e o potencial de ionização. A afinidade é associada ao conceito de valência como maneira de expressar a capacidade de combinação

dos átomos. Para tratar quanto a questão de desigualdade atômicas, Pauling introduziu o conceito de eletronegatividade (em termos de energia de ligações), que com o passar do tempo foi reeditado sob várias formas como potenciais de ionização e afinidade eletrônica pelo químico Robert Sanderson Mulliken e também em termos de força de atração do núcleo pelo elétron da ligação pelos pesquisadores Allred e Rochow.

A ligação química apresenta três características importantes: polaridade, distância e energia.

A eletronegatividade é útil na previsão dessas três características, onde permite racionalizar a assimetria das cargas na ligação, explicando assim, o aparecimento de dipolos elétricos, conduzindo dessa forma ao aparecimento de dipolos elétricos, o que leva, conseqüentemente, a formação de íons. A eletronegatividade torna-se útil também na previsão de distâncias e energias de ligação.

Em 1960 o modelo de Lewis foi ampliado por J.W. Linnett, o qual baseado no Princípio de Pauli apresentou um novo modelo de estrutura eletrônica. O modelo é baseado, não no octeto de Lewis, mas em um duplo quarteto eletrônico. Assim, o par eletrônico deve ser representado por dois elétrons de spins opostos.

No modelo de Linnett, os elétrons ficam dispostos segundo os vértices de um tetraedro, aumentando ao máximo a distância entre os mesmos de modo a minimizar a repulsão.

Linnett reconhece que em um octeto de valência se verificam duas razões pelas quais a posição de um elétron não é independente da posição de todos os outros elétrons, as quais são apresentadas a seguir:

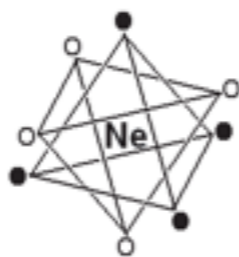
a) A correlação de carga - devida à repulsão intereletrônica eletrostática, que tende a manter todos os elétrons o mais afastados possível entre si.

b) A correlação de spin - que obriga o elétron que apresenta um dado spin se mantenha o mais afastado possível dos outros elétrons com igual spin (sendo, comparativamente, pouco sensível à posição dos elétrons de spin diferente).

Assim a formação de pares eletrônicos próximos (ligante ou não) força, portanto, que estes sejam compostos por elétrons de diferentes spins. Porque se verificasse apenas a correlação de cargas não haveria sequer a eventual formação desses pares eletrônicos próximos.

Como exemplo o Neon como átomo isolado, onde os dois quartetos de elétrons de spins contrários adotam preferencialmente uma distribuição espacial abaixo.

Nesse caso temos que os elétrons, não só, estão mais afastados dos outros elétrons devido a spin iguais (correlação de spin), como também estão afastados um dos outros devido a suas cargas (correlação de cargas).



Abaixo temos os modelos de estruturas de Lewis e Linnett com seus ligantes.

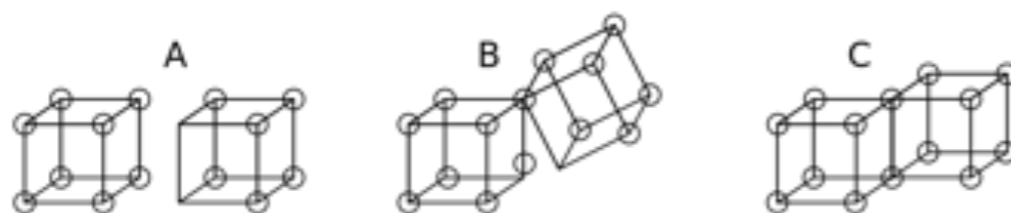


Figura - Modelo de Lewis e suas ligações

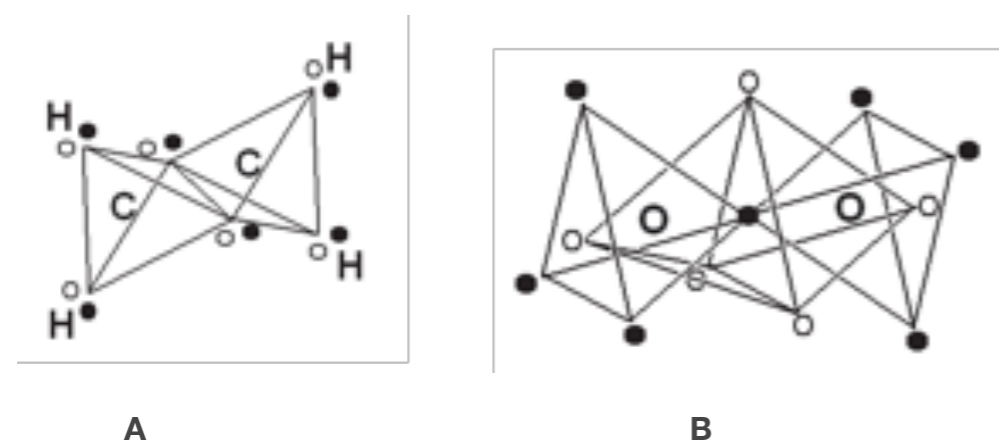


Figura - Modelos de Linnett e suas ligações levando em consideração a carga dos elétrons e seus spins.

Nas figuras que representam os modelos de Linnett temos a estrutura A que corresponde ao modelo de estrutura do eteno, nesse caso há dois pares de elétrons ligantes que unem os carbonos e quatro pares que unem os quatro hidrogênios.

A figura B representa a distribuição de valência para o O_2 . Na representação usando a notação de Lewis é trivial, porém, não permite explicar o seu paramagnetismo – Sim! O gás oxigênio é paramagnético, pois no final da década de 1920 foi realizado um experimento para verificar a natureza magnética do O_2 , onde foi resfriado até ser liquefeito. O_2 líquido foi então colocado entre os pólos de um magneto. Ao invés de fluir (ser repelido) por ambos os pólos, o líquido ficou “agarrado” (atraído) pelos pólos e isso se deve aos elétrons desemparelhados e, conseqüentemente, momento magnético de spin permanente – o paramagnetismo do O_2 só foi explicado pela Teoria das Orbitas Moleculares, constituindo um dos seus grandes sucessos. Contudo, Linnett apresentou a alternativa da figura B, a qual é mais simples, relativamente, à visão da Teoria das Orbitas Moleculares.

Abordagem Quântica

O modelo de Lewis é bastante útil na descrição qualitativa das ligações químicas. Porém, quando se quer discutir questões energéticas, geometrias ou aspectos de natureza espectroscópica, torna-se necessário lançar mão de teorias quânticas que enfocam a ligação química em termos da combinação de orbitais. Esse tipo de abordagem exige o ensino

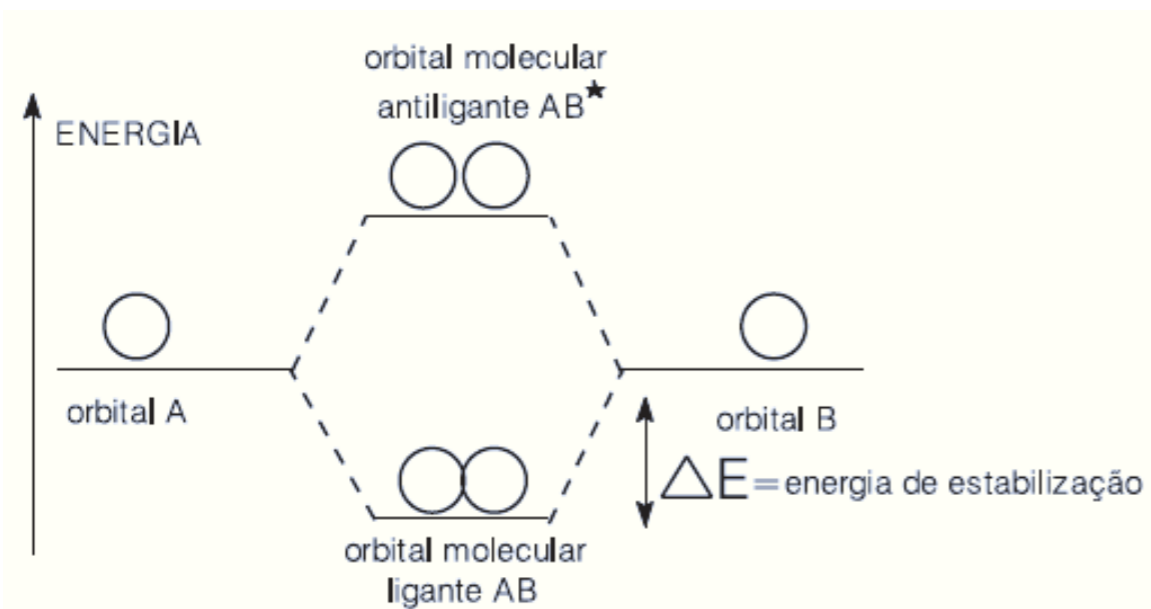
do modelo quântico para o átomo, e considera que quando dois átomos se ligam, o compartilhamento eletrônico se dá pela combinação dos orbitais que estão interagindo. Os dois orbitais atômicos são representados pelas funções de onda Ψ_A e Ψ_B . O resultado dessa combinação é a formação de novos orbitais estendidos sobre os dois átomos, denominados orbitais moleculares. Essas idéias constituem a base da Teoria dos Orbitais Moleculares, proposta por R.S. Mulliken, em 1932.

De modo geral, um orbital molecular de uma molécula AB — isto é, Ψ_{AB} — pode ser descrito por uma combinação linear (soma ou diferença) dos orbitais atômicos localizados em A e em B, respectivamente ($\Psi_{AB} = c_A\Psi_A \pm c_B\Psi_B$). A combinação dos dois orbitais pode ocorrer em proporções variáveis, expressas pelos coeficientes c_A e c_B . Quando os orbitais são equivalentes, como é o caso dos orbitais 1s na molécula de H_2 , esses coeficientes são iguais, isto é, $c_A = c_B$. Esses coeficientes diferem cada vez mais à medida que aumenta a diferença de energia entre os orbitais. Quando $c_A \gg c_B$, a participação do Ψ_A é dominante e o orbital molecular Ψ_{AB} se assemelha a Ψ_A e vice-versa. Isso equivale a dizer que os elétrons não são compartilhados eqüitativamente, podendo ficar a maior parte do tempo em A ou em B, dependendo dos valores relativos de c_A e c_B . Isso está relacionado com a diferença de eletronegatividade entre os elementos.

Na Mecânica Quântica, as energias são calculadas por meio da equação de Schrödinger, cuja representação genérica é do tipo $H\Psi_{AB} = E\Psi_{AB}$, sendo H, conhecido como operador hamiltoniano, uma expressão matemática dos termos energéticos da molécula, englobando por exemplo a energia cinética dos elétrons, a atração dos núcleos pelos elétrons de ligação, a repulsão entre os elétrons e a repulsão internuclear, ou seja, é um operador de energia total e indiretamente pode ser temporal (pois o mesmo contém o tempo no termo de energia cinética que está dentro dele).

A solução da Equação de Schrödinger sempre conduz a dois valores de energia, E_+ e E_- , associados as combinações, por soma e diferença, dos orbitais atômicos. Nesse caso a solução E_+ , de menor energia, provém da combinação dos orbitais atômicos com o mesmo sinal, formando dessa maneira um orbital molecular o qual é conhecido como ligante, que determina a estabilização da molécula.

Já a solução E_- , provém da combinação dos orbitais atômicos com sinais opostos, produzindo um orbital molecular de maior energia denominado antiligante.



A estabilização da ligação química se dá pelo preenchimento do orbital ligante. Se os elétrons ficarem nos orbitais antiligante, a estabilização diminui.

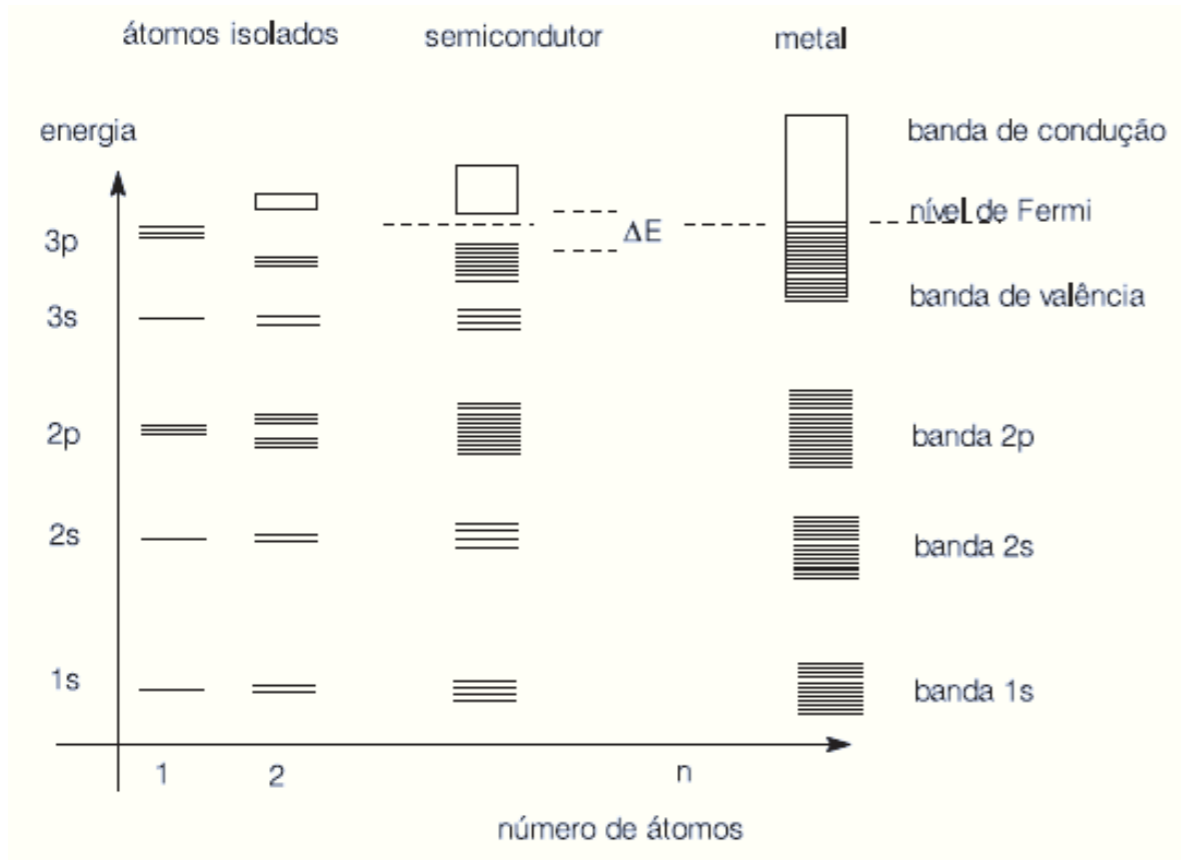
A combinação por soma leva a um reforço na densidade eletrônica entre os núcleos, de modo que os elétrons possam promover uma aproximação dos mesmos, resultando em uma ligação. Por outro lado, a combinação por diferença desloca a densidade eletrônica da região internuclear para as extremidades opostas, deixando os núcleos atômicos expostos a uma interação fortemente repulsiva. A ocupação desse orbital por elétrons favorece a quebra da ligação (dissociação).

A teoria dos orbitais moleculares permite expressar a ordem da ligação em termos da metade da diferença entre o número de elétrons ligantes e o de antiligantes. Assim, na molécula de H_2 , como só existem dois elétrons em orbital ligante, a ordem da ligação será 1, isto é, equivalente a uma ligação simples. No caso de uma molécula hipotética de He_2 , teríamos dois elétrons ligantes e dois antiligantes, e a ordem de ligação seria nula. De fato, o hélio é um gás nobre e não forma moléculas estáveis.

Quando os orbitais estão muito distantes, apresentam simetrias que não permitem um recobrimento efetivo ou tem energias muito diferentes, sua interação é diminuída. Os vários estados de energia da molécula se dá pela contribuição dos orbitais antiligantes, os quais podem ser monitorados através de técnicas espectroscópicas.

O modelo de bandas

Na teoria de bandas pode haver vários formalismos; porém um deles é a de estender a teoria de orbitais moleculares para um número muito grande ou até mesmo infinito de átomos. Assim, a combinação de 'n' orbitais atômicos dará origem a 'n' orbitais moleculares, porém com forte superposição, formando uma banda de orbitais.



A situação mais simples no diagrama do átomo isolado ou de moléculas pequenas, para os quais todos os níveis são discretos. A situação intermediária, com bandas de Valência separadas umas das outras, é típica dos elementos não metálicos encadeados. Nesses elementos, o último nível com elétrons está completo encontra-se separado do nível vazio mais próximo por uma diferença significativa de energia (ΔE). A condução eletrônica exige a promoção dos elétrons da banda cheia para banda vazia (banda de condução), mediante energia térmica ou até mesmo energia luminosa. Em princípio, um elemento não

metálico pode tornar-se condutor à custa de uma energia de promoção igual à diferença de energia entre os níveis ocupado e vazio. Quando essa energia não é muito grande, os sistemas são considerados semicondutores.

No estado metálico ocorre forte superposição entre a banda cheia e a banda vazia superior, a quantidade de energia no processo de passagem do elétron para a banda de condução é insignificante ($\Delta E \approx 0$).

Nos sistemas metálicos, os elétrons se distribuem dentro da banda como se fossem um fluido dentro de um copo. O limite de separação entre a parte ocupada e a vazia equivaleria à superfície do líquido, isto é, forma um nível de ocupação bem definido. Esse nível é conhecido como nível de Fermi. Nos semicondutores, um aumento de temperatura favorece a condução, contribuindo para a promoção dos elétrons para a banda vazia. Nos metais, o aumento de temperatura tem efeito contrário, dificultando a condução eletrônica por causa do aumento da resistência no percurso dos elétrons, esse aumento se dá devido à vibração térmica da rede.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

CARO PROFESSOR E ALUNO(S)

Esperamos que o material tenha sido de grande ajuda na divulgação dos conceitos da **Mecânica Quântica em suas aulas**. Naturalmente que não foram tratados todos os conceitos, e os mesmos são extensos, mas a proposta ora apresentada é para que os alunos e professores que não tiveram contato com o assunto em suas graduações, conheçam esse ramo da Física Moderna, que é de grande importância, tanto para a Química como para todo setor tecnológico nos dias atuais e que ainda há muito para se estudar e descobrir dentro dessa área.

Como educadores, mediadores no processo ensino-aprendizagem, temos por obrigação levar a Física e Química para os alunos, o mais próximo da realidade a qual eles, hoje, estão inseridos.

Mostrando a eles as várias contribuições que essas duas áreas da ciência, trouxeram para a sociedade. E fazer entender que as mesmas são uma construção humana, e assim sofrem influências, culturais, sociais e até mesmo políticas.

O material produzido, vem de encontro com a problemática levantada por muitos professores, tanto da Física como da Química, onde os mesmos relataram a falta de um material que trouxesse uma abordagem conceitual dos temas dentro da Física Moderna, nesse caso Mecânica Quântica (MQ).

Como sabe-se, os livros didáticos que são utilizados nas Escolas, não trazem esses conceitos para que o professor possa trabalhar com uma certa interdisciplinaridade, dificultando assim o trabalho para o mesmo.

Outro detalhe é que muitos professores não possuem a formação necessária para esse fim, o que acaba também dificultando ainda mais, o repasse de tais conceitos.

Dessa forma o material foi elaborado para que professores e alunos possam compreender alguns fenômenos e idéias da MQ, por meio de uma abordagem conceitual e histórica.

E por ser um material digital, o mesmo teve como proposta trazer simulações e recursos audiovisuais, para que assim possam ajudar melhor na explicação e compreensão. Pois de acordo com os dados levantados, mediante questionário, analisou-se a facilidade que os alunos, e até mesmo os professores, tem em trabalhar com as mídias informática e internet, que vem hoje, a ser parte da vida de todos (alunos, professores, pais e sociedade em geral). Dessa forma o material

também tem como objetivo a motivação para com os alunos e professores.

Vale ressaltar, que o professor e o aluno poderão levar o material em seu computador, celular ou tablet, facilitando assim a divulgação e o aprendizado sem o acúmulo de mais papel em suas mochilas e/ou prateleiras.

Referencias Bibliográficas

- ATKINS, Peter; PAULA, Julio de, **Físico-Química**; volume 1 e 2; tradução e revisão técnica: Edilson Clemente da Silva. Rio de Janeiro, Editora: LTC, 2012.
- BAKER, Joanne, **50 Quantum Physics Ideas You Really Need to Know**; *ebook*: Amazon Digital Services LLC. 2013
- DAHMEN, Silvio Renator; **Ludwig Boltzmann: Vida e Obra**; Gazeta de Física. Instituto de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- FEYNMANN, Richard P.; LEIGHTON, Robert B.; SANDS, Mathew; **Lições de Física de Feynmann**; Volumes 1, 2 e 3; Tradução Adriana Válio Roque da Silva. Porto Alegre, Editora: Bookmann, 2008.
- GRIFFITHS, David J.; **Mecânica Quântica**; 2ª edição - São Paulo. Editora Pearson Prentice Hall, 2011.
- HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl; **Fundamentos da Física - Óptica e Física Moderna**; volume 4; Tradução e revisão técnica Ronaldo Sergio de Biasi. Rio de Janeiro - Editora: LTC, 2012.
- HAWKING, Stephen; **O universo numa casca de noz**; tradução Monica Gagliotti Fortunato Friaça; Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 2009.
- HORVATH, J.E.; **ABC da Astronomia e Astrofísica**; São Paulo: Editora Livraria da Física, 2008.
- LANDAU, L.D.; KITAIGORODSKI, A.I.; **Física para todos Libro 2 - Moléculas**; Traducido del ruso para al español por Emiliano Aparicio Bernardo. Editorial Mir Moscú. Impreso em la URSS. 1983.
- LONGAIR, Malcolm; **Theoretical Concepts in Physics**; 2ª edição. United Kingdom - Cambridge University Press, 2003.

MARKARIAN R.; **Bilhares. Hipótese Ergódica de Boltzmann**; Matemática Universitária, nº 29, pg 45-74. Instituto de Matemática y Estadística, Facultad de Ingeniería, Universidad de la Republica, Montevideo - Uruguay, 2000.

MODERNA Ed.; **Fundamentos de Física - Temais Especiais: Corpo Negro**; Editora Moderna

PHET, Interactive Simulations, University of Colorado Boulder. Disponível: <https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/category/new>.

PIRES, Antonio S. T.; **Evolução das Idéias da Física**; 2ª edição - São Paulo: Editora Livraria da Física, 2011.

SILVA, Cibelle C.; **A Teoria das Cores de Newton: Um exemplo do uso da História da Ciência em sala de aula**; Ciência & Educação, v. 9, n. 1, p. 53-65, 2003.

SCHENBERG, Mario; **Pensando a Física**; 3ª Edição - São Paulo. Editora: Nova Stella.

TOMA, Henrique E.; **Ligação Química: Abordagem Clássica ou Quântica?**; Química Nova na Escola, nº 6, Novembro 1997.

TREFIL, James S.; HAZEN, Robert, M; **Física Viva: uma introdução a Física conceitual**; V.3; Tradução Ronaldo Sérgio de Biasi. Rio de Janeiro: Editora LTC, 2006.