



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CAMPUS I – CAMPINA GRANDE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL DE ENSINO DE FÍSICA - MNPEF**

JOÃO LUÍS SAMPAIO

**ELETRÓSTÁTICA E FÍSICA DE PARTÍCULAS SOB O OLHAR DA
HISTÓRIA DA CIÊNCIA: UMA PROPOSTA PARA A CONSTRUÇÃO
DE ANIMAÇÕES E VÍDEOS NO ENSINO MÉDIO**

**CAMPINA GRANDE
2017**

JOÃO LUÍS SAMPAIO

**ELETRÓSTÁTICA E FÍSICA DE PARTÍCULAS SOB O OLHAR DA
HISTÓRIA DA CIÊNCIA: UMA PROPOSTA PARA A CONSTRUÇÃO
DE ANIMAÇÕES E VÍDEOS NO ENSINO MÉDIO**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação da Universidade Estadual da Paraíba 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.

Área de concentração: Física na Educação Básica – Física e Sociedade.

Orientador: Prof^ª. Dr^ª. Ana Paula Bispo da Silva.

**CAMPINA GRANDE
2017**

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

S192e Sampaio, João Luís.

Eletrostática e Física de partículas sob o olhar da história da ciência [manuscrito] : uma proposta para a construção de animações e vídeos no ensino médio / João Luis Sampaio. - 2017.

180 p. : il. colorido.

Digitado.

Dissertação (Mestrado em Profissional em Ensino de Física) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 2018.

"Orientação : Profa. Dra. Ana Paula Bispo da Silva, Departamento de Física - CCT."

1. História da Ciência. 2. Ensino de Física. 3. Recursos didáticos. 4. Eletrostática.

21. ed. CDD 530.7

JOÃO LUIS SAMPAIO


**ELETRÓSTÁTICA E FÍSICA DE PARTÍCULAS SOB O OLHAR DA
HISTÓRIA DA CIÊNCIA: UMA PROPOSTA PARA A CONSTRUÇÃO
DE ANIMAÇÕES E VÍDEOS NO ENSINO MÉDIO**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação da Universidade Estadual da Paraíba 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.

Área de concentração: Física na Educação Básica – Física e Sociedade.

Aprovada em: 15/12/2017.

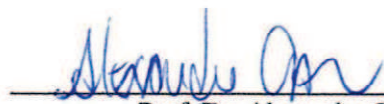
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dra. ANA PAULA BISPO DA SILVA. (Orientadora)
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Prof. Dr. José Jamilton Rodrigues dos Santos
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Prof. Dr. Alexandre Campos
Universidade Federal de Campina Grande (UFCG)

À minha avó, Maria Sampaio (in memoriam), que desde
menino me estimulava nos estudos, DEDICO.

AGRADECIMENTOS

À minha mãe, Rita Sampaio Neta, que também sempre confiou em mim e me estimulou o quanto pôde, fazendo, incontáveis vezes, o impossível para que eu atingisse meus objetivos.

Aos meus irmãos, tios, filhos, enfim a toda a minha família.

Em especial, à minha esposa, Evelin, que esteve sempre comigo nessa jornada, entendendo o pouco tempo disponível.

À minha orientadora, Ana Paula Bispo da Silva, peça fundamental à elaboração deste trabalho, colaborando e auxiliando todas as vezes que precisei.

Aos professores do Programa, Alessandro Frederico, Ana Raquel, Ivonete Batista, Edvaldo (Mará), José Jamilton, Marcelo Germano, Morgana, Pedro Carlos, Marcelo Vieira e Everton Cavalcante, que disponibilizaram seu conhecimento e incentivo na realização deste sonho.

Ao IFPB e aos colegas de trabalho, pela compreensão do pouco tempo que tive para dedicação integral ao instituto.

Aos colegas de mestrado, pelo dia a dia de trabalho e estudo; em especial, a Rose, Albenes e Ecílio, pelas viagens produtivas, pelas longas conversas e pela diversão em cada ida e vinda.

À CAPES, pelo apoio financeiro por meio da bolsa concedida.

“A menos que modifiquemos a nossa maneira de pensar, não seremos capazes de resolver os problemas causados pela forma como nos acostumamos a ver o mundo.”

(Albert Einstein)

RESUMO

O presente trabalho versa sobre a utilização da História da Ciência (HC), enquanto método motivador, nas disciplinas escolares, sobretudo no ensino de Física. Constatou-se que novas abordagens, distanciadas do formato tradicional, giz e lousa, não são facilmente implementadas em sala de aula. Dentre esses formatos menos contemplados está a utilização da HC. As discussões sobre a utilização desse tipo de abordagem no ensino de Física se iniciaram na década de 1950, mas somente na década de 1990 é que se verificou a sua presença como indicação dos novos parâmetros dentro do currículo, junto à Lei de Diretrizes e Bases de 1996. Mesmo com tantos trabalhos desenvolvidos dentro da perspectiva de uso da HC, o panorama não é tão satisfatório, uma vez que apenas alguns poucos trabalhos chegam até os alunos do Ensino Médio trazendo aplicações e resultados. A proposta apresentada nesta pesquisa defende a aplicação de um projeto em sala de aula, envolvendo a HC nas aulas de Física. Nessa perspectiva, o aluno deve atuar como protagonista de seu próprio aprendizado. A utilização da HC, em meio à construção de animações e vídeos, possibilita ao aluno tomar consciência da sua criatividade, criticidade e argumentação durante os estudos de episódios históricos e HC. O conteúdo de Física abordado neste trabalho será a Eletrostática juntamente com a Física de Partículas, um tema de Física Moderna, que pouco é abordado no Ensino Médio. Os alunos tomaram contato com o tema e produziram uma animação/vídeo a partir de suas pesquisas e conteúdo estudado.

Palavras-Chave: História da Ciência. Animações. Vídeos. Física. Física de Partículas. Eletrostática.

ABSTRACT

The present work on the use of the History of Science (HS), methodological method, in the school disciplines, mainly in the teaching of Physics. It is noticed that new approaches, distanced from the traditional format, chalk and blackboard, are not easily implemented in the classroom. Among these less contemplated formats are in use of HS. As discussions about the use of the type of approach without teaching of Physics began in the 1950s, but everything in the 1990s was that its presence was verified as an indication of the new parameters within the curriculum, together with the *Lei de Diretrizes e Bases de 1996 (Educations Bases and Aims act of 1996)*. Even with so many works developed within the perspective of the use of HS, the picture is not so satisfactory, since it is a bit for the jobs in question for the students of the High School bringing applications and results. A proposal in our research advocates an application of a project in the classroom, involving a HS in Physics classes. In this perspective, the student must act as protagonist of his own learning. The use of HS, in the midst of the construction of animations and videos, enables the student to become aware of their creativity, criticality and argumentation during the studies of historical episodes and HS. The content of Physics covered in this work is an Electronic with a Physics of Particles, a theme of Modern Physics, which is not addressed in High School. The students got in touch with the subject and produced an animation / video from their research and content studied.

Keywords: History of Science. Animations. Videos. Physical. Physics of Particles. Electrostatic.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Tubo de raios catódicos	31
Figura 2 – Experimento da gota de óleo	35
Figura 3 – O aparecimento do próton	37
Figura 4 – A partícula Neutra	38
Figura 5 – Processo de eletrização por indução	41
Figura 6 – Balança de torção	42
Figura 7 – Forças Coulombianas para um par de cargas	42
Figura 8 – Campo Elétrico entre cargas de sinais diferentes	44
Figura 9 – Campo Elétrico entre cargas de sinais iguais	44
Figura 10 – Campo Magnético em ímãs de barra	45
Figura 11 – Efeito Compton	47
Figura 12 – Versão simplificada do tipo de experimento realizada por HBT	48
Figura 13- O Modelo Padrão	60
Figura 14 – LHC	64
Figura 15 - Colisão próton-próton na experiência CMS	65
Figura 16 – Experimentos potencial elétrico	76
Figura 17 – Representação comum de átomo	82
Figura 18 – Equipamento experimental sobre campo magnético	89
Figura 19 – Desenhos feitos pelos alunos na lousa	90
Figura 20 – Desenhos baseados no vídeo apresentado	91
Figura 21 – Alunos trabalhando nos mapas e textos	100
Figura 22 – Exemplos de mapas feitos pelos alunos	101
Figura 23 – Desenhos produzidos pelos alunos para o vídeo	105
Figura 24 – Programa de edição de áudio Audacity	106
Figura 25 – Formato da gravação do vídeo explicativo	106

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BSCS	Biological Science Curriculum Study
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CBA	Chemical Bond Approach
CECIBA	Centro de Ciências da Bahia
CECIGUA	Centro de Ciências do Rio de Janeiro
CECIMIG	Centro de Ciências de Minas Gerais
CECINE	Centro de Ciências do Nordeste
CECIRS	Centro de Ciências do Rio Grande do Sul
CERN	Organização Europeia para a Pesquisa Nuclear
CECISP	Centro de Ciências de São Paulo
CHEMS	Chemical Education Material Study
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
ENEM	Exame Nacional do Ensino Médio
EPEF	Encontro de Pesquisa em Ensino de Física
EUA	Estados Unidos da América
FM	Física Moderna
FUNBEC	Fundação Brasileira para o Desenvolvimento do Ensino de Ciências
HBT	Hanbury Brown e Twiss
HC	História da Ciência
IFPB	Instituto Federal da Paraíba
LDB	Lei de Diretrizes e Bases
LEP	Large Electron Positron
LHC	Large Hadron Collider
MEC	Ministério da Educação e Cultura
MP	Modelo Padrão
PLON	Physics Curriculum Development Project
PSSC	Physical Science Study Committee
PUC-SP	Pontifícia Universidade Católica de São Paulo
QCD	Cromo Dinâmica Quântica
SBF	Sociedade Brasileira de Física
SBHC	Sociedade Brasileira de História da Ciência
SISCON	Science in a Social Context
SLHCT	Sociedade Latino Americana de História das Ciências e da Tecnologia
SMSG	School Mathematics Study Group
SNEF	Simpósio Nacional de Ensino de Física
UFBA	Universidade Federal da Bahia
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro
USP	Universidade de São Paulo

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	RELATO DE MOTIVAÇÃO	13
1.2	AS CIÊNCIAS E A HISTÓRIA	14
2	2 HISTÓRIA DA CIÊNCIA E ENSINO DE FÍSICA	19
2.1	HISTÓRICO DA HC NO ENSINO DE FÍSICA	19
2.1.1	A Institucionalização da HC no Brasil	19
2.1.2	O Ensino de Ciências no Brasil	20
2.1.3	A História da Ciência e o Ensino de Física	21
2.1.4	A Importância da HC na Sala de Aula e Dentro dos Documentos Oficiais	22
2.2	POSSIBILIDADE PARA A HC NO ENSINO	25
2.2.1	Pesquisas Sobre as Aplicações da HC em Sala de Aula	25
2.2.2	A Utilização de HC em Sala de Aula – “Como fazer?”	26
2.3	HC E PROTAGONISMO JUVENIL	28
3	ELETROSTÁTICA e FÍSICA DE PARTÍCULAS	30
3.1	DO QUE SÃO FEITAS AS COISAS?	30
3.1.1	A primeira partícula – O elétron	31
3.1.1.1	O modelo de Nagaoka	34
3.1.1.2	Millikan x Fletcher	35
3.1.2	O próton	36
3.1.3	O Nêutron	38
3.2	A FORÇA COULOMBIANA – A LEI DE COULOMB	39
3.2.1	As cargas elétricas	39
3.2.1.1	Processos de eletrização	40
3.2.2	A lei de Coulomb	41
3.3	O CAMPO ELÉTRICO	43
3.3.1	O fóton	45
3.4	O POTENCIAL COULOMBIANO	49
3.4.1	O Potencial de Yukawa	50
3.4.2	E quem são esses Neutrinos?	51
3.4.2.1	O neutrino – a partícula fantasma	52
3.5	UMA BREVE PAUSA – A SEGUNDA GUERRA MUNDIAL	54

3.5.1	O Mundo das Partículas	55
3.5.2	Os Quarks	55
3.5.3	Uma Questão de Simetria	57
3.5.4	Antipartículas	58
3.5.5	Partículas Virtuais – Os Bósons Mediadores	59
3.5.5.1	O Bóson de Higgs	60
3.6	O MODELO PADRÃO	60
3.6.1	Propriedades	61
3.6.2	As Interações	62
3.7	AS GRANDES MÁQUINAS DA FÍSICA	62
3.7.1	Um Breve Histórico	63
3.7.2	Os Aceleradores	63
3.7.2.1	– Funcionamento do LHC	64
3.8	CONSIDERAÇÕES SOBRE O CONTEÚDO	65
4	PROPOSTA DE TRABALHO	67
4.1	O PROJETO PILOTO	67
4.1.1	Etapa 1 – Produção do Texto Para a Animação - Episódio Histórico	68
4.1.2	Etapa 2 - A Divisão de Cenas	68
4.1.3	Etapa 3 - O Desenho das Cenas	68
4.1.4	Etapa 4 - Vetorização dos Desenhos	69
4.2	O NOVO PROJETO	69
4.2.1	Proposta de sequência de aulas	70
4.2.2	O vídeo	79
5	RELATO DE APLICAÇÃO	81
5.1	PRIMEIRO ENCONTRO: DO QUE SÃO FEITAS AS COISAS?	81
5.2	SEGUNDO ENCONTRO: ATRAÇÃO OU REPULSÃO?	86
5.3	TERCEIRO ENCONTRO: CAMPOS INVISÍVEIS	89
5.4	QUARTO ENCONTRO: ENERGIA	93
5.5	QUINTO ENCONTRO: O MUNDO DAS PARTÍCULAS	96
5.6	SEXTO ENCONTRO: O MUNDO DAS PARTÍCULAS – CONTINUAÇÃO	99
5.7	ANÁLISE DOS ENCONTROS	101
5.8	CONSTRUÇÃO DO VÍDEO	104
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	108

REFERÊNCIAS	111
APÊNDICE A	116
APÊNDICE B	176

1 INTRODUÇÃO

1.1 RELATO DE MOTIVAÇÃO

Durante o decorrer da graduação já ministrava aulas de Física em cursinhos pré-vestibulares. De um modo geral, essas aulas tinham mais sentido para o professor do que para o aluno. A preocupação com a preparação e apresentação da aula tinha como meta a elaboração de uma “aula-show”. Sendo assim, a compreensão real do aluno, muitas vezes, não era contemplada no planejamento. Uma concepção mais amadurecida acerca do aprendizado significativo só veio com o tempo, já que com o passar dos anos, e com as novas atribuições das aulas, agora em colégios particulares, a preparação de uma aula voltada principalmente à performance do professor parecia não mais fazer sentido.

No início da minha docência, questionava por que alguns professores necessitavam de um grande número de aulas para ensinar um determinado assunto. Para mim, aquilo era inconcebível, uma vez que eu levava, tão somente, uma ou duas aulas para ministrar o mesmo conteúdo em um cursinho.

Com o passar do tempo, essa percepção foi se ampliando, e eu pude perceber que ministrar aulas era muito mais que apresentar o conteúdo. Na licenciatura, especificamente nas disciplinas ligadas ao ensino, apareciam inúmeros problemas relatados por colegas e por mim mesmo. Constatei que, além de saber o conteúdo, era necessário me colocar no lugar do aluno, e tentar entender como um determinado assunto era compreendido por ele. Minhas aulas, então, passaram por uma reformulação; passei a considerar a importância de despende mais tempo para desenvolver determinado conteúdo.

A partir dessa mudança de postura, pude compreender a reclamação dos colegas a respeito do número cada vez menor de aulas dedicadas à nossa disciplina, uma vez que fatalmente o aluno disporia de menos tempo para assimilar o conteúdo. Isso afetaria seu aprendizado em Física. A diminuição dessas aulas foi verificada inclusive na rede particular de ensino.

Motivado por essa nova perspectiva, passei a me preocupar em como apresentar os conteúdos de forma diferenciada, abordando os diversos assuntos de forma mais compreensível possível. Dentre as diversas possibilidades de se atuar no ensino, a História da Ciência me tomou o interesse. Inicialmente, pelo fato de eu desconhecer a história dos cientistas e do momento de concepção das teorias. À medida que me dedicava à procura de

tais eventos em livros didáticos, percebi que, em geral, a história se limitava à questão biográfica dos estudiosos.

Pequenos casos eram trazidos à sala de aula e despejados sobre os alunos, o que fazia com que eles acreditassem naquilo simplesmente porque era o professor que estava dizendo. A imagem dos cientistas era a de pessoas diferenciadas, gênios que estavam na terra e desenvolviam a ciência de uma forma tão incompreensível, que o aluno de uma escola pública, por exemplo, jamais se julgaria apto a desenvolver.

Ao me formar, e agora entrando em outra esfera, o ensino público, constatei como estava complicada a situação de ministrar nossa disciplina; essa dificuldade provocou em mim a necessidade de aprender mais para poder ser um melhor professor. Neste sentido, a procura pela pós-graduação foi praticamente obrigatória para que esse desenvolvimento pudesse continuar. Nesse caminho, enfrentei vários problemas, que eram comuns a outros colegas, como, por exemplo, elevada carga horária, salário baixo etc. Esses motivos fizeram com que a possibilidade de seguir na pós-graduação fosse diminuindo.

Tudo mudou quando fui aprovado em um concurso público federal. Agora, com uma carga horária menor, dispondo de mais tempo para preparar as aulas e usufruindo um maior acesso às tecnologias, pude investir para que o sonho se tornasse realidade. Finalmente, estou desenvolvendo pesquisas com foco na melhoria do ensino da Física, sob a perspectiva da História da Ciência (a partir daqui HC).

1.2 AS CIÊNCIAS E A HISTÓRIA

No decorrer do século XX, diversos fatores, como, por exemplo, a guerra fria, influenciaram diretamente a área de ensino de ciências. Krasilchik (2000) traz, em seu texto, “REFORMAS E REALIDADE - o caso do ensino das ciências”, a apresentação do modelo que perdurou nos EUA durante o pós-guerra de 1945, dividindo os períodos entre guerra fria, guerra tecnológica e globalização. No período da guerra fria, o objetivo dos programas de ensino de ciências era formar a elite dentro de programas rígidos de ensino, tendo a concepção de ciência como neutra num primeiro momento. A guerra tecnológica (a partir de 1970) muda seu objetivo, querendo, agora, formar um cidadão trabalhador técnico. É durante este período que a evolução histórica e o pensamento lógico-crítico começam a ganhar importância. É, igualmente, nessa época que tivemos uma expansão da HC como possível abordagem em sala de aula no Brasil (MARTINS; SILVA; PRESTES, 2014, p 2271-2299).

Após 1990 (com a expansão da globalização), o objetivo passou a ser o de formar um cidadão-trabalhador-estudante que trouxesse consigo a preocupação com atividades de implicações sociais. Como exemplo, podemos citar o problema da redução da camada de ozônio na atmosfera, a energia nuclear, entre outros. Dentro dessa divisão apresentada, no Brasil, especificamente, tivemos, no pós-guerra, alguns problemas, ao ponto de faltar produtos manufaturados, este problema, em específico, foi tratado pelo governo na seguinte lógica: o aumento no número de cientistas faria com que se criasse tecnologia nacional e isso seria a solução, fazendo com que as ciências fossem vistas de forma diferente.

O governo, então, colocou em prática os modelos estrangeiros, principalmente o dos EUA, que tinha como objetivo melhorar a ciência interna como forma de ser autossuficiente (KRASILCHIK, 2000). Especificamente, a lei que regia a educação no país, e, por consequência, o ensino de ciências, promoveu alterações com destaque para o aumento do número de aulas das disciplinas de Física, Química e Biologia.

No Brasil do pós-guerra, ainda tivemos a educação restrita a uma pequena parte da população, em especial àquela mais rica. Após 1970, tivemos (agora dentro de uma ditadura militar) o interesse na parte técnica. Pressupunha-se que ao se formarem técnicos, iríamos, mais uma vez, melhorar a ciência no país (KRASILCHIK, 2000). Isso perdurou até os anos 1990, entrando num novo tempo para a educação. Durante o período da globalização, com a nova constituição de 1988, a educação passou, e vem passando por mudanças que poderiam ser mais significativas.

Em 1996, elaborou-se a nova LDB que trazia, agora, um ensino mais voltado para a formação geral, e não mais valorizando especificamente a ciência como nos outros períodos. No que se refere às disciplinas de ciências não tivemos muito a comemorar. Houve reduções na quantidade de aulas, forçando os professores a se adaptar a tais mudanças e aos mais variados problemas, como, por exemplo, falta de materiais, falta de um espaço adequado, baixos salários etc.

Quanto à HC, há que ressaltarmos alguns pontos dentro desse período histórico. Segundo Martins, Silva e Prestes (2014, p. 2271-2299), somente depois de 1970, começamos a verificar a existência da disciplina dentro de algumas universidades, fazendo com que a preocupação em relação aos conteúdos de HC aumentasse. É nesse período que as primeiras aplicações em sala de aula também apareceram.

Internacionalmente, vieram à tona as proposições de Matthews (1995). Em sua obra, discute-se que um distanciamento entre a história e a ciência é o motivo pelo qual o ensino de ciências tem passado por dificuldades. Entre 1990 e 1995 alguns países passaram a adotar a

HC como abordagem, a partir da quinta série até o equivalente ao nosso terceiro ano do Ensino Médio, o que implicou mudança na apresentação das ciências para o aluno, em especial a Física, não constituindo mais aquela aula tradicional. Para tanto, foram criados diversos projetos como é o caso dos projetos A2061, nos Estados Unidos, O Projeto PLON, na Holanda, o projeto SISCON, no Reino Unido. O que se pretende com tais projetos é retirar do aluno a visão de que a ciência é, tão somente, um amontoado de fórmulas sem muito sentido. Nessa perspectiva, temos a HC como aliada do ensino-aprendizagem.

A década de 80 foi um período de grandes avanços na referida área. Neste sentido, vale ressaltar as contribuições de uma série de conferências ocorrida na época, como Pávia (1983), Munique (1986), Paris (1988), e Cambridge (1990) e tantas outras que tinham a HC como foco principal. Nesses encontros defendeu-se que a HC deveria entrar em definitivo no processo de ensino de ciências, possibilitando todo um aporte significativo ao ensino do conteúdo (MATTHEWS, 1995).

Sob esse enfoque, os alunos passaram a perceber a contribuição científica de uma forma crítica e não mais unicamente por meio de fórmulas e nomes estranhos, passando a discutir os motivos dos avanços científicos. Isto é, com certeza, motivador para este trabalho que busca abordar o ensino da Física, tendo como elemento balizador a HC.

Ainda com foco no ensino da Física, não devemos esquecer que estamos ensinando um aluno que necessita de uma formação geral e não um físico. Portanto, o aluno necessita conhecer a Física como elemento presente no seu cotidiano, sabendo como pode se utilizar dela, bem como tendo conhecimento sobre sua origem. Neste sentido, deve-se investir na discussão sobre os avanços científicos e não no aprofundamento do aprendizado de fórmulas e esquemas.

Matthews (1995), sob o ponto de vista de Mach (1943), propõe que a qualidade deve se sobrepôr à quantidade. Esse pensamento não é novidade; no entanto, não se observam muitas mudanças a esse respeito. Tanto é que quando comparamos o que se quer, de fato, ensinar da Física aos alunos pensando na qualidade, o que observamos nos livros didáticos é justamente a preocupação com a quantidade, e, ainda assim, sem muito contexto ligado à HC. Neste aspecto, o que se constata nos livros e textos é, em sua maioria, um breve resumo a respeito de cientistas.

O presente trabalho tenta investigar os meios que podem preencher tal lacuna, de modo que o trabalho com a HC em sala de aula não se limite a breves textos em livros didáticos, mas oportunizando aos alunos outro enfoque da ciência a partir de discussões em sala e criando materiais que possam vir a cumprir esse objetivo.

Devemos nos esforçar para mudar essa ideia de que apenas uma pequena biografia já contempla a HC dentro de um livro didático. Algumas dificuldades apontam no sentido do professor quando nos referimos à utilização da HC em sala de aula. Motivos como falta de disciplinas relativas ao tema, ou que não eram obrigatórias dentro do currículo e o simples desconhecimento do assunto fazem com que a possibilidade de trabalho na referida área diminua ainda mais.

Devemos levar em consideração que a simples colocação de uma disciplina de HC como obrigatória poderia gerar problemas. Encontrar professores aptos a ministrá-la pode não ser uma tarefa simples, mas isto é uma discussão para outro momento. Abordagens com foco na HC, no Brasil, são recentes; por esta razão, os trabalhos nesta área ainda são escassos; igualmente, há um pequeno quantitativo de professores com formação adequada na área, quando comparada às outras áreas de ensino.

Por não ser uma área ligada às disciplinas básicas, só temos acesso a ela na pós-graduação; e mesmo neste nível, dispomos de poucas universidades no Brasil que oferecem tal formação. Para se entender quão demorado foi a criação de cursos com a base de HC, o primeiro foi criado apenas em 1997, na Pontifícia Universidade Católica de São Paulo (PUC-SP); o segundo, na Universidade Federal da Bahia (UFBA), em 2000 (com forte ênfase no ensino de ciências), e um terceiro, na Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), em 2002; constatamos, a partir das informações, como é recente o tema dentro de nossas universidades (MARTINS; SILVA; PRESTES, 2014). Ainda assim, devemos levar em consideração que temos que nos preocupar com o ensino de HC, e fazer com que ela ganhe corpo dentro da educação básica e da academia.

Dentro do trabalho da HC aplicado ao ensino médio, devemos considerar que os alunos têm contato com Física dentro das escolas por meio de nós, professores, por quem os conceitos são apresentados; do mesmo modo, há que considerarmos que, comumente, só importa o conhecimento para passar na prova, e este conhecimento pode vir a ser esquecido na sequência. Para evitar tal situação, devemos ser criteriosos quanto à forma utilizada para apresentar a ciência para os alunos.

Constatamos que os livros e textos trazem, em sua maioria, um esquema pronto de resumos a respeito do conteúdo a ser ensinado, alguns trechos diferenciados (que são trabalhados por poucos), e na sequência uma série de exercícios, que são, muitas vezes, a parte principal visada pelo professor e pelo aluno. A capacidade crítica fica à margem nesses

casos, resultando apenas em um ensino mecânico do conteúdo e resolução de exercícios¹. De acordo com Robilotta (1988), é possível considerar que isso não é algo novo, e percebe-se que a discussão se mantém. O que fazer para que aluno queira aprender Física? Como tornar os assuntos mais atrativos aos alunos? Estes questionamentos impulsionam este trabalho. Igualmente, interessa-nos demonstrar que a HC pode atuar como motivadora no ensino de Física.

Considerando a discussão anterior, questiona-se que elementos devem ser considerados para que a HC atue como motivadora no ensino de Física? Como e quais episódios históricos podem ser utilizados com este fim? O objetivo principal é fazer com que o aluno possa ser participativo nas aulas e não mais um ser passivo que somente copia informações do quadro e resolve exercícios incansavelmente, sem ao menos entender os conceitos. A HC apresenta uma gama de possibilidades de se montarem projetos que venham a atender o nosso objetivo.

A hipótese que se apresenta é que a HC, levada à sala de aula por meio de discussões, possa contribuir com o ensino da Física. Para tanto, espera-se que o aluno demonstre capacidade para construir uma animação/vídeo que trate de um ponto específico da Física. Dentre tantos temas, foi escolhido “Física de Partículas” e “Eletrostática”, com foco na sua trajetória histórica e nas discussões como motivadoras para a melhoria do ensino de Física para nossos alunos.

¹ Essa descrição vem da experiência do autor, que atua na rede pública e privada há mais de 20 anos.

2 HISTÓRIA DA CIÊNCIA E ENSINO DE FÍSICA

Neste capítulo, tratamos da revisão bibliográfica que foi utilizada para o nosso trabalho. Discutimos o ensino de Física em sua perspectiva histórica juntamente com a História da Ciência, desde a época em que surgiram as primeiras considerações sobre a utilização da mesma como método de abordagem para o ensino da referida disciplina, até sua inserção nos documentos oficiais. Fizemos também uma reflexão acerca da importância de se utilizar a HC nas aulas de Física como forma de apresentar ao aluno uma nova perspectiva sobre a ciência, desmistificando a ideia de que aprender e fazer ciência é algo inatingível para os alunos, já que é atributo dos gênios.

2.1 HISTÓRICO DA HC NO ENSINO DE FÍSICA

2.1.1 A Institucionalização da HC no Brasil

A literatura traz uma série de informações a respeito da inclusão da HC na educação. No Brasil, Martins, Silva e Prestes (2014) argumentam que as primeiras experiências com a oferta de disciplinas relacionadas à HC e suas possibilidades de aplicação na educação básica são da década de 1970, e mesmo assim com poucas universidades a oferecer um curso regular de HC ou disciplinas afins. Mesmo aqueles que ensinavam alguma disciplina das ciências (Física, Matemática, Química, Biologia) não tinham uma formação específica, e sim uma formação geral e ampla, a exemplo de Mário Schemberg e Francisco Magalhães Gomes (Física), Antônio Brito da Cunha (Biologia), Leopoldo Nachbin (Matemática), e Simão Matias (Química).

Nessa década, os trabalhos escritos nas universidades brasileiras eram apenas descritivos e sobre cientistas e instituições brasileiras. Em 1971, foi criado, na Universidade de São Paulo (USP), o primeiro grupo de pesquisa sobre História da Ciência, o que levou a uma melhora gradual nos próximos trabalhos que foram escritos dentro da universidade na forma de pesquisas, dissertações e teses. O foco principal desses novos trabalhos era a ciência brasileira; no entanto, apareciam, também, trabalhos a respeito da ciência internacional.

O sociólogo Simon Schwartzman, depois de obter seu doutorado na Universidade da Califórnia, veio ao Brasil e desenvolveu um projeto para estudar a comunidade científica brasileira, realizando uma série de entrevistas e publicando um importante livro: Formação da Comunidade Científica no Brasil com sua primeira edição em 1979 (MARTINS; SILVA;

PRESTES, 2014). Trabalhos desse tipo vieram a ajudar na construção das pesquisas sobre a HC no Brasil. Em 1982, fundou-se a Sociedade Latino Americana de História das Ciências e da Tecnologia (SLHCT) com a participação de historiadores brasileiros da ciência.

No ano seguinte, foi criada a Sociedade Brasileira de História da Ciência (SBHC) pela USP. Estas instituições se dedicaram, inicialmente, ao estudo da história dentro da medicina e temas correlatos. Especificamente dentro do ensino de Física não encontramos trabalhos, nesse sentido, pois a legislação não abordava tal questão, uma vez que o currículo não exigia a presença da HC no ensino (MARTINS; SILVA; PRESTES, 2014).

2.1.2 O Ensino de Ciências no Brasil

Martins, Silva e Prestes (2014) nos trazem algumas informações a respeito do ensino de ciências no Brasil, as quais nos ajudam a pensar sobre como se deu a construção do ensino ao longo do tempo até os dias de hoje. Antes da Segunda Guerra Mundial, o ensino de ciências, no Brasil, era baseado no modelo francês, importando livros, materiais didáticos, métodos, materiais de laboratório etc. Neste período, o Ensino Médio não era obrigatório e só o faziam aqueles que queriam continuar seus estudos até o nível superior.

No período pós-guerra, com uma influência ainda mais contundente dos Estados Unidos, houve um aumento significativo das discussões educacionais brasileiras em torno da questão do desenvolvimento da ciência no Brasil. A partir daí, começaram a surgir as primeiras tentativas de implantar, no país, projetos internacionais de ensino de ciências.

No final dos anos 1950, devido à guerra fria, os Estados Unidos criaram vários modelos educacionais para a melhora no ensino das ciências e matemática, dentre eles: Physical Science Study Committee (PSSC), Biological Science Curriculum Study (BSCS), Chemical Bond Approach (CBA), Chemical Education Material Study (CHEMS), e School Mathematics Study Group (SMSG) (MARTINS; SILVA; PRESTES, 2014). A visão predominante dessas iniciativas era o desenvolvimento tecnológico, industrial e econômico.

Esses projetos foram introduzidos também no Brasil sob a forma de kits experimentais que foram reproduzidos. Em 1970, a Sociedade Brasileira de Física (SBF) organizou o primeiro Simpósio Nacional de Ensino de Física (SNEF), evento no qual o PSSC foi bastante criticado. Com base nessas críticas, verificou-se a necessidade de se desenvolverem projetos nacionais. As primeiras iniciativas já estavam em andamento na USP, lideradas por Ernest Hamburger, e na Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), lideradas por Marco Antônio Moreira (MARTINS *et al*, 2014).

Em 1951, foram criados o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) para estimular e apoiar pesquisas científicas, e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pertencente ao Ministério da Educação e Cultura (MEC), com o objetivo de melhorar o nível dos professores universitários e pesquisadores brasileiros. Em 1950, foram produzidos os primeiros kits de laboratório desenvolvidos no país: equipamentos de baixo custo que poderiam ser utilizados pelos alunos. No final dos anos 1960, as dimensões industriais da produção de equipamentos de laboratório levaram à criação da Fundação Brasileira para o Desenvolvimento do Ensino de Ciências (FUNBEC) para lidar com a produção em larga escala.

Em 1965, seis centros de ensino de ciências e desenvolvimentos de materiais educacionais foram criados: em Pernambuco (CECINE), Rio Grande do Sul (CECIRS), Minas Gerais (CECIMIG), Rio de Janeiro (CECIGUA), São Paulo (CESISP) e Bahia (CECIBA). A maioria dessas iniciativas não foi mantida até os dias atuais. Dentro de toda essa construção, a utilização da HC no ensino de ciências, em especial na Física, teve seu processo de construção em paralelo a essas preocupações de reformulação do ensino de ciências como veremos no próximo tópico (MARTINS *et al*, 2014).

2.1.3 A História da Ciência e o Ensino de Física

Desde o início do curso de graduação em Física na USP, a história da Física foi ensinada pelo professor Mário Schemberg (1914-1990). Sua história de vida, dentro da política e do partido comunista, foi muito relevante, levando-o a apresentar a outros colegas a HC. Eram encenadas peças de teatro que envolviam HC juntamente com o contexto militar da época.

A ideia de estudar as relações entre ciência, história, política e sociedade era considerada um meio de denunciar a neutralidade da ciência e, também, criticar a situação política brasileira (MARTINS; SILVA; PRESTES, 2014). Utilizando-se da HC para discutir o quanto os meios sociais e políticos influenciam nas decisões relativas à produção de ciência no Brasil, era possível apresentar aos alunos várias motivações para investir mais em tal área da ciência e se investir pouco ou nada em outra área, mostrando assim que a ciência não é neutra, e sofre influências externas de acordo com os governos de cada época.

Em 1970, o projeto de Física de Harvard foi sendo introduzido no Brasil. Seu forte uso histórico apresentou uma crença de que a HC serviria como elemento motivacional para o aluno aprender sobre conceitos científicos. Somente no final dos anos de 1970, tivemos os

primeiros resultados visíveis: entre o início da década de 1980 e os anos 1990, foram surgindo vários trabalhos envolvendo a história, a filosofia da ciência e o ensino de ciências, como: análise de livros didáticos; estudo histórico de episódios da ciência internacional; análise de concepções espontâneas e seus paralelos na história da ciência etc. Com o grande esforço de tantos cientistas envolvidos, é importante lembrar o que estava ocorrendo nas escolas públicas nesse período. Até o ano de 1995, somente 50% dos alunos, em idade escolar, ingressavam no ensino médio. Este foi um dos fatores que levaram o governo a produzir reformas escolares para que atraíssem mais alunos para este nível de ensino (MARTINS; SILVA; PRESTES, 2014).

2.1.4 A Importância da HC na Sala de Aula e Dentro dos Documentos Oficiais

Até este ponto do trabalho, apresentamos um pouco da história sobre como e onde surgiram as primeiras preocupações e pesquisas a respeito da HC como aplicação no ensino de ciências, em especial da Física. A partir de agora, discutimos acerca das principais contribuições apontadas por educadores, historiadores e físicos para que a História da Física faça parte do ensino de Física.

Para Robilotta (1988), ensinar Física é uma arte difícil, uma vez que, nos livros, os conteúdos são apresentados em uma sequência de páginas, levando as aulas a serem também sequenciais. Desta forma, acabamos por apresentar um ensino essencialmente diacrônico, já que ignora a simultaneidade e prioriza um ensino totalmente linearizado, levando-nos a ignorar importantes contribuições para as ciências, como, por exemplo: as discussões, as disputas e as descontinuidades que ocorreram para o crescimento científico que temos hoje.

Portanto, para o referido autor, a inserção da História da Física na sala de aula serviria para apresentar aos alunos as visões alternativas, contrastando-as com as apresentadas usualmente. Espera-se que, desta forma, o aluno reconheça as opções alternativas, e dentro desses novos argumentos ele possa formar suas ideias com rigor e criticidade, posicionando-se com uma postura menos passiva frente ao conhecimento. Vemos, abaixo, um exemplo claro que difere completamente da compreensão atual. Segundo Robilotta (1988, p.18):

Para dar apenas um exemplo de como esse processo funciona, tomemos uma citação de Anaximandro: “a Terra não é apenas um organismo constituído de organismos, mas um organismo que procria os organismos que procriam nele”. Talvez os alunos aprendessem mais Física contrastando essa afirmação com o universo físico oficial, cartesiano e mecânico, do que em um mês de aulas formais.

Portanto, uma das contribuições da HC dentro das aulas de Física seria na problematização de conceitos científicos, apresentando as várias hipóteses existentes para a explicação de um fenômeno, de maneira que o aluno possa questionar e argumentar. A HC dentro da sala de aula tem o papel de demolir mitos, de construir o conhecimento, e o mais importante: trazer a ciência para a esfera das atividades humanas, evitando-se, assim, que seja considerada como um conhecimento para gênios, e faça com que os alunos se sintam inferiorizados (MATTHEWS, 1995).

Nessa perspectiva, acreditamos ser possível tornar a ciência mais humana e atingível para nossos alunos, bem como torná-la uma possibilidade para aqueles que por ventura se interessem mais profundamente, e queiram seguir no ramo das ciências como sua perspectiva de vida.

Toda essa discussão vem corroborar com a necessidade de se implantarem políticas públicas que apoiem a inserção da HC no ensino oficial, o que está claro no texto da LDB (BRASIL, 1999, p. 29):

Contextualização sociocultural: reconhecer a Física enquanto construção humana, aspectos de sua história e relações com o contexto cultural, social, político e econômico; reconhecer o papel da Física no sistema produtivo, compreendendo a evolução dos meios tecnológicos e sua relação dinâmica com a evolução do conhecimento científico.

Ainda que a HC esteja inserida oficialmente nos currículos, permanece o questionamento: como trabalhar a HC dentro da sala de aula? Junto a essa pergunta, vem o reconhecimento da necessidade de se formarem profissionais capacitados para que possam pensar em como fazer isso.

Vários trabalhos (MATTHEWS, 1995, ROBILOTTA, 1988; FORATO *et al.*, 2011; BALDINATO e PORTO, 2008) recomendam e discutem sobre a utilização da HC na sala de aula como estratégia pedagógica, a saber: motivação aos alunos, humanização da disciplina, melhor compreensão de conceitos e criticismo. No entanto, algumas dificuldades podem ser descritas em sua utilização, o que nos leva a perguntar: havendo tantos trabalhos que enfatizam as contribuições da HC na sala de aula, por que não a vemos ser praticada no cotidiano do ensino?

Esse tema é objeto de estudo de vários pesquisadores, e demonstra uma série de dificuldades apresentadas pelos próprios professores. Uma delas está relacionada à formação

dos professores: muitos não tiveram contato com disciplinas afins à HC, e não se sentem confiantes em abordá-la em suas aulas (MARTINS, 2007).

A dificuldade dos professores reflete, principalmente, na apresentação de materiais aos alunos, que precisa seguir algumas recomendações a respeito de pressupostos básicos da historiografia como auxiliares no uso da HC em sala de aula, como, por exemplo, conhecer as distorções mais comuns na ciência, bem como os cuidados com a análise de forma diacrônica estudando a ciência sob o olhar atual (whigguismo). Cuidados com questões sociais e políticas, vislumbrando um determinado personagem, levando a crer que só ele teve contribuição na construção de determinados fatos da ciência. Neste sentido, é recorrente a prática de “genializar” um determinado personagem, sem mencionar possíveis discussões anteriores nas quais o personagem se baseou e se familiarizou com os termos utilizados à época, como, por exemplo, a diferenciação entre cientista e filósofo natural (FORATO et al 2011; MARTINS 2005).

Ainda nesta perspectiva, alguns cuidados com o rigor historiográfico devem ser observados. Há discussões sobre como ele deve ser abordado e para qual público será apresentado (alunos de ensino médio, alunos de graduação, pós-graduação?). Isso pode se apresentar como dificuldade para os professores. Outra dificuldade é ter o currículo do Ensino Médio essencialmente voltado aos vestibulares e ao Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM), que apesar de já estar inserido nos novos parâmetros onde a HC se faz presente, ainda se restringe muito mais ao conteúdo do que a discussões conceituais.

A quantidade de tempo para as aulas de Física é outro entrave que leva os professores a selecionar e priorizar os conteúdos que devem ministrar; sendo assim, muitos têm receio de utilizar a HC, uma vez que alguns alunos podem considerar que o professor está “enrolando” a aula por não estar condizente com as aulas tradicionais. Entretanto, essa postura pode desembocar em outro problema que é a falta de interesse do aluno, e, nesse caso, esse interesse, se possível, deve ser conquistado.

Constata-se, a partir de todas essas dificuldades apresentadas que os desafios em se inserir a HC em sala de aula sempre existirão, e como professores devemos transpô-los com o objetivo de motivar e facilitar a compreensão da ciência para o aluno, tomando os documentos oficiais como norteadores para nossa ação.

2.2 POSSIBILIDADE PARA A HC NO ENSINO

A partir do que foi discutido no tópico anterior a respeito da HC, sobre seu crescimento dentro dos muros da universidade e sobre a necessidade de contato com os alunos do ensino médio, neste tópico tratamos das possibilidades de se trabalhar com a HC, tentando dar uma resposta ao “como fazer” dentro da sala de aula. Discutimos, também, sobre como se dão as aplicações da HC na sala de aula e o que tem sido feito conforme revisões de literatura já realizadas (OLIVEIRA e SILVA, 2012; TEIXEIRA *et al*, 2012).

2.2.1 Pesquisas Sobre as Aplicações da HC em Sala de Aula

Oliveira e Silva (2012) retratam uma pesquisa feita junto a todos os trabalhos do Simpósio Nacional de Ensino de Física (SNEF) e Encontro de Pesquisa em Ensino de Física (EPEF) nos anais de 2000 a 2009. Nessa pesquisa, as autoras adotaram alguns critérios para poderem separar os trabalhos que abordavam sobre a HC e sua aplicação em sala de aula. Nos critérios foram avaliados os títulos dos trabalhos, resumos e palavras-chave. Estes que deveriam conter elementos nos quais permitiam sua correlação com os trabalhos que era objeto da pesquisa. Feito todo esse trabalho, as pesquisadoras consideraram que dentre os 125 trabalhos, somente 26 estavam em acordo com o objeto da pesquisa, já que tinham, de forma clara, aplicações em sala de aula. Os demais trabalhos se apresentavam somente nas formas teóricas, não explicitando a aplicação dos mesmos. Para a elaboração desta dissertação, foram consideradas as informações a respeito do quantitativo de trabalhos sobre a HC relativos à aplicação em sala de aula. Outros aprofundamentos foram feitos no referido artigo, no entanto, para este momento, não fazem parte do nosso trabalho.

O trabalho de Teixeira *et al* (2012) vem na mesma linha de pesquisa, agora, com o foco nas revistas que tratam de ensino de Física, são elas: Ciência & Educação, Investigações em Ensino de Ciências, Caderno Brasileiro de Ensino de Física, Revista Brasileira de Ensino de Física, Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências e Enseñanza de las Ciencias. Em seu trabalho, adotou critérios parecidos com o anterior. A pesquisa foi minuciosa nas fontes, número a número, encontrando trabalhos desde a década de 1980 até o ano da publicação do trabalho (2012).

Dentre mais de 2500 trabalhos selecionados, reduziu-se a 160 e posteriormente a 14 seguindo os critérios adotados pelos autores. O primeiro dos critérios era a separação dos trabalhos relativos à Física, tendo em vista que as revistas abordam a ciência de um modo

geral, publicando trabalhos de outras áreas (química, biologia etc.). Em seguida, retirou-se artigos sem aplicação didática e, por fim, retirou-se aqueles que não apresentaram resultados da intervenção didática. Com esses critérios, a busca identificou apenas 14 artigos sendo que um deles estava na revista estrangeira.

Considerando que um dos critérios dos trabalhos mencionados era a aplicação da HC em sala de aula e que estes trouxessem resultados, podemos considerar que apenas uma pequena parcela de trabalhos relativos a HC chega até o aluno. Vale ressaltar que alguns dos trabalhos foram aplicados com turmas do ensino superior, ou seja, o ensino médio, que é foco desta dissertação, está em desvantagem clara quando nos referimos à aplicação da HC em sala de aula.

Em seu trabalho, Teixeira *et al* (2012) descrevem o crescimento em número de trabalhos dentro dos materiais que se apresentam a nós professores (revistas, anais de simpósios) relativos à HC. Aqueles que tratam de aplicações no ensino é significativamente pequeno em relação ao montante. Teixeira *et al*, (2012, p.33) trazem, também, algumas recomendações importantes:

(...), portanto a primeira e forte recomendação que se apresenta é que, a despeito das dificuldades de se implementar propostas didáticas orientadas por HFC, a comunidade de pesquisadores da área deve investir na realização de intervenções visando a implementar o uso de HFC no Ensino de Ciências (em particular de Física). (...) sejam ainda mais rigorosos quanto aos aspectos metodológicos das suas pesquisas e de seus orientandos, a fim de que as investigações suscitadas na primeira recomendação tragam resultados mais confiáveis.

Tais recomendações reforçam o que esta dissertação tem em seu objetivo. Trazer a HC para dentro da sala de aula não só como simples informações repassadas aos alunos, mas como forma de possibilitar ao aluno novos questionamentos e argumentações deixando para trás as aulas tradicionais nas quais só se viam fórmulas e exercícios. E também apresentando mais um trabalho que possa se multiplicar entre outros professores que venham a trabalhar com HC.

2.2.2 A Utilização de HC em Sala de Aula – “Como fazer?”

Seker (2012) discute a necessidade da incorporação da HC em sala de aula, apresentando motivos já discutidos aqui anteriormente, e com isso propõe um modelo

instrucional dividido em quatro níveis de abordagem, a saber: Conceitual, Epistemológico, Sociocultural e Motivacional.

No nosso trabalho, o aspecto principal a ser abordado será o nível motivacional; no entanto, não quer dizer que os demais níveis não possam estar presentes no decorrer do trabalho e em sua aplicação em sala. O nível conceitual deve aparecer nas discussões a serem trabalhadas para que se possa mostrar aos alunos de onde partiu, os entremeios e suas definições durante o processo histórico. Assim, o aluno toma conhecimento da ciência como uma construção que depende de vários outros fatores.

O nível epistemológico acaba por estar intrínseco às discussões, uma vez que a apresentação do conhecimento desde o início do processo histórico até o que temos hoje, amplamente apresentado nos livros didáticos, em sua maioria, em quadros nos finais dos capítulos ou então como atividades extras ao conteúdo que, por vezes, não são abordados devido ao tempo disposto na disciplina ou por falta de interesse do professor ou falta de capacitação do mesmo (MARTINS, 2007), seja possível apresentar ao aluno a possibilidade de se discutir e argumentar a respeito de como se produz a ciência em diferentes momentos, as linhas de pensamento (Empirismo, Indutivismo, Racionalismo, etc.) seguidas pelos filósofos/cientistas e o que implicava seguir tais linhas.

O nível sociocultural também acaba por aparecer, uma vez que passamos a apresentar todo um pano de fundo envolto numa teoria que está sendo discutida. Apresentar o contexto da época é extremamente importante para que os alunos percebam que em muitos momentos a ciência serviu aos interesses políticos e sociais.

O nível motivacional foi abordado neste trabalho com o objetivo de trazer a HC para “mais perto” do aluno. Sabemos que as ciências em geral sofrem esse tipo de preconceito (muita matemática, muitas fórmulas etc.) por parte dos alunos, e que somente o fato de saberem por outros colegas a dificuldade da disciplina já gera uma espécie de obstáculo, que é algo difícil de se quebrar. Contraditoriamente, quando nos propomos a ensinar apenas o conteúdo que irá cair na prova, estamos contribuindo para que esse obstáculo aumente ainda mais.

Pensando nisso, focado na motivação em aprender ciência, a HC vem ajudar a desfazer esse obstáculo, e por consequência trazer um novo tipo de conhecimento em Física diferente daquele apresentado nos livros didáticos. Nesta abordagem motivacional, pretende-se fazer com que o aluno deixe de ser passivo, e passe a ser ativo, crítico e que tenha condições de estabelecer diálogos e argumentar a respeito da ciência, tornando o conteúdo da disciplina de Física interessante (ROBILOTTA, 1988).

2.3 HC E PROTAGONISMO JUVENIL

No tópico anterior, vimos que o presente trabalho se dará dentro dos aspectos motivacionais, e que o aluno é o fator mais importante em todo o processo. Já vimos a importância que a HC tem como abordagem diferenciada, humanizando a ciência e trazendo para “mais perto” do aluno. Tanto a legislação quanto todos os trabalhos descritos corroboram com esse aspecto da HC. A proposta é que a HC traga as ferramentas necessárias para que o aluno possa compreender melhor a ciência, em especial a Física. Espera-se que o aluno seja o agente ativo na construção do seu próprio conhecimento, usando a HC como pano de fundo.

Espera-se que o aspecto motivacional seja o desencadeador de um interesse maior do aluno pela ciência, e assim, quem sabe, considerá-la como uma provável área de trabalho para si mesmo. Como o aluno não será mais apenas um espectador, como acontece em aulas tradicionais, mas um participante ativo nas aulas, os aspectos da historiografia atual não serão foco de cobrança, pois esse não é o objetivo, já que não estamos trabalhando com historiadores natos, e sim com alunos que se interessam por ciência.

Já que o objetivo é uma melhor abordagem do ensino de Física, para que o aluno possa, de fato, aprender ciência, Zabala (1998) discute as necessidades de se trabalhar de forma diferente daquelas que chamamos tradicionais em sala de aula. No modelo tradicional, o aluno é um mero copiator de textos, cujo objetivo é fazê-los resolver os exercícios que porventura poderão cair na prova; conseqüentemente, os que têm mais valor são aqueles que obtêm as melhores notas.

Nosso trabalho vem inserir, dentro da perspectiva de Zabala (1998), diferentes situações em sala de aula que contemplam muito mais do que somente uma avaliação ao final do processo. Um aluno protagonista é o que se pretende ter ao final deste trabalho. Espera-se que este aluno não seja mais passivo, e que se interesse pela ciência, melhorando, assim, seu aprendizado e interesse por essa área do conhecimento (ROBILOTTA, 1988).

Zabala (1998) discute situações a respeito de conteúdos ocultos que são ensinados nas escolas e, às vezes, nós professores não percebemos. Tais conteúdos são descritos como conceituais, procedimentais e atitudinais. Em geral, nos apegamos ao aspecto conceitual, que também é objetivo deste trabalho; no entanto, os procedimentos e atitudes também estão presentes, e tais conteúdos, quando trabalhados adequadamente, podem se apresentar como meios de se melhorar o ambiente dentro do aprendizado.

A aprendizagem não é objeto de discussão deste trabalho; no entanto, acaba por fazer parte dele, uma vez que a intenção é a melhoria dos métodos utilizados para o aprendizado da

ciência, e que o foco é e sempre será o aluno. Tendo, então, um aluno participativo juntamente com uma aula diferenciada, poderemos formar, de fato, cidadãos com atitudes e procedimentos em acordo com o que se espera destes.

No que diz respeito ao nosso trabalho, o aluno estará inserido no processo de discussão e terá a oportunidade de se manifestar apresentando suas pesquisas e discutindo com os demais. O professor entrará num segundo momento, apresentando o conteúdo agora mais elaborado, tendo em vista que os alunos já tomaram conhecimento por meio de suas pesquisas iniciais que serão melhor explicadas no capítulo sobre a proposta.

3 ELETROSTÁTICA E FÍSICA DE PARTÍCULAS

Neste capítulo, apresentaremos o conteúdo que será trabalhado junto aos alunos para realização do produto. Foi escolhido o tema Física de Partículas por estar ligado à Física Moderna, a qual, muitas vezes, não é apresentada aos alunos pelos seguintes motivos: falta de tempo, poucas aulas, a não cobrança nos vestibulares, falta de domínio do professor etc. A inserção de Física Moderna (FM) e Contemporânea no Ensino Médio é um anseio antigo. Mesmo sabendo que a Física Clássica (FC) também passa por problemas no que se refere ao ensino, e para isso vários trabalhos na área de ensino das partes desta disciplina têm sido desenvolvidos, não devemos deixar de lado a FM, utilizando o argumento de que só passaremos a ensiná-la quando conseguirmos ensinar bem a FC.

Muitas pesquisas e propostas são implementadas, no entanto, a atualização do currículo para o Ensino Médio passa por dificuldades, uma vez que alunos da licenciatura também tem em sua grade uma parte significativa de Física Clássica, e, somente ao final dela, a FM. Acabam por levar isso para a sala de aula nestes mesmos moldes, e não apresentam a FM aos alunos, seja por pouca experiência ou por não saber qual tópico ensinar, por ter poucas aulas, por não conseguirem chegar a esse ponto da matéria etc. (OSTERMANN e MOREIRA, 2001). A Física de Partículas foi trabalhada em paralelo com o conteúdo de eletrostática, comumente já apresentado aos alunos. Trouxemos, também, um enfoque ligado à HC, evidenciando a história das partículas e das condições que nortearam os momentos nos quais foram detectadas ou propostas.

3.1 DO QUE SÃO FEITAS AS COISAS?

Quando levamos aos alunos do Ensino Médio questões relativas à natureza da matéria, é possível que recebamos a resposta de que tudo é formado por átomos, mesmo que alguns só tenham ouvido falar e não saibam exatamente o que estão afirmando. É possível, ainda, que alguns deles complementem a discussão trazendo a informação de que o átomo é dividido em prótons, nêutrons e elétrons. E é nessa divisão que começamos a nossa apresentação da eletrostática e da Física de partículas.

3.1.1 A primeira partícula – O elétron

Foi no século XIX que se deu o início dessa história, com a tentativa de se entender a constituição da matéria. Nesse momento histórico, já existiam os conhecidos tubos de raios catódicos ou tubo de Crookes² (figura 1).

Figura 1 – Tubo de raios catódicos



Fonte: http://www.fazano.pro.br/image/92B2_363x264.JPG

Nesse período, havia uma série de experimentos, no entanto, os cientistas não conseguiam explicar adequadamente a origem dos raios catódicos.

Michael Faraday (1791-1867), após cuidadosas experiências, notou que a quantidade de eletricidade depositada no anodo era uma constante universal dada por $F = N \cdot e$ (F é a quantidade de eletricidade, e N , o número de Avogadro), e não explicava o que seria esse “ e ”. Foi George Johnstone Stoney (1826-1911) que estimou, pela primeira vez, uma quantidade para “ e ”. O valor encontrado era cerca de 20 vezes menor que o conhecido atualmente, e em 1891, ele batizou a quantidade fundamental de carga elétrica com o nome de *elétron* (AGUILERA, 2010).

Hendrik Lorentz (1853-1928) propôs que a matéria seria composta de partículas positivas e negativas, adotando o nome elétron já proposto para as negativas, afirmou também que a corrente elétrica é um feixe de elétrons, desenvolvendo uma teoria que ficou conhecida como a Teoria do Elétron (1892). Joseph John Thomson (1856-1940) passou 10 anos estudando o tubo de raios catódicos em suas pesquisas. Refazendo experimentos de outros cientistas, ele se convenceu de que as partículas eram negativas e menores que o átomo.

² Um tubo de Crookes é um experimento elétrico num **tubo** de descarga, parcialmente no vácuo, inventado pelo físico inglês William **Crookes** por volta de 1869-1875, através do qual os raios catódicos foram descobertos. Fonte: <http://www.infoescola.com/fisica/ampola-de-crookes/>

A teoria de Lorentz foi fundamental para que Thomson propusesse a existência dessa partícula. Segundo Vieira (2015, p. 82):

Em 30 de abril de 1897, em uma palestra na Royal Society, em Londres, Thomson anunciou seus resultados: i) o átomo era divisível, formado por corpúsculos de carga negativa; ii) os corpúsculos tinham sempre a mesma massa e carga elétrica, independentemente do tipo de material que os emitia; iii) essas partículas subatômicas eram cerca de mil vezes menores do que o átomo de hidrogênio.

Foi difícil para Thomson anunciá-la. A explicação veio para comprovar seus experimentos. A dificuldade de se anunciar tal feito sempre tem seus dissabores, pois segundo Vieira (2015, p.81): “O anúncio de uma nova partícula incomodou muita gente. O químico russo Dmitri Mendeleev (1834-1907) chegou a escrever um livro satirizando a hipótese do elétron”.

Para entendermos melhor essas dificuldades, apresentamos um texto do próprio Thomson (1936, p.341):

Primeiramente, eram poucos que acreditavam na existência destes corpos menores do que o átomo. Eu soube, muito tempo depois por um físico distinto, que tinha estado presente na minha palestra na Royal Institution, que ele pensou que eu estivesse “brincando”. Não fiquei surpreso com isso, eu tinha chegado a essa explicação das minhas experiências com grande relutância, e só depois eu fiquei convencido da crença na existência de corpos menores que os átomos. Havia, no entanto, alguns, eu acho que dentre os quais o Professor Fitzgerald, que pensaram que eu tinha chegado a um bom resultado. Continuei com minhas experiências. Determinei m/e para os portadores de energia negativa emitida pelo metal exposto a luz ultravioleta; foi a mesma para os raios catódicos. Achei também que isso era verdade para os portadores de carga negativa que escapavam dos metais quentes. Também determinei o valor de e para a carga elétrica transportada por estas partículas eletrificadas negativamente e descobri que era o mesmo que era carregado pelo átomo de hidrogênio na eletrólise dos líquidos. Isto não deixou nenhuma dúvida de que o grande valor de e/m foi devido a pequenez da massa e não pela magnitude da carga.

A quantidade de confirmações a respeito da relação m/e o fizeram acreditar na sua teoria e detecção do elétron. Dentro da história, neste mesmo ano da detecção do elétron, um outro cientista conseguiu chegar aos mesmos resultados de Thomson independentemente e com muito mais precisão. Walter Kaufmann (1871-1947) foi um dos que, quase simultaneamente a Thomson, chegou aos mesmos resultados. Ele pertencia a um círculo de cientistas e filósofos adeptos da doutrina lógico-positivista de Ernst Mach (1838-1916).

Segundo esta doutrina, é anticientífico propor a existência daquilo que não pode ser observado. Sendo assim, Kaufmann não ousou em divulgar seus dados, perdendo a chance de ser notado como um dos descobridores do elétron (MOREIRA, 1997; AGUILERA, 2010). Tal doutrina influenciava na rotina dos cientistas da época, e por causa dela muitos não acreditavam nas novas descobertas, como era o caso das partículas (entes não observáveis); logo, os adeptos a essa doutrina não se preocupavam em tentar criar explicações para esses fenômenos (WEINBERG, 1994). Embora o nome “elétron” já tivesse sido aceito na comunidade científica, Thomson preferiu o nome “corpúsculos”, o qual manteve até o final da vida.

Em 1898, Thomson propõe um modelo para o átomo que é conhecido hoje como o modelo do “pudim de ameixas”, que seria como se os elétrons estivessem imersos em um pudim de cargas positivas. Seu modelo para o átomo seguia suas bases científicas; o átomo precisava ser estável, de alguma forma obedecendo às leis mecânicas e eletromagnéticas nas quais a Física da época estava bem fundada.

Segundo Lopes (2009, p.42):

(...). Será que Thomson nunca pensou no átomo nuclear? Sem dúvida, essa deve ter sido uma das suas opções, seja pensando o modelo saturniano proposto por Nagaoka ou outras variantes. Todavia, esses modelos nucleares sempre apresentariam instabilidade do ponto de vista de eletrodinâmica convencional que era o referencial básico para Thomson e para a maioria dos cientistas do mundo.

Pensar novos modelos não bastava, as teorias tinham, no geral, ligações com as bases dos cientistas, e as novidades que vinham romper com os conhecimentos já estabelecidos eram uma área arriscada de se entrar, gerando controvérsias e disputas entre teorias.

Percebemos que a ciência pode evoluir de diversas formas, por experiências e posteriores explicações, por discussões teóricas etc. No caso do elétron, as experiências, juntamente com um convencimento particular do cientista, foram imprescindíveis para que a teoria fosse apresentada à academia e ainda assim passaria por provações dos demais colegas e durante um tempo ainda teríamos muitos cétricos. Parece algo comum no dia a dia daqueles que se propunham a pensar diferente dos seus pares.

3.1.1.1 O modelo de Nagaoka

O modelo atômico de Hantaro Nagaoka (1865-1950) veio tentar explicar a regularidade das linhas espectrais. Seu modelo – o modelo saturniano – tinha um núcleo grande e positivo, e os elétrons ficavam externamente, distribuídos em anéis.

Ao apresentar seu artigo em 25 de fevereiro de 1904, Nagaoka, quase que imediatamente, sofreu críticas. Suas considerações a respeito da estabilidade nuclear não foram bem aceitas, e em 10 de março, George Augustus Schott (1868-1937) publicou uma crítica a este artigo (1904 *apud* LOPES, 2009, p.65):

O professor Nagaoka sustenta que tal sistema é geralmente estável, mas como resultado de investigação através do método usado por Maxwell para o anel de Saturno, eu cheguei à conclusão, há uns cinco anos atrás, que o sistema é instável se a lei da força elétrica for do inverso do quadrado e a força magnética for negligenciada. Consequentemente, eu pensei que o resultado não teria valor para publicação, mas em vista da carta do Prof. Nagaoka pode ser agora de interesse para seus leitores.

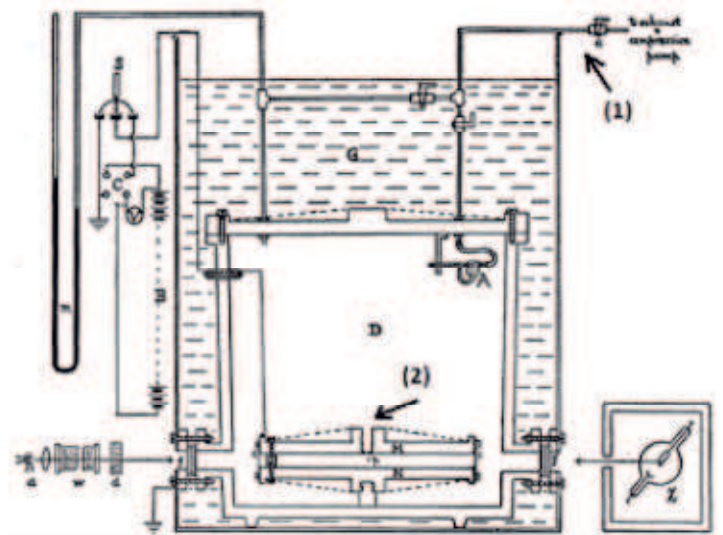
Houve muitas réplicas e tréplicas nessa discussão, em que Nagaoka levava em consideração seus cálculos, e Schott apresentava erros nos mesmos. Nagaoka ainda chegou a propor que seu modelo não considerava um átomo esférico, e sim uma forma achatada para que seus cálculos tivessem sentido. Também não se preocupava com a condição do átomo ser neutro, uma vez que no seu modelo o núcleo era muito grande. A discussão ainda perdurou por algum tempo, e cessou após um pedido de desculpas de Schott, porém, apontando limitações no modelo. Nagaoka acabou por abandonar seu modelo em 1908, dedicando-se à espectroscopia. Ainda assim, apareceriam outros modelos atômicos, inclusive parecidos com o de Nagaoka.

Uma vantagem que podemos destacar desse modelo, com o olhar atual, é o pensar em um átomo nucleado. Isso se tornava uma possibilidade entre as diversas que se apresentariam para os demais cientistas. Pensar em núcleo parecia o caminho, e o que faltava era discutir as suas limitações e acertos para que tivéssemos um modelo estável. Portanto, o que podemos perceber é que, nesse momento, as críticas tinham mais valor do que as discussões, talvez por causa do ego dos cientistas.

3.1.1.2 Millikan x Fletcher

A carga do elétron foi calculada com precisão por Robert Andrews Millikan (1868-1953) em um experimento montado por “ele” conforme a figura 2 abaixo:

Figura 2 – Experimento da gota de óleo



Fonte: MILLIKAN, R.A. Phys. Rev. 2, p.122 (1913). As notações (1) e (2) são nossas.

Em seu experimento, Millikan borrifava óleo por um atomizador (1), fazendo com que as gotículas de óleo saíssem dele já carregadas. Ao entrar na segunda câmara (2), as gotículas de óleo eram submetidas a um campo elétrico no sentido contrário à força gravitacional de forma que tentasse equilibrar a gota. Quando as partículas estavam submetidas a uma resultante de força nula, elas caíam (ou subiam) com velocidades constantes. Junto a todo o conhecimento de Millikan, ele pôde desenvolver uma técnica para o cálculo da carga elétrica.

Apesar de já sabermos da fama de Millikan no cálculo com alta precisão do valor da carga elétrica, em meio à história aparecem certas controvérsias que não foram levadas em consideração para a premiação de Millikan ao Nobel de 1923. Tal controvérsia diz respeito a um de seus alunos, Harvey Fletcher (1884-1981), que o auxiliou na montagem do método e aparelho que viria a consagrar Millikan.

Em comentário feito por Fletcher em um artigo publicado postumamente, percebemos bem do que se trata (1982, *apud* SANTOS, 1995, p. 112):

Todavia, em fins de junho, quando o artigo estava concluído, Millikan apareceu no apartamento de Fletcher, e, para sua surpresa, iniciou uma discussão genérica sobre utilização, como tese, de artigo publicado. Para Millikan, artigo usado em tese deveria ter a assinatura solitária do estudante. Fletcher logo percebeu que Millikan desejava ser o único autor do primeiro artigo: "Era óbvio que ele queria isso, mas não via outra saída, de modo que eu concordei em usar o quinto artigo. Listado acima como minha tese".

O elétron então estava detectado, e junto a ele o valor da carga elétrica fundamental, que é uma propriedade da partícula. Após essa discussão, passando por vários eventos dentro da história, chegamos até o cálculo da carga apresentando a expressão para cálculo,

$$Q = n \cdot e; \quad (\text{Equação 1})$$

como forma de cálculo para a quantidade de carga elétrica. Estendemos ao próton que mantém a mesma propriedade, onde “ n ” é o número de partículas envolvidas, e “ e ” é o valor dado à carga elétrica que é aproximadamente igual a $1,6 \cdot 10^{-19}$ C.

Em meio às discussões, percebemos que os cientistas são pessoas que passam por problemas comuns. Neste caso, o que temos é um relato de um aluno contra seu professor. Pode parecer difícil observar grandes cientistas, e imaginar que suas descobertas podem não ser realmente suas. A ciência é um espaço onde questionamentos e aceitações aparecem o tempo todo. A ideia de se ter uma ciência desapegada de emoções não parece um bom caminho.

3.1.2 O próton

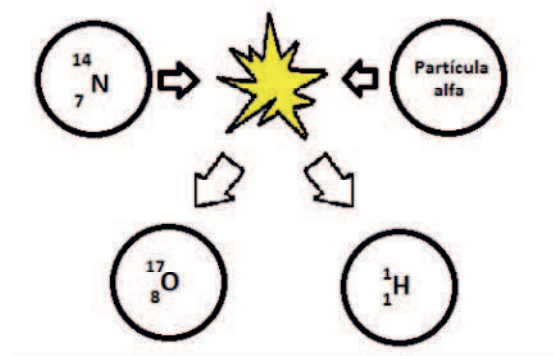
O próton não é uma partícula fundamental; no entanto, é formada por partículas fundamentais, os quarks, que veremos mais à frente. Rutherford, em 1919, realizando experiências parecidas com aquelas que promoveram seu modelo atômico, fez incidir partículas *alfa* (núcleos de Hélio) sobre átomos de Nitrogênio. Logo que apresentou sua teoria do núcleo, imediatamente se propôs a entender como esse núcleo era formado. Neste experimento, esperava-se produzir certos tipos de cintilações já conhecidas³; no entanto, as

³ Cintilações são emissões de fótons quando uma partícula nuclear atinge um detector. A partir delas, é possível executar diversas medidas. No caso do experimento de Rutherford, as cintilações detectadas por um filme ao redor do ponto de emissão possibilitavam a medição dos ângulos de espalhamento das partículas (MARQUES, 2006).

cintilações que apareceram em nada tinham a ver com aquelas esperadas que tivessem relação com os desvios previstos para átomos de Nitrogênio.

Segundo Pinheiro, Moreira e Costa (2011), eles só haviam observado esse padrão nos experimentos feitos com Hidrogênio, o que os fez pensar que, como não havia Hidrogênio na reação, seria provável que o Hidrogênio fosse parte fundamental do Nitrogênio. Após a colisão, apareciam átomos de Oxigênio juntamente com a emissão de um átomo de Hidrogênio, o que os levou a considerar e a empregar o conceito de transmutação (figura 3).

Figura 3 – O aparecimento do próton



Fonte própria

Rutherford empregou o conceito de Transmutação, elaborado em 1902, considerando que o Nitrogênio era transmutado em Oxigênio. Este conceito, juntamente com o experimento, fez com que fosse proposto que o átomo era capaz de se desintegrar. Então, em 1920, Rutherford propõe à Academia Britânica de Desenvolvimento da Ciência a existência do próton (do grego, primeiro), como ele denominou o núcleo do hidrogênio (PINHEIRO; MOREIRA; COSTA, 2011).

A carga do próton também é calculada pela mesma expressão (Equação 1). A única consideração que diferencia o cálculo para o próton se dá pelo sinal, por ser positivo. A partir desta determinação, surgiu outro problema: o equilíbrio de cargas no interior do núcleo que pôs Rutherford a conjecturar uma nova partícula neutra em 1920.

A criatividade em explicar determinados experimentos era o que diferenciava muitos cientistas, e que, possivelmente, determinava suas carreiras. Como vimos, certas explicações passavam por crivos dos demais, e era possível que sua aceitação não fosse de imediato. A credibilidade de que gozavam alguns cientistas facilitava a aceitação de suas ideias. Rutherford tinha essa credibilidade.

3.1.3 O Nêutron

Rutherford, após seus experimentos que detectaram o próton em 1920, ainda descreveu, em seu artigo⁴, a possibilidade de se existir uma partícula neutra de massa próxima ao do próton. A busca dessa partícula começou em 1930, quando James Chadwick (1891-1974) foi coordenar a pesquisa organizada por Rutherford. A proposta de existência dessa partícula neutra era baseada no fato de que o núcleo atômico deveria ser estável. Cargas positivas deveriam anular as negativas e, naquele momento, o núcleo aparentava ter mais prótons que elétrons, o que contrariava a estabilidade. Experimentos realizados por outros cientistas - Irène Joliot-Curie (1897-1956), Frédéric Joliot (1900-1958) e outros - serviram de base para que Chadwick pudesse fazer seu experimento e obter as confirmações sobre a partícula neutra (CHADWICK, 1932a). Um modelo do seu experimento é apresentado na figura 4 abaixo:

Figura 4 – A partícula Neutra



Fonte: <http://www.searadaciencia.ufc.br/donafifi/neutron/neutron4.htm>

Ele observou que as radiações desconhecidas eram capazes de arrancar prótons da parafina colocada entre o berílio e o detector. Com isso, supôs que elas eram compostas por partículas neutras com massa semelhante ao próton. Segundo Chadwick (1932a, tradução nossa):

Estes resultados, e outros que obtive no decorrer do trabalho, são muito difíceis de explicar, partindo do pressuposto de que a radiação do berílio é uma radiação quântica, se a energia e o impulso estão sendo conservados nas colisões. As dificuldades desaparecem, no entanto, se for admitida que a radiação consiste em partículas de massa 1 e carga 0, ou nêutrons.

À luz dessa nova hipótese, ele usou a radiação neutra do berílio para bombardear vários gases diferentes, e conseguiu calcular a massa das partículas neutras obtendo um valor

⁴ Mais informações: Bakerian Lecture. Nuclear Constitution of Atoms - E. Rutherford, p. 396, 1920. DOI: 10.1098/rspa.1920.0040

um pouco maior do que a massa do próton. Chadwick (1932b, p.708, tradução nossa) cita em seu resumo do artigo que:

Foram examinadas as propriedades da radiação penetrante emitida a partir de berílio (e boro) quando bombardeadas pelas partículas α de polônio. Conclui-se que a radiação consiste, não de quanta como até então suposto, mas de nêutrons, partículas de massa 1 e carga 0. Evidência é dada para mostrar que a massa do nêutron está provavelmente entre 1,005 e 1,008. Isso sugere que o nêutron consiste em um próton e um elétron em combinação próxima, sendo a energia de ligação de cerca de $1 a 2 \cdot 10^6$ elétrons volts. A partir de experiências sobre a passagem dos nêutrons através da matéria é discutida a frequência de suas colisões com núcleos atômicos e com elétrons.

Chadwick publicou um artigo intitulado de “Possível existência de um nêutron” na revista *Nature*, que lhe rendeu o Prêmio Nobel de Física de 1935 (PINHEIRO; MOREIRA; COSTA, 2011, p.60). Mesmo com a detecção e com a comprovação do nêutron, a estabilidade do núcleo ainda não estava totalmente entendida, e só apresentaria algum avanço após as propostas de Hideki Yukawa (1907-1981), que serão discutidas no decorrer do capítulo.

A construção da ciência se dá por um misto de grandes proposições e posteriores detecções e explicações de experimentos. A ordem não se mantém em todos os casos. Por vezes, o experimento vem primeiro, e, em outros casos, a proposta é o início. A construção aparece, na maioria das vezes, como contínua sempre se utilizando de propostas e experiências de outros pares que, por algum motivo, não foram capazes de explicar ou ainda de perceber o que tinham em suas mãos.

3.2 A FORÇA COULOMBIANA – A LEI DE COULOMB

Ao estudarmos a Força Coulombiana e o Campo Elétrico, devemos levar em consideração a didática aplicada que particiona os conteúdos, bem como devemos ter uma visão clara de que ela faz parte de uma teoria mais elaborada, a eletromagnética. Esta seção tem como objetivo apresentar a força elétrica e, subsequentemente, ampliar o conceito para força eletromagnética para começarmos a tratar das quatro forças fundamentais, dentre elas a eletromagnética.

3.2.1 As cargas elétricas

Em consequência aos estudos das partículas na seção anterior, devemos, também, discutir os efeitos causados pelas cargas elétricas, uma vez que são eles que podemos perceber

no cotidiano. Utilizaremos como base para os conceitos de eletrostática comumente apresentados no currículo do Ensino Médio, o livro Física Básica de Nussenzveig (1997). Por conveniência, foram definidos os nomes *positivo* e *negativo* para as cargas elétricas. A existência do que hoje chamamos de cargas se deve aos experimentos de Charles François du Fay (1698-1739), que mostrou que quando se atrita dois pedaços de âmbar com o mesmo tecido, esses pedaços se repelem, e, em contrapartida, esses pedaços são atraídos pelo vidro. Ele chamou de eletricidade “vítrea” e “resinosa”, e foi Benjamin Franklin (1706-1790) que nomeou de positiva a “vítrea”, e de negativa, a “resinosa”.

Franklin, a partir de seus experimentos, foi convencido de que os processos de eletrização não criam cargas, e que estas apenas se transferem de um corpo a outro. Segundo Nussenzveig (1997, p.4): “Essa hipótese de Franklin constitui a mais antiga formulação de um princípio fundamental da física, a *lei de conservação da carga elétrica*”.

O que percebemos é a dificuldade que se tem em apresentar uma teoria que hoje é válida, mas que demorou certo tempo até se efetivar. Os estudos iniciais sobre eletricidade eram feitos por vários cientistas.

O que devemos perceber é que a teoria que ensinamos hoje é baseada em outras e alocada de forma a facilitar a explicação dos conceitos. Mostrar os que trabalharam primeiramente tais conceitos é importante para demonstrar a capacidade humana em explicar fenômenos e também os acertos que se fazem com o decorrer do tempo até chegarmos a uma teoria válida atualmente.

3.2.1.1 Processos de eletrização

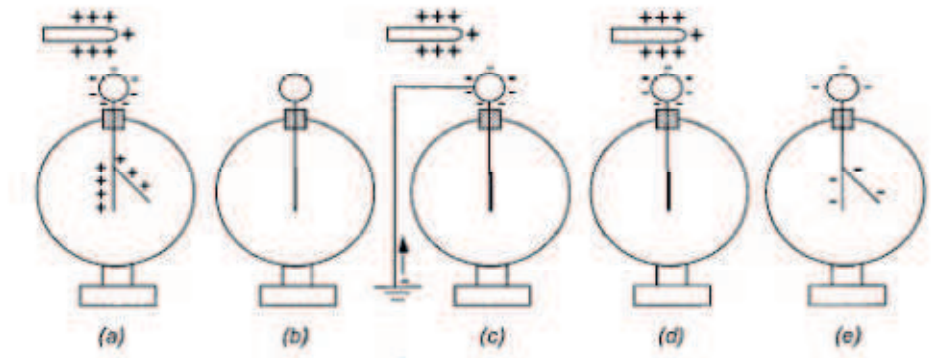
Como sabemos, as cargas dispostas em alguns materiais têm mais facilidade ou não para se movimentarem. Estes materiais nos quais as cargas têm facilidade são comumente chamados de condutores, e aqueles que não oferecem tal liberdade ou apresentam dificuldade chamamos de isolantes.

Como dito anteriormente, o fato de um material apresentar dificuldade na movimentação de cargas não quer dizer que ele tenha este estado fixo. Em alguns casos, ao alterarmos as condições, podemos ter um material que, ora dado como isolante, passe a ser condutor. Como exemplo, podemos citar o ar, que tem sua rigidez elétrica quebrada ao submetermos o mesmo a 10000 V, passando a ser condutor.

Chamamos de eletrização por atrito a situação na qual atritamos dois materiais, e eles ficam carregados com cargas opostas. Materiais carregados que aproximados e colocados em

contato podem redistribuir suas cargas de forma a obedecer à conservação de energia. Este processo é chamado de eletrização por contato. O terceiro processo, chamado de eletrização por indução, é melhor explicado pela figura 5 abaixo:

Figura 5 – Processo de eletrização por indução



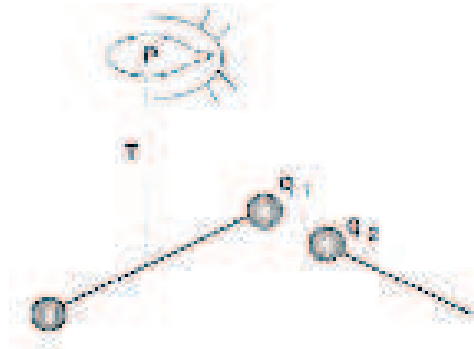
Fonte: Nussenzveig (1997, p.5)

Em *a*, um bastão eletrizado positivamente (indutor) é aproximado de um eletroscópio, a princípio neutro, fazendo com que as cargas do eletroscópio se dividam e os elétrons subam, sendo atraídos pelas cargas positivas e as folhas do eletroscópio se abrem pela concentração de cargas positivas. Em *c*, coloca-se um fio terra, que será o caminho de elétrons que subirão ao eletroscópio para compensar as cargas positivas na parte de baixo do mesmo, fazendo com que suas folhas fechem. Em *e*, temos agora o afastamento do corpo indutor e o eletroscópio carregado de cargas negativas que estão em excesso.

3.2.2 A lei de Coulomb

Charles Augustin de Coulomb (1736-1806) investigou, em 1785, experimentalmente, a relação entre as forças elétricas com o auxílio de uma balança de torção (figura 6). A balança consta de uma haste isolante com duas esferinhas metálicas nas pontas, suspensa por uma fibra T ligada a um ponteiro P com uma escala graduada (NUSSENZVEIG, 1997, p.6).

Figura 6 – Balança de torção



Fonte: Nussenzveig (1997, p.6)

Ao carregar a esfera, teremos uma força de atração ou repulsão que será medida a partir da torção no fio que é representado pelo ponteiro. A partir deste experimento, Coulomb determinou a relação entre as forças segundo a equação 2:

$$F_{2(1)} = k \frac{q_1 q_2}{(r_{12})^2} \hat{r}_{12} = -F_{1(2)} \quad \text{(Equação 2)}$$

No esquema acima, $F_{1(2)}$ é a força exercida pela partícula 1 em 2, e $F_{2(1)}$ é a força exercida pela partícula 2 em 1, r_{12} é o vetor unitário da direção de 1 para 2 (figura 7), e k tem seu valor, no vácuo, no Sistema Internacional de unidades (S.I.) de

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cong 8,98755 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2$$

Figura 7 – Forças Coulombianas para um par de cargas



Fonte: Nussenzveig (1997, p.7)

Em geral, esta lei é apresentada para o terceiro ano do Ensino Médio devido à divisão comum dos conteúdos, deixando a eletricidade para o final do percurso da educação básica. Juntamente com a expressão, é necessário se discutir toda a característica vetorial inerente às forças, juntamente com o princípio da superposição que equivale a somá-las vetorialmente, e que cada corpo eletrizado exerce uma força individual sobre outro corpo, que somadas são a chamada força resultante em uma carga referencial.

Devemos levar em consideração que estes estudos estão sendo feitos dentro da eletrostática, na qual teremos apenas a participação do campo elétrico. Espera-se que em determinado momento, o professor seja capaz de ampliar essa visão de um campo estático no tempo para um campo variável no tempo, e por consequência que apresente o campo magnético. Tendo como foco o entendimento do conceito de campo eletromagnético, onde se inserem as forças eletromagnéticas, que são consideradas dentro dos parâmetros da Física de Partículas.

3.3 O CAMPO ELÉTRICO

Quando tratamos de campo, seja ele gravitacional, elétrico ou magnético, estamos tratando com uma grandeza abstrata. Pensando nos alunos, a quem apresentaremos tais conceitos, é importante a versatilidade, propondo questionamentos, analogias e experimentos, para que eles possam se apropriar do conceito. Sabemos que o campo elétrico é gerado por uma carga elétrica e que só percebemos a sua presença quando colocamos uma carga, chamada de prova⁵, na região, e esta carga “sente” a presença do campo. Observamos em Gamow (1988, p.151 *apud* MAGALHÃES; SANTOS; DIAS, 2002, p.494) a seguinte descrição:

Forças misteriosas agindo entre corpos, ao longo de grandes distâncias, foram substituídas por algo continuamente distribuído através de todo o espaço entre e em redor deles, algo ao qual poderia ser atribuído um valor definido em um ponto único. Isso introduziu na Física a ideia de um campo de forças ou simplesmente um campo, fosse ele um caso de interação elétrica, magnética ou gravitacional.

Constatamos a dificuldade que se tem em normatizar um conceito que não é visual, e que observamos apenas efeitos de suas propriedades. Podemos, então, utilizar uma definição de campo como sendo uma propriedade de uma região do espaço que obedece a certas formulações. Nas figuras 8 e 9, são apresentados os efeitos causados pela disposição de cargas elétricas.

⁵ A carga de prova deve ter o menor valor possível (limitado ao valor de e), pois ela também gera um campo elétrico. Com isso podemos desprezar esse campo em relação ao campo que, de fato, queremos estudar.

Figura 8 – Campo Elétrico entre cargas de sinais diferentes



Fonte: https://www.youtube.com/watch?v=N3UVw_Yuu7Y

Figura 9 – Campo Elétrico entre cargas de sinais iguais



Fonte: <https://www.youtube.com/watch?v=enxT-8isjfs>

De acordo com os estudos de Nussenzveig (1997, p.15), a força, em termos de valores, utiliza o princípio de superposição sobre uma carga puntiforme q_i . Devida a sua interação eletrostática com outras cargas puntiformes fixas, em posições determinadas, a Força é proporcional a q_i , e pode ser escrita como:

$$F_i = q_i E_i \quad (\text{Equação 3})$$

Onde:

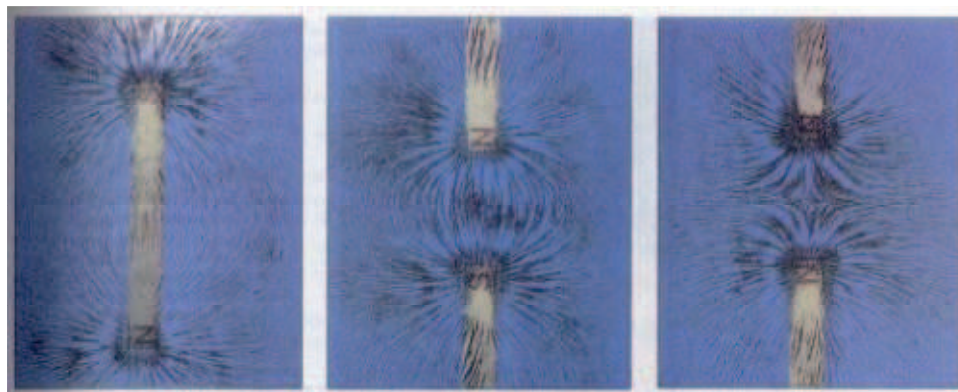
$$E_i = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \sum_{j=1}^n \frac{q_j}{(r_{ij})^2} \hat{r}_{ij} \quad (\text{Equação 4})$$

Na expressão (equação 4) percebemos que o campo “sentido” pela carga de prova “i” ocorre devido à soma da (s) carga (s) geradora (s) “j”

Uma vez inserido o conceito de campo, podemos, agora, ampliá-lo ainda mais. Podemos associar o sentido de Campo Elétrico ao do Campo Magnético, e para isso podemos

nos utilizar de exemplos. Neste caso, o experimento é facilitado devido a um maior acesso a ímãs e alguma limalha de ferro, o que pode ser conferido nos exemplos (figura 10) abaixo:

Figura 10 – Campo Magnético em ímãs de barra



Fonte: <http://emilioescobar.org/u5/u5.htm>

3.3.1 O fóton

Não há uma data certa para a “descoberta” do fóton. Como veremos a seguir, a descrição do fóton foi necessária para explicar alguns problemas que estavam propostos no final do século XIX. Segundo Dionísio (2005), nesse momento histórico, a Física Clássica, como a conhecemos, estava praticamente toda bem formulada e explicada, com exceção de alguns pequenos problemas que já estavam sendo estudados, e se esperava que em pouco tempo fossem resolvidos.

Dentre esses problemas temos, por exemplo, a radiação de corpo negro, já com uma série de dados experimentais coletados e vários cientistas trabalhando em uma explicação. Dentre eles, Max Planck (1858-1947), em dezembro de 1900, apresentou uma solução ao problema citado. Segundo ele, a emissão/absorção da energia do sistema não podia ser considerada na forma contínua, e, sim, poderia aceitar frações de energias permitidas, cujos valores são múltiplos inteiros de uma quantidade fundamental, denominado *quantum* de energia. A teoria de Planck também foi vista com certo receio pelos cientistas da época, mas sua equação concordava e resolvia o problema das emissões/absorções do corpo negro e coincidia bem com os dados experimentais.

Albert Einstein (1879-1955), em seus trabalhos de 1905, causou uma revolução para a ciência da época mesmo demorando algum tempo para serem aceitos. Um deles explicava o efeito fotoelétrico que já era observado desde as experiências de Heinrich Hertz (1857-1894) em 1887, quando placas de metal eram bombardeadas com vários tipos de luz e, em alguns

casos, elétrons eram emitidos. Os cientistas procuravam uma explicação para o efeito, e foi Einstein que considerou que a energia proveniente da luz era da forma de pacotes (dando agora um caráter discreto as ondas eletromagnéticas) com energia E, em que:

$$E = h\nu \quad (\text{Equação 5})$$

Ele conjecturou ainda em seu trabalho que, dependendo do tipo de luz, haveria uma quantidade diferente de energia, que sabemos hoje estar relacionada à frequência da onda eletromagnética. Antes dessa explicação, os cientistas consideravam a energia das ondas luminosas de forma contínua, e não entendiam por que mesmo aumentando a intensidade luminosa em alguns casos, o efeito não era observado. Para isso, Einstein explicou que os elétrons são ejetados da placa de metal quando uma determinada luz, com energia suficiente, é aplicada a ele. A essa quantidade de energia discreta ele deu o nome de função trabalho. Eis a equação:

$$K = h\nu - W_0 \quad (\text{Equação 6})$$

Na equação acima, K representa a energia cinética do elétron ejetado, e está diretamente relacionado com a energia de incidência ($h\nu$). W_0 (função trabalho) é a energia necessária para retirar o elétron da placa. Como percebemos na equação, a diferença entre a energia da luz e a energia necessária para arrancar o elétron (função trabalho) é exatamente a energia cinética desse elétron. Robert Andrews Millikan (1868-1953), em 1915, corroborou experimentalmente a teoria de Einstein.

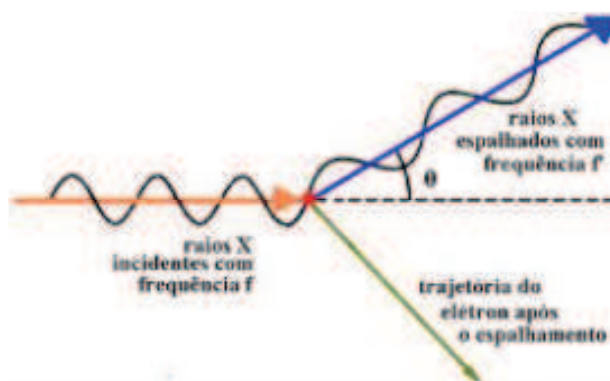
Para exemplificarmos a dificuldade que se tinha em apresentar novas teorias, vale mencionar aqui uma frase escrita por Millikan (1949, p.344, tradução nossa) em um de seus artigos: “Passei dez anos da minha vida testando a equação de Einstein de 1905, e, contrariando todas as minhas expectativas eu fui compelido em 1915 a afirmar sua inequívoca verificação experimental (...)”. Ainda assim passaram alguns anos até que outros cientistas viessem a dar o devido crédito a Einstein por esse trabalho pelo qual, juntamente com outros, Einstein recebeu o Prêmio Nobel em 1921.

O que podemos perceber, mais uma vez, é que aqueles que se propunham a estar em uma linha de Física teórica estariam sempre no foco dos demais cientistas, e poderiam, certamente, sofrer críticas. Era comum que outros pares montassem experimentos na tentativa de refutar teorias apresentadas, levando em conta a lógica-positivista de que a observação é

necessária. Isso nos permite entender que, em várias situações, teorias não podem ser comprovadas experimentalmente, e não são verdades absolutas.

Mesmo com um prêmio Nobel, somente em 1922, após 5 anos de experiências realizadas por Arthur Compton (1892-1962), o conceito do fóton foi aceito. Em seu experimento (figura 11), Compton fazia um feixe de raios X incidir sobre um alvo de grafite, e, após o espalhamento, eram medidas as intensidades dos raios X. Verificava-se, então, que havia dois comprimentos de onda distintos, onde um deles era igual ao do feixe incidente, e o outro era maior, constatando também que o ângulo de espalhamento aumentava com o aumento da diferença entre os comprimentos de onda. Por seu trabalho, Compton recebeu o Prêmio Nobel de Física em 1927 (PINHEIRO; MOREIRA; COSTA, 2011).

Figura 11 – Efeito Compton



Fonte: <http://brasilecola.uol.com.br/fisica/efeito-compton.htm>

Esses pacotinhos de energia (quanta), agora chamados de fótons, passaram a ser considerados a partir de uma série de explicações de outros fenômenos que vem a seguir. Como mencionado, essa ideia de Einstein demorou quase 20 anos para ser aceita na área, e ainda gera muitas indagações em relação ao conceito básico de fóton. Após a década de 1930, o conceito de fóton, disseminado na comunidade científica, foi que a radiação é composta por um conjunto de partículas indivisíveis, cuja energia e momentum são conservados. Este conceito é o que se pode chamar de conceito canônico de fóton da velha teoria quântica (SILVA, 2015, p.1602.2).

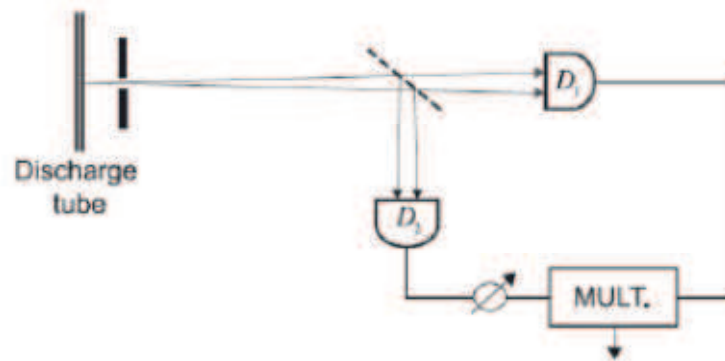
Experimentos realizados até a década de 1970 - efeito fotoelétrico, efeito Compton, efeito HBT⁶, emissão espontânea e deslocamento Lamb - se utilizaram do conceito canônico.

⁶ O nome é dado devido aos seus descobridores - Robert Hanbury Brown (1916-2002) e Richard Quentin Twiss (1920–2005) - mais informações sobre o efeito HBT: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5138626/>>

Aos poucos esse conceito passava a não explicar satisfatoriamente alguns desses experimentos. Em 1956, um desses experimentos (HBT) não tinha condições de ser explicado pelo conceito canônico de fóton. Segundo Silva (2015, p.1602.2):

No aparato HBT, uma fonte de luz de baixa intensidade produzida por um arco de mercúrio foi dividida em duas componentes por um espelho semitransparente e, em seguida, foram detectadas separadamente por dois detectores (...). Após a realização do experimento, Hanbury Brown e Twiss observaram que o tempo de chegada dos fótons estava correlacionado. Ou seja, fótons estavam sendo detectados simultaneamente.

Figura 12 – Versão simplificada do tipo de experimento realizada por HBT



Fonte: Silva, 2015, p.1602.2

Dentro da perspectiva do conceito canônico, esperava-se que fótons individuais chegassem até o espelho semitransparente e até os detectores, onde então seriam detectados não de forma simultânea. Essa controvérsia durou cerca de dois anos, e mobilizou vários físicos teóricos da época. Em 1963, Roy Glauber (1925-) lançou uma nova teoria que retirava o caráter bola de bilhar dos fótons para uma característica abstrata, definindo, então, o fóton como um grau de excitação do estado quântico do campo eletromagnético (SILVA, 2015). Por essa teoria, Glauber ganhou o Prêmio Nobel de 2005.

Constatamos, a partir da exposição, como a ciência se comporta, mesmo com relação a teorias e definições de grandes cientistas. De fato, tais pressupostos não estão blindados, nem são consideradas verdades absolutas por toda a eternidade. Eles podem, sim, sofrer alteração, mediante a necessidade de se sanarem os possíveis impasses contidos neles. A partir dessas ressignificações, novas teorias são criadas, e a ciência avança.

Tendo, agora, o conceito de fóton e de campos discutido entre os alunos, podemos retomar outro ponto, o Campo Gravitacional. Este campo também entra na Física de Partículas como uma das forças fundamentais, a Força Gravitacional. O intermediador dessa

força é chamado de Gráviton, que ainda não foi detectado. Um dos possíveis motivos para essa não detecção é a fraca intensidade da força gravitacional em escala microscópica. Desse modo, constata-se que é pouco provável sua detecção nos dias atuais (MOREIRA, 2011).

3.4 O POTENCIAL COULOMBIANO

De acordo com os pressupostos de Nussenzveig (1997, p.44), o campo devido a uma carga puntiforme é descrito pela expressão (equação 7):

$$E(r) = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2} \quad (\text{Equação 7})$$

Trazendo o conceito de trabalho utilizado em mecânica, temos o correspondente sobre uma carga de prova unitária, levada de P_1 para P_2 , que é independente do caminho. Assim, teremos:

$$-\int_{P_1}^{P_2} E \cdot dl = V(P_2) - V(P_1) \quad (\text{Equação 8})$$

O esquema define a diferença de potencial entre P_1 e P_2 . A unidade de Potencial é a razão entre trabalho e carga (J/C), que foi batizada de V (volt). Escolhendo de forma arbitrária um dos potenciais no infinito e considerando o potencial nesse ponto como zero, reduzimos a nossa expressão a:

$$V(r) = -\int_{\infty}^r E \cdot dl = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r} \quad (\text{Equação 9})$$

Tal esquema é comumente apresentado aos alunos da forma:

$$V(d) = K \frac{q}{d} \quad (\text{Equação 10})$$

Onde d é a distância do ponto considerado em relação à carga, e K a constante eletrostática.

Uma vez discutido o conteúdo trazido pelos livros didáticos sobre este ponto da disciplina de Física, para o terceiro ano do Ensino Médio, é aqui que retomamos o problema da estabilidade do núcleo apresentando o Potencial de Yukawa. Este pode ser reduzido ao Potencial Coulombiano, e traz a previsão de uma nova partícula.

3.4.1 O Potencial de Yukawa

As pesquisas sobre a Física de alta energia iniciaram-se com o trabalho de Hideki Yukawa (1907-1981), em 1935, o qual perdurou até o início da década de 1950. Em seus experimentos, o cientista utilizava os raios cósmicos como fonte de partículas de alta energia, que eram a única fonte disponível até então. Seu trabalho versava sobre as forças nucleares de curto alcance que agiam entre os núcleons (prótons e nêutrons). Yukawa demonstrou que o fato do fóton ter massa zero faz com que as forças eletromagnéticas atuem a longo alcance. Para as de curto alcance, Yukawa considerou a equação relativística de Klein-Gordon. Após algumas considerações nesta função de onda, obteve-se a seguinte equação:

$$\nabla^2 \psi - \frac{m^2 c^2}{\hbar^2} \psi - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \psi}{\partial t^2} = 0 \quad (\text{Equação 11})$$

A partir dessa equação, Yukawa postulou a existência de uma partícula (méson π ou pión). Essa partícula participaria da interação que mais tarde seria conhecida como força forte residual que atua no núcleo, a qual possui um alcance na ordem de 10^{-13} cm, implicando em uma massa de

$$m_{\pi} c^2 = \frac{hc}{\lambda} = 200 \text{ MeV}.^7 \quad (\text{Equação 12}) \quad (\text{ENDLER, 2010})$$

O cálculo do potencial de Yukawa é determinado pela seguinte expressão:

$$V(r) = -\frac{g_s}{4\pi r} e^{-\frac{mcr}{\hbar}} \quad (\text{Equação 13})$$

Onde g_s é uma constante de acoplamento de valor q/ϵ_0 , m é a massa da partícula, c é a velocidade da luz, e \hbar é a uma constante que representa $h/2\pi$.

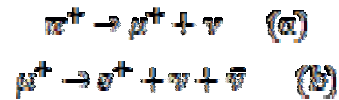
Considerando a partícula de interação da força eletromagnética como sendo o fóton, e este tem massa zero, o expoente da expressão (Equação 13) vai a zero. Substituindo os dados, teremos a expressão equivalente ao Potencial Coulombiano (Equação 14) (MARTIN; SHAW, 2008, p.19-20):

$$V(r) = -\frac{g_s}{4\pi r} = -\frac{q}{4\pi\epsilon_0 r} \quad (\text{Equação 14})$$

O pión possui uma grande importância histórica. No entanto, ele não é uma partícula elementar; logo, não faz parte do Modelo Padrão (MP) que discutiremos mais adiante. Não consideramos como elementar pelo fato de ocorrer um decaimento da partícula em outra.

⁷ Elétron-volt (eV) é unidade de medida de energia. Equivale a $1,602\ 177\ 33\ (49) \times 10^{-19}$ joules. $1 \text{ MeV} = 1 \times 10^6 \text{ eV}$.

Como exemplo, podemos observar abaixo um decaimento do pión (a); em seguida, do antimúon (b):



O pión decai em um antimúon e um neutrino, e o antimúon decai para um pósitron, um neutrino e um antineutrino. Em geral, o tempo de vida dessas partículas (múons) é muito pequeno, e elas tendem a decair para partículas mais estáveis (pósitrons, elétrons e neutrinos). A partir destas noções sobre novas partículas que interagem com a matéria, temos o pión como partícula que participa da chamada força forte. Esta é a força que une os quarks que discutiremos mais adiante. O potencial de Yukawa trouxe para física de Partículas um avanço significativo, uma vez que novas partículas chamadas mésons foram detectadas em novos processos.

Nesta nova fase, muitas partículas foram propostas e detectadas. As teorias que já existiam podiam, em alguns casos, explicar os comportamentos destas novas partículas, e, em outros casos, não. Isso fez com que os cientistas passassem a buscar novas explicações e experimentos para o desenvolvimento da ciência. A proposta de Yukawa veio a contribuir com a estabilidade do núcleo, possibilitando um melhor entendimento do átomo, e abrindo portas para que outros cientistas desenvolvessem novas teorias.

3.4.2 E quem são esses Neutrinos?

A partir da previsão de uma nova partícula feita por Yukawa, houve um grande “boom” de novas partículas. Em 1937, foi detectado o mésotron (posteriormente chamado de méson) que os físicos imaginavam ser a partícula de Yukawa. Verificaram que se tratava de uma nova partícula, o múon, que viria a ser detectada no decaimento dos pions. Essas, sim, eram as partículas da previsão original. A detecção dos pions teve participação importante do Físico brasileiro Cesar Lattes.

Esses processos de decaimento já eram conhecidos pela ciência. Dentre eles, o decaimento beta ficou, por um bom tempo, sem explicação. Na seção seguinte, faremos um breve histórico da previsão e detecção do neutrino.

3.4.2.1 O neutrino – a partícula fantasma.

A radioatividade foi intensamente estudada, e permaneceu como um mistério por algum tempo. O problema é que certos núcleos têm decaimento radioativo do tipo beta, os quais emitem um elétron. Tudo, então, parecia normal; a não ser pelo fato de que a cada emissão de elétrons estes tinham energias diferentes, e o estado inicial e final do núcleo eram os mesmos. O núcleo, como era muito mais pesado que o elétron, praticamente não se movia; então, a energia disponível no decaimento beta deveria servir ao elétron como energia cinética, mas não era esse o valor encontrado (SANTOS, 2003).

Wolfgang Pauli (1900-1958), no ano de 1930, em uma carta escrita aos participantes de um congresso no qual ele não pôde estar presente, sugeriu que no decaimento beta uma segunda partícula era emitida, e a chamou de “nêutron” (posteriormente batizada de neutrino devido à sua massa praticamente nula) por não ter carga. Sendo assim, a soma das energias do elétron e do “nêutron” deveria ser constante no problema.

Sua proposta foi a seguinte: um núcleo A antes do decaimento tem energia de repouso igual a $E_A = m_A c^2$. Após o decaimento, a energia do núcleo B será igual a $E_B = m_B c^2$. Como agora seria levada em consideração uma nova partícula, a energia cinética disponível para o elétron seria:

$$E_e = (m_A - m_B) c^2 - m_e c^2 - m_\nu c^2 \quad (\text{Equação 15})$$

Onde m_e é a massa do elétron e m_ν é a massa do neutrino que deve ser muito pequena.

Três anos mais tarde, Enrico Fermi (1901-1954), utilizando o conceito apresentado por Pauli em outros decaimentos, batizou a partícula de neutrino (nêutron pequenino).

A sua detecção só aconteceu em 1953 (23 anos após a proposta de Pauli), em uma experiência realizada na central nuclear de Savannah River, Carolina do Sul, Estados Unidos, pelos cientistas Clyde Cowan (1919-1974) e Frederick Reines (1918-1998). A dificuldade de detecção não reside na sua raridade, pois hoje sabemos que o neutrino é uma das partículas mais abundantes do universo, mas em sua fraca interação com a matéria. Estima-se que neste segundo, em um cm^2 , 40 milhões de neutrinos estejam atravessando a terra.

Santos (2003, p.5) traz em seu artigo parte da carta de Pauli, escrita em dezembro de 1930, e enviada a Tübingen (Alemanha), propondo sua ideia aos seus pares:

O portador destas linhas, a quem rogo graciosamente que ouçam, lhes explicar em mais detalhe, como por causa da estatística errada dos núcleos de ^{14}N e ^6Li e do espectro contínuo me ocorreu uma solução desesperada para salvar o teorema de troca da estatística e a lei da conservação da energia. Nomeadamente a possibilidade de que possam existir no núcleo partículas neutras, a que desejo chamar nêutrons, que tem spin $1/2$ e obedecem ao princípio de exclusão, e que diferem das partículas de luz por não viajarem com a velocidade da luz. A massa dos nêutrons deve ser da mesma ordem de grandeza da do elétron e, em qualquer caso, nunca superior a 0.01 vezes a do próton. O espectro contínuo do decaimento seria então compreensível pela hipótese de, no decaimento beta, ser emitido um nêutron em conjunto com o elétron de modo a que a soma da energia do nêutron e do elétron é constante.

...

Concordo que esta solução parece incrível porque deveríamos já ter visto estes nêutrons se realmente existem. Mas só o que arrisca pode ganhar e a difícil situação, devido a natureza contínua do espectro, e iluminada por um comentário do meu honorável predecessor, Mr. Debye, que me disse recentemente em Bruxelas: "Oh, é melhor não pensar nisso de todo, como se faz com novos impostos". Daqui para a frente, qualquer solução para esta questão deve ser discutida. Por isso, cara gente radioativa, olhem e julguem. Infelizmente não posso comparecer em Tübingen pessoalmente, porque sou indispensável aqui em Zurique por causa de um baile na noite de 6/7 de dezembro. Com os meus melhores cumprimentos para todos e também para o Sr. Back. Vosso humilde servo, W. Pauli.

As discussões podem se prender à conservação de energia e sua importância dentro da Física. Um caso específico, no qual a energia não era conservada, levou Pauli a propor a nova partícula por não aceitar a quebra de um princípio. Contudo, um problema apareceu. Até o momento, o átomo era formado por prótons e elétrons, e uma partícula agora neutra estava presente e com uma massa muito pequena. A proposta de Pauli em resolver o problema era de se destacar, mostrando que a ciência é feita, também, da criatividade humana.

Esta criatividade é, por vezes, a saída em discussões iniciais acerca de determinados fenômenos. De início, há muitas críticas, e pode-se até pensar que foram atos de pura sorte ou de uma capacidade acima da média dos gênios que serão reverenciados no futuro. O que constatamos, de fato, é o surgimento de ideias, baseadas em grande esforço, experimental ou teórico, e esse esforço demanda um grande interesse e estudo. As coisas não nascem do nada, e os cientistas que trilham esses caminhos têm atrás deles muitas pedras, as quais muitos de nós não enxergamos. Dessa forma, acreditamos que a teoria já nasceu praticamente pronta, como num passe de mágica. Dentro desse caminho, muitos fatores são preponderantes, como, por exemplo, a sociedade em que o cientista vive, sua condição social, suas crenças etc.

3.5 UMA BREVE PAUSA – A SEGUNDA GUERRA MUNDIAL

Os efeitos provocados pela segunda guerra mundial se verificam em vários setores, inclusive nas ciências. De acordo com Schwartzman (1989), o mundo vivia a guerra, e seus melhores cientistas estavam se deslocando para os projetos que envolviam melhorias bélicas, em especial o projeto Manhattan nos Estados Unidos (EUA), que culminou com a produção da bomba atômica. A parte social e política era muito afetada, a ponto de ocorrerem situações nas quais governos como o nazista desprezavam pressupostos científicos provenientes de cientistas judeus, como aconteceu com a relatividade de Einstein. É emblemático o exemplo da extinta União Soviética, que descartava ideias sobre ciências que tivessem relação com o que considerava burguês, desde a genética até a psicanálise.

No Brasil, especificamente, segundo Freire e Silva (2014), havia uma pressão para que ‘um dos lados’ fosse escolhido. Os Estados Unidos enviaram para o Brasil um de seus renomados cientistas, Arthur Compton, para que, de alguma forma, exercesse influência na comunidade científica. Por sua vez, tal iniciativa reforçaria essa influência junto ao governo de Getúlio Vargas (1882-1954). Compton participou de diversas atividades no Brasil; dentre elas, um congresso sobre Física de Partículas. Esta área estava em ascensão, uma vez que se estudavam os possíveis efeitos de partículas na produção de bombas para a guerra.

Além do caráter científico, havia também o político, que foi utilizado por Vargas como moeda de troca pelo apoio brasileiro às forças aliadas, que possibilitou a construção da Companhia Siderúrgica Nacional (CSN). Com o sucesso da produção da bomba no final da guerra, as partículas passaram a ser de grande interesse, tanto de cientistas quanto dos governos. A partir desta época, houve a necessidade de explicação e organização das partículas que estavam sendo detectadas, bem como dos novos fenômenos observados. Estudos nessa área foram intensivos durante o conflito; os resultados, no entanto, apareceram somente no pós-guerra. Tentativas de se colocar o Brasil como uma nação que detinha aplicações nucleares foram frustradas pelos EUA (SCHWARTZMAN, 1989).

Esse momento é um exemplo de que a ciência não é imparcial, e que, por vezes, interesses particulares fazem surgir novos estudos. A guerra polarizou a ciência de tal forma que os melhores cientistas foram requisitados para trabalhar junto ao governo dos EUA. Ainda assim, podemos dizer que foram obtidos novos caminhos dentro da comunidade científica. A ciência é, de fato, parcial, e depende fundamentalmente das condições políticas e sociais de cada época.

3.5.1 O Mundo das Partículas

Na década de 1950, a descoberta de partículas feitas em grandes altitudes deixou de ser a principal forma de detecção, passando agora aos grandes aceleradores, construídos a partir desta década. Muitas partículas foram identificadas, dentre elas, K^+ , Λ , K^0 , \bar{p} (nenhuma delas elementar). Com isso, os cientistas precisaram definir propriedades que pudessem identificar tantas partículas. Dentre as propriedades, podemos citar: *conservação de energia e massa*, *carga* e *spin*. No entanto, ainda faltava uma propriedade que pudesse deixar as partículas mais distinguíveis, já que algumas delas se comportavam fora das previsões teóricas (comportamentos estranhos).

Em 1953, Murray Gell-Mann (1929-) propôs um novo número quântico, o qual batizou de “estranheza” (propriedade da matéria, análoga à carga elétrica, que algumas partículas têm e outras não), e postulou que este número seria conservado nas interações fortes, mas não nas fracas. Essas partículas estranhas eram produzidas aos pares, e seu decaimento em outras partículas carregadas sempre geravam na câmara de bolhas dois traços na forma de V . Anos depois, Gell-Mann ainda traria uma nova contribuição para a Física de partículas, organizando-as no que foi chamada “classificação octal”. De certo modo, ele fez para as partículas elementares o que Dmitri Mendeleiev (1834-1907) fez aproximadamente um século antes para os elementos químicos, quando criou a tabela periódica. (MOREIRA, 2007).

3.5.2 Os Quarks

Mais uma vez voltamos ao problema da estabilidade nuclear. Já se conheciam os efeitos previstos pela partícula de Yukawa; no entanto, necessitava-se ainda de um modelo que explicasse adequadamente essa interação. Isso ocorreu na década de 1960, quando Murray Gell-Mann e George Zweig (1937-) concluíram, independentemente, que alguns padrões da classificação octal resultariam naturalmente se algumas partículas já conhecidas (próton, nêutron, etc.) fossem formadas por partículas ainda mais fundamentais, as quais ficariam conhecidas como quarks. Gell-Mann já era um renomado professor na Caltech quando propôs sua teoria.

Ao observarmos a estruturação do modelo octal, podemos fazer uma analogia com a tabela periódica. Tal estrutura, proposta por Mendeleiev, continha várias lacunas que seriam, posteriormente, locadas por novos elementos. Assim acontecia com a classificação octal, que

possuía várias lacunas. Zweig chegou a essa mesma proposta, independentemente, e deu o nome de “ases” às partículas, mas o nome cunhado por Gell-Mann foi o utilizado pela comunidade (BRENNAN, 2003).

Atualmente, aceita-se que os quarks, assim como os elétrons, são as partículas verdadeiramente elementares da matéria, uma espécie de tijolos básicos para a construção de toda a matéria, inclusive dos nêutrons e prótons (MOREIRA, 2007, p.6). Em 1964, quando os quarks ainda eram entidades hipotéticas, uma vez que eram criação do cientista, e este precisava explicá-la de forma a atender aos novos modelos que se encaixavam na teoria octal, Gell-Mann, ainda não tão confiante sobre sua teoria, submeteu um artigo em um periódico não tão exigente (BRENNAN, 2003).

Alguns problemas permeavam a teoria dos quarks, pois eles tinham propriedades muito peculiares, como, por exemplo, a carga, que seria fracionária ($\pm 1/3e$, $\pm 2/3e$). Não existiam partículas livres – esta propriedade, conhecemos, hoje, como confinamento –, e a formação básica sempre seria em pares (quark-antiquark), que formam os mésons e tríades de quarks, que formam os bárions (próton e nêutron). Em sua teoria original, era prevista a existência de três tipos ou sabores (outra propriedade que não mantém relação com o significado do cotidiano), de quarks - o quark *up* (*u*), o quark *down* (*d*) e o quark estranho (*s*). Para a construção da matéria comum são necessários apenas os quarks do tipo *u* (com carga $2/3$) e *d* (com carga $-1/3$) (BRENNAN, 2003).

A partir desse modelo, podemos entender agora que o próton é do tipo *uud* ($2/3 + 2/3 - 1/3 = +1$), e o nêutron, do tipo *udd* ($2/3 - 1/3 - 1/3 = 0$). O modelo parecia ótimo na época, excetuando-se um problema quanto às distribuições possíveis de Pauli, o que violava o seu princípio de exclusão (dois férmions idênticos jamais podem ter os mesmos números quânticos ou ocupar o mesmo estado no espaço de configuração). Um exemplo seria o bárion ômega menos (Ω^-), que tem sua estrutura do tipo *sss* (BRENNAN, 2003).

Para resolver essa questão, em 1964, Yoichiro Nambu (1921-2015) e Moo-Young Han (1934-2016) propuseram um novo número quântico: a cor (outra propriedade que não mantém relação com o significado do cotidiano). Agora, temos os quarks em três sabores diferentes e também em três cores diferentes: vermelho, azul e verde. Assim, o princípio de exclusão de Pauli continua valendo, e a nossa partícula é formada na realidade por *Svermelho*, *Sazul* e *Sverde* (BRENNAN, 2003).

Em 1973, James Daniel Bjorken (1934-) e Sheldon Lee Glashow (1932-) propuseram a existência de outro férmion fundamental: o quark charmoso, que foi verificado experimentalmente apenas em 1976. Passamos a ter agora 04 (quatro) tipos de quarks: *up* (*u*),

down (d), *strange* (s) e *charm* (c). Em 1977, foi a vez da descoberta do bottom (b), por pesquisadores do Fermilab. O quinto quark e sua antipartícula, que apresentaremos mais à frente, era bem maior que qualquer outra partícula já descoberta. Somente em 1995, também no Fermilab, ocorreu a descoberta do último quark – o top (t). Essa partícula é da ordem de um átomo de ouro, e só existiu no início da big bang. Atualmente, só podemos obtê-la graças aos grandes aceleradores de partículas de alta energia; no entanto, apenas por um pequeno intervalo de tempo (BRENNAN, 2003).

Na descrição acima, é perceptível que os cientistas buscaram cobrir lacunas nas teorias, e isso ocorre ainda hoje. É trabalho dos cientistas manter a busca por novas propostas e explicações para as novas teorias, bem como para aquelas já existentes. Mais uma vez o estudo intensivo e a criatividade apresentam-se como essenciais no campo das ciências. Gell-Mann, mesmo tendo convicção da importância de sua pesquisa, hesitou em publicá-la em um periódico de maior prestígio; isso demonstra a natureza do ser humano, explicitando que os cientistas não são seres de outro mundo. São pessoas sujeitas a toda e qualquer situação emocional.

3.5.3 Uma Questão de Simetria

Considerando-se o Modelo Padrão (MP), era perceptivo que as partículas pareciam atuar aos pares, tendo sua partícula e seu neutrino, como era o caso do elétron e do neutrino do elétron. A busca por essas partículas perdurou durante algum tempo, com constataremos a seguir. Em 1962, foi a vez da observação do neutrino do múon (ν_μ) por Leon Lederman (1922-), Melvin Schwartz (1932-2006) e Jack Steinberger (1921-), o que já era previsto desde 1940. Em 1975, Martin Perl (1927-2014), observando o processo no qual elétrons e pósitrons aniquilam-se, descobriu o tau (τ), que iniciou a terceira geração de léptons, que já conta com (e^-, ν_e) (μ, ν_μ). Como seus colegas, o tau também apresenta carga positiva e negativa.

Para completar o MP, ainda era preciso descobrir o neutrino do tau, pois o elétron e o múon já os possuíam. A busca se iniciou em 1987. Após vários experimentos, um deles que passava um trilhão de neutrinos, e somente um deles poderia interagir com um núcleo de ferro e se transformar em um tau que vive apenas por 300 fs (femtosegundos – 10^{-15} s), foi o suficiente para garantir a presença do neutrino do tau. O experimento registrou seis milhões de eventos, e somente em 4 deles a partícula apareceu.

3.5.4 Antipartículas

São partículas com massa e spin idênticos aos da matéria comum, mas com cargas opostas. A antimatéria é formada pelas antipartículas, como, por exemplo, o antipróton, antineutrino, antielétron (pósitron) etc. Partículas neutras, como os fótons e os mésons π_0 , são iguais às suas próprias antipartículas (não é uma regra geral). A representação é idêntica à partícula, mas com uma barra acima do símbolo (\bar{p} , \bar{e} , $\bar{\mu}$, etc.). Como na maioria dos casos, as partículas são primeiramente previstas para depois serem detectadas. Para as antipartículas temos a mesma sequência. O pósitron foi quem inaugurou as antipartículas.

Em 1928, Paul Dirac (1902-1984) escreveu uma equação que descrevia o comportamento de um elétron movendo-se a uma velocidade relativística. Essa Equação apareceu em seu artigo *The quantum theory of the electron*, de 2 de janeiro de 1928. Sua equação colocou um problema, que possibilita uma analogia com a matemática básica. Considerando a equação $X^2 = 4$, sabemos que temos duas soluções possíveis ($x = 2$ e $x = -2$); assim, a equação de Dirac poderia, também, ter duas soluções, uma para um elétron com energia positiva, e outra para negativa. A interpretação dada por Dirac foi que, para cada partícula existente, há uma antipartícula exatamente igual, mas com carga oposta. Em sua conferência no Nobel de 1933, Dirac explicou suas conclusões, e especulou a existência de um universo completamente novo, feito de antimatéria (CERN).

Em seu discurso, na sua premiação, Dirac (1933, p.325, tradução nossa) explica:

Se aceitarmos a visão de simetria completa entre carga elétrica positiva e negativa, no que diz respeito às leis fundamentais da natureza, devemos considerá-la mais como um acidente que a Terra (e presumivelmente todo o sistema solar) contém uma preponderância de elétrons negativos e prótons positivos. É bem possível que para algumas das estrelas seja o contrário, essas estrelas sendo construídas principalmente de pósitrons e prótons negativos. Na verdade, pode haver metade das estrelas de cada tipo. Os dois tipos de estrelas mostrariam exatamente os mesmos espectros, e não haveria maneira de distingui-los pelos métodos astronômicos atuais.

Somente em 1933, ocorreu a detecção do pósitron por Carl David Anderson, corroborando a previsão teórica de Dirac. A afirmação final do Dirac levou a comunidade a concluir que existem antipartículas; isso foi corroborado com a “detecção” das antipartículas, que lhe rendeu o prêmio Nobel de 1936 (MOREIRA, 2009).

3.5.5 Partículas Virtuais – Os Bósons Mediadores

Segundo Moreira (2011), partículas reais se deslocam de um ponto a outro, e fazem “clicks” em contadores Geiger. Partículas Virtuais não fazem isso. São constructos lógicos que, de alguma forma, são criadas tomando “emprestada” a energia do campo. A duração desse evento segue o Princípio da Incerteza de Heisenberg, o que significa que quanto maior a energia, menor o tempo de existência dessa partícula.

Ainda na década de 1960, Sheldon Glashow (1932-), Abdus Salam (1926-1996) e Steven Weinberg (1933-) propuseram a teoria de unificação, que faz a junção da força fraca e da força eletromagnética, chamada de *Eletrofraca*. Dentro dessa nova teoria teremos interações por quatro partículas chamadas bósons: W^+ , W^- , Z^0 e γ . Os três primeiros são massivos, e o quarto, como já sabemos, é o fóton que não tem massa. A confirmação experimental dessas novas partículas ocorreu somente em 1983. A experiência verificou a colisão de um próton e um antipróton a fim de procurar os seguintes decaimentos:

$$W^+ \rightarrow e^+ + \bar{\nu}_e \quad \text{e} \quad W^- \rightarrow e^- + \nu_e$$

(Onde e^+ é o pósitron a antipartículas do elétron)

Dentro do universo de mais de um milhão de dados (recolhidos durante 30 dias), foram encontrados 05 deles que comprovavam a existência do bóson mediador W^+ . Em 1983, também foi confirmada a existência do Z^0 , observando outros decaimentos:

$$Z^0 \rightarrow e^+ + e^- \quad \text{e} \quad Z^0 \rightarrow \mu^+ + \mu^-$$

Ainda em 1983, começou a construção de um túnel no CERN, de 27 quilômetros de circunferência, que foi terminado somente em 1989, chamado de Large Electron Positron ring (LEP⁸), logo na primeira tomada de dados em 8 minutos se identificou o Z^0 .

Os glúons, partículas que intermediam a força forte, têm ligação direta com o número quântico cor, que é uma espécie de carga na qual se origina a força forte. Desse estudo nasceu a teoria batizada de Cromo Dinâmica Quântica (QCD). Sabe-se que a força forte é transmitida por oito partículas sem massa, eletricamente neutras e de spin 1 (glúons), que também entram

⁸ O LEP foi desmontado no ano 2000 para dar lugar ao LHC.

no modelo padrão como partículas mediadoras, neste caso, da força forte (AVANCINI e MARINELLI, 2009).

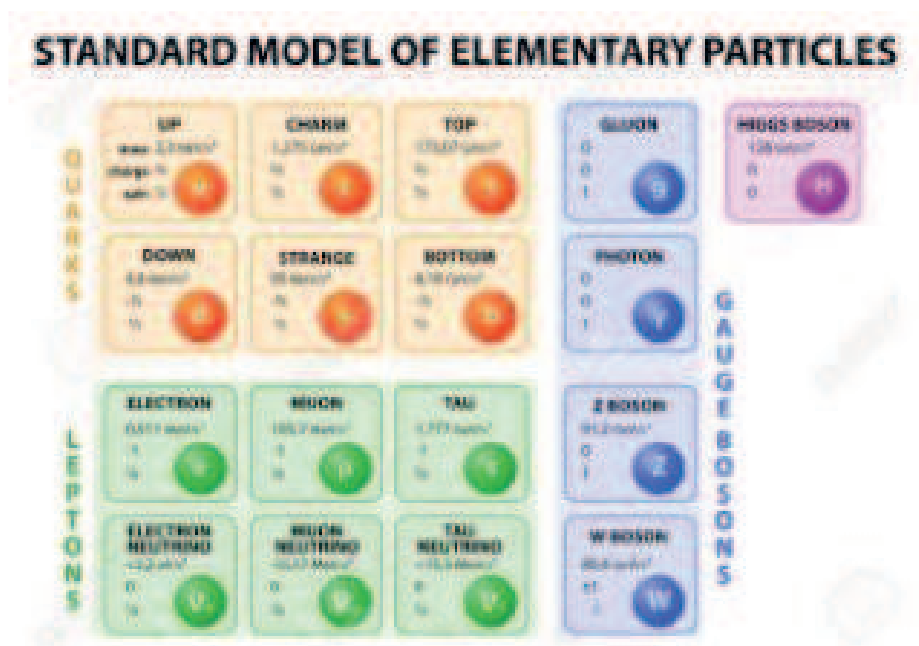
3.5.5.1 O Bóson de Higgs

Em 04 de julho de 2012, o Conselho Europeu de Investigação Nuclear, conhecido como a sigla CERN, anunciou a detecção de uma nova partícula, o Bóson de Higgs, prevista em 1964⁹. Sua massa estava compreendida entre 125 e 126 GeV, e decaiu em pares de fótons (pode ter spin 0 ou 2), que são propriedades previstas para o Higgs do MP.

Segundo o MP, o Higgs é uma partícula elementar bosônica (spin inteiro) que seria responsável pela massa de todas as outras partículas (Mecanismo de Higgs).

3.6 O MODELO PADRÃO

Figura 13 - O Modelo Padrão¹⁰



Fonte: <https://goo.gl/fPhEdw>

Na figura acima, temos a representação resumida em uma tabela das partículas fundamentais. Os constituintes básicos da matéria são chamados de: quarks, léptons e bósons mediadores. Para cada partícula há uma correspondente antipartícula.

⁹ A história do Higgs é bastante interessante e temos hoje um documentário (Particle Fever - <https://www.youtube.com/watch?v=EtHX1JvPmhw>) feito mostrando como foi a busca por essa partícula prevista em 1964 pelo físico inglês Peter Higgs (1929-).

¹⁰ As cores são apenas ilustrativas e não tem relação com a carga Cor.

	Partículas	Antipartículas	Total
Léptons	$e, \mu, \tau, \nu_e, \nu_\mu, \nu_\tau$ (6)	$e^+, \mu^+, \tau^+, \bar{\nu}_e, \bar{\nu}_\mu, \bar{\nu}_\tau$ (6)	12
Quarks	u, d, s, c, b, t (Cada quark pode ter 3 cores) (3x6=18)	$\bar{u}, \bar{d}, \bar{s}, \bar{c}, \bar{b}, \bar{t}$ (18)	36
Mediadoras	$\gamma, W^+, W^-, Z^0, g_1, g_2, \dots, g_8$ (12) e H	As antipartículas são as mesmas que as partículas	13
Total			61

Tabela 1 – fonte <http://www.sbfisica.org.br/fne/Vol6/Num1/charme.pdf>

3.6.1 Propriedades

A propriedade de uma partícula é o que a difere das outras. Essas propriedades são: massa, spin, carga elétrica, número leptônico, número bariônico, estranheza etc. Na figura 13, podemos observar que cada partícula tem em seu espaço algumas dessas propriedades descritas como, por exemplo, o elétron – massa (0,511 MeV/c²), carga (-1) e spin (1/2).

Partículas com spin semi-inteiro (1/2, -1/2) são chamadas de fermiônicas (a família dos férmions está dividida entre quarks e léptons), enquanto aquelas que têm spin inteiro (0, 1, 2) são chamadas de bosônicas (partículas mediadoras). Os primeiros, à esquerda e acima, na figura 13, são os quarks (u, d, s, c, b, t); cada um deles tem sua antipartícula ($\bar{u}, \bar{d}, \bar{s}, \bar{c}, \bar{b}, \bar{t}$). Atualmente há seis tipos de quarks, denominados sabores, e cada quark possui a chamada carga cor, totalizando assim 18 (3x6) partículas.

As partículas, à esquerda e abaixo, na figura 13, são os léptons. Elas estão sujeitas às forças eletromagnética, fraca e gravitacional. Existem em seis tipos ou sabores ($e, \mu, \tau, \nu_e, \nu_\mu, \nu_\tau$), o elétron, o tau, o múon e seus respectivos neutrinos. Os neutrinos são partículas que ainda desafiam os estudos por não apresentarem cor ou carga elétrica, e não interagem através da força forte ou eletromagnética, apenas através da força gravitacional, e são difíceis de ser detectados.

Os bósons mediadores (à direita, na figura 13) são partículas elementares de spin inteiro, que intermediam as interações entre férmions. Os bósons W⁺, W⁻ e Z⁰ intermediam a interação fraca; os fótons são mediadores da força eletromagnética; os glúons são mediadores da força forte; e o Higgs é um mediador-gerador de massa a todas as outras partículas.

3.6.2 As Interações

No estudo da Física de Partículas, as forças de interação eram conhecidas e separadas por nível de atuação. A força nuclear forte, ou simplesmente força forte, é a força que mantém o núcleo dos átomos unidos sem se desintegrar. Essa força é de ação a curta distância, e suas partículas mediadoras são os glúons. A força eletromagnética é aquela que foi unificada por James C. Maxwell (1831-1879), no século XIX.

No mundo microscópico das partículas essa teoria não pode deixar de levar em consideração os efeitos de novas teorias (mecânica quântica e relatividade); foi então que Richard Feynman (1918-1988), Shin'ichiro Tomonaga (1906-1979) e Julian Schwinger (1918-1994) construíram uma nova teoria eletromagnética na década de 1940. Essa teoria é conhecida como Eletrodinâmica Quântica (QED), a qual explica vários fenômenos eletromagnéticos. Sua partícula mediadora é o fóton.

A força nuclear fraca, ou simplesmente força fraca, é a responsável por vários processos, como, por exemplo, o processo de geração da energia solar, o decaimento radioativo de um núcleo, onde ela é responsável pela quebra do nêutron que decai em um próton, um elétron (geralmente chamado de partícula beta) e um neutrino. Suas partículas mediadoras são W^+ , W^- e Z^0 . A força gravitacional é a nossa velha conhecida, inicialmente proposta por Isaac Newton (1643-1727) e aprofundada por Einstein. Ela atua a qualquer distância, e é um dos problemas na grande unificação das forças. Sabemos que no núcleo essa força deveria ser praticamente infinita (uma vez que seu valor é inversamente proporcional ao quadrado da distância); no entanto, sabemos que a força forte domina as interações nucleares. Sua partícula intermediadora é o chamado gráviton, e ainda não foi detectado (PIMENTA *et al.*, 2013).

3.7 AS GRANDES MÁQUINAS DA FÍSICA

O aumento das pesquisas no campo da Física de Partículas se deu com a criação de máquinas cada vez maiores, as quais pudessem gerar mais energia seguindo as previsões de possíveis detecções. Nas próximas seções, apresentaremos o histórico das primeiras máquinas de detecção até a maior máquina já construída pelo homem.

3.7.1 Um Breve Histórico

Charles Thomson Ress Wilson (1869-1959), em 1911, estudava intensivamente a conduta de íons nos gases. Como meteorologista, seu principal objeto de trabalho eram as nuvens; por este motivo, idealizou uma maneira de expandir ar úmido em recipientes fechados. Em seus estudos, ele propunha que se um feixe de partículas atravessasse um vapor super-resfriado, este se condensaria em gotículas de líquido em torno das partículas. A partir dessa hipótese, criou-se a câmara de nuvens (ou câmara de Wilson). Por esse experimento, ele recebeu o prêmio Nobel de 1927 (PINHEIRO, 2015).

A câmara de Wilson foi substituída pela câmara de bolhas inventada por Donald Arthur Glaser (1926-2013). No começo da década de 1950, Glaser estava em um bar quando, ao abrir uma cerveja, e observar que ela borbulhava, intuiu que era possível utilizar algo análogo para detecção de partículas. Quando se alivia bruscamente a pressão exercida sobre o líquido no limite de ebulição, forma-se um grande número de bolhas, e, aumentando-se a pressão, as bolhas desaparecem.

Para dar prosseguimento à sua ideia, ele utilizou inicialmente éter etílico, e o manteve a uma temperatura acima do seu ponto de ebulição, mas impedido de ferver pela aplicação de uma pressão; obteve-se, então, um líquido superaquecido. Quando as partículas atravessavam o líquido, formavam-se bolhas ao longo da trajetória das partículas. Ele substituiu o líquido por Hidrogênio líquido, o que aumentou a eficiência de seu dispositivo. A vantagem da câmara de bolhas em relação à de Wilson foi o aumento em cerca de mil vezes a densidade da câmara, possibilitando assim um maior número de colisões. Foi utilizando uma câmara de nuvens que Carl Anderson, em 1932, detectou o pósitron, e, em 1936, ganhou o prêmio Nobel (BASSALO, [200?]).

3.7.2 Os Aceleradores

Cerca de 30 mil aceleradores de partículas existem hoje no mundo, dentre eles, o maior atualmente é o Large Hadron Collider (LHC), do CERN. Explanaremos um pouco da história desse aparelho, que é a maior máquina construída pelo homem.

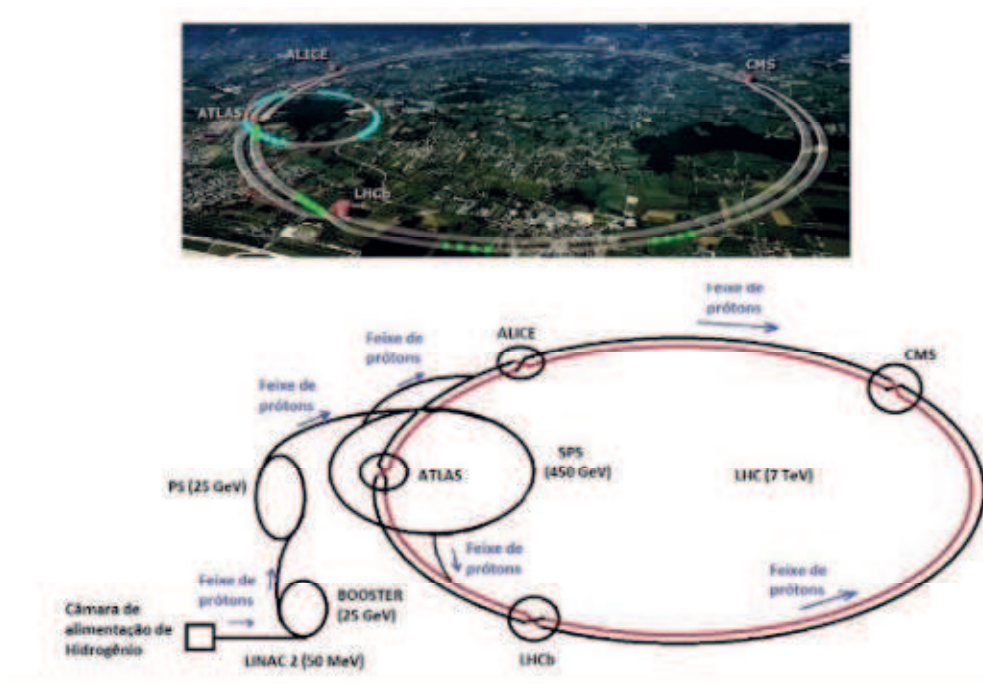
A construção começou na década de 1980, com o intuito de se obter mais energia para as colisões, já que existiam outros aceleradores disponíveis, mas que ofereciam menos energia. Sua estrutura é composta por um anel de 27 km de extensão e 8 km de diâmetro. O LHC faz parte de outros experimentos do CERN, e este, em específico, foi aprovado em 1994,

tendo seus próprios experimentos (CMS, ATLAS, ALICE e LHCb). A inauguração foi feita em 2008, mas logo o LHC teve que passar por reparos, retornando ao seu funcionamento em 2009 (CERN, [200?]).

3.7.2.1 Funcionamento do LHC

No esquema da imagem abaixo (Figura 14), o hidrogênio é colocado numa câmara de alimentação, onde os prótons são separados dos elétrons, e então os prótons se dirigem ao LINAC 2 (Acelerador Linear), que fornece a cada próton 50 MeV de energia - nesta fase os prótons atingem cerca de 1/3 da velocidade da luz (C). Em seguida, os prótons passam para o Booster, um acelerador circular de 157m de diâmetro, onde chegam a 91 % de C, adquirindo 25 GeV de energia. Em seguida, passam para o PS (Próton Síncrotron), com 628m de circunferência, adquirindo 25 GeV, e chegando a 99,93% de C. A próxima transição é para o SPS (Super Próton Síncrotron), com 7 km de comprimento, onde adquirem 450 GeV de energia, chegando a 99,9998% de C. Agora, em sua última fase de transição, os prótons passam ao LHC, onde chegarão próximos a 7 TeV de energia para cada próton, e chegando a 99,9999991% de C. A energia dessa colisão será próximo de 14 TeV (CERN, [200?]).

Figura 14 - LHC

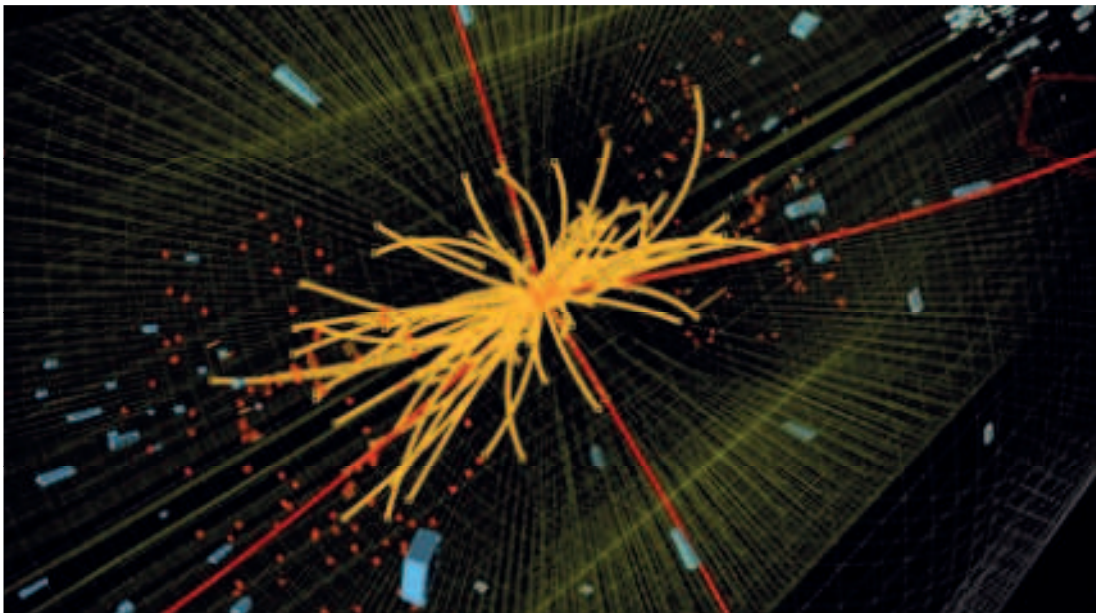


Fonte: Foto - <https://www.sprace.org.br/sites/sprace.org.br/files/lhc.jpg> ; o esquema - fonte própria

Nos aceleradores circulares, as partículas se curvam graças a campos magnéticos extremamente fortes, e esses mesmos campos fazem com que os prótons se aproximem uns dos outros, colimando o feixe. Esses grandes ímãs estão em toda a extensão do LHC, e trabalham a uma temperatura de $-271,3^{\circ}\text{C}$ (CERN, [200?]).

As vantagens de uma máquina desse porte são inúmeras, talvez nem saibamos ainda de futuras vantagens que virão. Atualmente, podemos dar crédito ao CERN por pesquisas como: terapia contra o câncer, incineração de resíduos nucleares, geração de energia, World Wide Web (WWW) e imagem por Ressonância Magnética Nuclear.

Figura 15 - Colisão próton-próton na experiência CMS produzindo quatro múons de alta energia (linhas vermelhas).



Fonte: <http://public.web.cern.ch/public/features-archive/>

O evento acima mostra as características esperadas do decaimento de um bóson de Higgs, mas também é consistente com os processos físicos padrão do Modelo de Fundo (Imagem: CMS).

3.8 CONSIDERAÇÕES SOBRE O CONTEÚDO

O conteúdo apresentado tem como um de seus objetivos reformular o espaço que é utilizado somente para a apresentação da eletrostática. Utilizando o fato de termos que

apresentar conceitos como carga elétrica, campo e potencial, podemos nos aprofundar em Física de Partículas, proporcionando uma nova visão aos alunos. A Física de Partículas é um assunto ligado à Física Moderna e a conceitos como a Mecânica Quântica. O enfoque limitou-se ao âmbito histórico das detecções e proposições feitas pelos cientistas e às situações sociais e políticas às quais eles estavam sujeitos em suas épocas.

Discussões a respeito de disputas e controvérsias são destacadas para dar aos alunos noções que demonstram a face humana do cientista, fazendo com que a percepção de construção científica seja abordada como sendo uma construção humana e sujeita aos problemas sociais em seu tempo.

4 PROPOSTA DE TRABALHO

Neste capítulo apresentamos a proposta de trabalho desenvolvida em uma sala de aula do terceiro ano do Ensino Técnico de Edificações, do campus Guarabira, do Instituto Federal da Paraíba. A proposta foi sofrendo alterações ao longo da aplicação de um projeto-piloto já desenvolvido e apresentado em dois Simpósios: o 15º Simpósio Nacional de História da Ciência e Tecnologia – 2016, em Florianópolis e o XXII Simpósio Nacional de Ensino de Física – 2017, em São Carlos (SAMPAIO e SILVA, 2016; SAMPAIO *et al*, 2017).

Relatamos o projeto-piloto; em seguida, apresentamos a nova proposta junto ao novo tema – Física de Partículas e as alterações sofridas em relação ao trabalho anterior.

4.1 O PROJETO-PILOTO

Inicialmente, como um projeto no campus Guarabira do Instituto Federal da Paraíba, escolheu-se uma equipe de 05 alunos de diferentes áreas técnicas para compor o grupo da pesquisa. A escolha não foi feita diretamente pelo professor, mas foi dada aos alunos de todas as salas a opção de participar deste projeto. Rapidamente, foi obtida a disposição destes 05 alunos em colaborar com o projeto. Os alunos que participaram tinham entre 16 e 18 anos, e cursavam a 2ª e a 3ª séries do Ensino Médio Integrado. A escolha de um número limitado de alunos se tornou um trabalho prévio do que se pretendia fazer dentro de uma sala de aula com mais alunos envolvidos.

Dentre os alunos foram distribuídas tarefas para desenvolvimento. Nesse momento, os referidos alunos aprenderam, juntamente com o professor, a construir uma animação. O professor do projeto buscou informações a respeito de como construir animações. Atualmente, verificamos na Internet uma série de vídeos e sites específicos sobre animação em 2D, 3D etc. Dentre as opções, optou-se pela animação em 2D, por ser mais prática e acessível, e por não necessitar de tantas ferramentas para o seu desenvolvimento. Juntamente a isso, pensou-se em buscar um programa gratuito que possibilitasse aplicar o projeto. Dentre muitos, foi escolhido o programa Inkscape 0,91¹¹ para a produção dos desenhos vetorizados.

Nas pesquisas a respeito da animação foi definida uma sequência inicial de trabalho que era:

¹¹ Pode ser acessado gratuitamente em <https://inkscape.org/pt/release/0.91/>

Etapa 1: produção do texto inicial para narração – episódio histórico; **Etapa 2:** produção de cenas a partir do texto inicial; **Etapa 3:** desenhos à mão das cenas; **Etapa 4:** vetorização dos desenhos; **Etapa 5:** dar movimento básico aos desenhos já vetorizados; **Etapa 6:** a animação propriamente dita que é a junção dos desenhos já movimentados e da narração.

4.1.1 Etapa 1 – Produção do Texto Para a Animação - Episódio Histórico

Um dos alunos ficou encarregado da produção das cenas. A escolha se baseou na afinidade que o mesmo possui por escrita de textos. Ele desejou trabalhar em sua construção e divisão das cenas. Foram buscados textos biográficos em português de Torricelli (GLIOZZI, 2007), a tradução da obra de Torricelli em português (BISTAFA, 2014), bem como uma análise do mesmo para o caso da cinemática (MACÊDO, 2010). Nesse sentido, a existência de fontes primárias e secundárias em português auxiliou em grande parte o trabalho do professor e dos alunos, que não tiveram que elaborar o episódio histórico a partir apenas de fontes em outros idiomas.

4.1.2 Etapa 2 - A Divisão de Cenas

A partir do texto produzido anteriormente, um dos alunos do projeto ficou encarregado de separar os momentos importantes que seriam transformados em desenho, gerando uma sequência para a próxima etapa do projeto. O aluno que participou da produção do texto trabalhou da melhor forma, colocando sua impressão sobre como poderiam ser divididas as cenas, facilitando o trabalho do próximo colega que iria desenhar as cenas. O professor-tutor fez pequenas alterações pensando em como poderiam ficar as cenas. Foi recomendado ao aluno que seriam necessárias cenas que resumissem partes do roteiro inicial, mas que não perdessem a identidade daquilo que foi escrito, e que pudessem transferir a quem assistisse a impressão real do texto.

4.1.3 Etapa 3 - O Desenho das Cenas

Com o texto definido e as cenas divididas, o próximo passo era a produção dos desenhos que ficou a cargo de outro aluno, o qual iria produzir o storyboard (desenhos das cenas uma a uma como história em quadrinhos). Esse aluno foi escolhido para esta tarefa por

ter mais habilidade em desenhar dentre os demais. Nessa etapa, o professor discutiu com o aluno como poderiam pesquisar as imagens dos filósofos naturais envolvidos na animação. A partir disso, foram feitos desenhos das cenas de forma simplificada, as quais posteriormente ganhariam movimentos. Os desenhos foram elaborados tanto pelo aluno quanto pelo professor. Foram discutidas as formas de apresentação dos envolvidos na história com base em pesquisas de suas imagens, e deixando sempre um caráter engraçado nos desenhos.

4.1.4 Etapa 4 - Vetorização dos Desenhos

Nesta etapa, os desenhos foram passados à equipe restante (03 alunos), responsável pela vetorização. Antes do início da produção, o professor-tutor estudou o programa selecionado (Inkscape 0,91) para poder ensinar as ferramentas básicas aos alunos.

A animação¹² foi concluída pelo grupo de alunos ligados ao curso técnico de informática juntamente com o professor. As dificuldades aparecem, mas foram facilmente transpostas quando pensadas em conjunto. Esse projeto gerou a possibilidade de se produzir uma animação juntamente com toda uma turma. A partir dele, foram previstas as etapas e eventuais problemas a serem sanados no decorrer da produção. Nos tópicos a seguir, veremos a nova proposta.

4.2 O NOVO PROJETO

Aqui são apresentadas as fases do projeto (Tabela 2) e os objetivos que se têm como prioridade. A Física de Partículas será inserida em meio ao conteúdo de eletrostática lecionado para a terceira série do Ensino Médio. A tabela está dividida em encontros, tempo do encontro, tema, conteúdo, possíveis discussões e possíveis experimentações.

As possíveis discussões são colocadas de forma que professor possa utilizar as discussões apresentadas no capítulo anterior. As possíveis experimentações são importantes, e sugerimos ao professor planejá-las antecipadamente de acordo com as condições de cada escola e de cada turma. Mesmo que não seja possível executar um experimento, é interessante que sejam passados vídeos e/ou animações sobre o que está sendo discutindo, uma vez que temos muitos assuntos abstratos e de difícil interpretação.

¹² Animação produzida pelos alunos - <https://www.youtube.com/watch?v=5jKiF-jVFSc>

4.2.1 Proposta de sequência de aulas

Objetivo geral: Apresentar o conteúdo de eletrostática, fazendo uma junção com Física de Partículas.

Objetivos específicos: Apresentar as partículas do mundo subatômico aos alunos, mostrando a gama de partículas detectadas desde o século passado, que continuam sendo estudadas neste século; entender a formação básica da matéria e suas menores partículas, hoje estudadas, bem como os benefícios trazidos pela pesquisa no cotidiano.

Eletrostática e Física de Partículas			
Encontro:	1	Tempo:	2 aulas
Tema:	Do que são feitas as coisas?		
Conteúdo:	Prótons, elétrons e nêutrons – Quantidade de carga.		
Aula:	<p>Começa-se utilizando o tema como pergunta inicial. É possível que a resposta mais comum seja: por átomos, professor. A partir dessa resposta, sugere-se ao professor que questione acerca de qual é a representação de átomo para os alunos e o que eles conhecem a respeito. É interessante que se peça aos alunos que desenhem a representação conhecida. Passa-se à apresentação do conteúdo por slides (1 a 13 no apêndice A) ou quadro de acordo com o que se tem disponível.</p> <p>Separar alguns minutos ao final da aula para que os alunos produzam um texto em conjunto sobre o que foi visto na aula, objetivando a montagem do roteiro narrativo para a animação. Isso pode ser feito mais rapidamente apresentando palavras-chave e com elas os alunos podem ligar as mesmas pensando nos conceitos discutidos.</p> <p>Lista de palavras:</p>		

	<p>Levar para aula pedaços de papel seda e distribuir para alguns alunos, pedindo aos outros que observem, sugerindo aos mesmos que, se quiserem, podem tentar o experimento. Ao aluno que recebeu o papel pedir que o pique em pedaços bem pequenos e posteriormente que pegue uma caneta e atrite em seu cabelo; logo após, que aproxime dos pedaços de papel.</p> <p>Os alunos verão que os pedaços de papel são atraídos pela caneta.</p> <p>Pedir a eles que formulem uma explicação para esse fenômeno, e discutir com os mesmos sobre as possibilidades e os possíveis erros. Passa-se então à apresentação do conteúdo por slides (14 a 29 no apêndice A).</p> <p>Após a introdução da força elétrica, apresentar um modelo de dois prótons¹³ e questionar a estabilidade atômica - “Como podemos deixar estável esse modelo?” Espera-se que os alunos proponham uma nova força que mantenha a estabilidade, que será discutida mais à frente.</p> <p>Reservar alguns minutos ao final da aula para que os alunos produzam um texto em conjunto sobre o que foi visto na aula, objetivando a montagem do roteiro narrativo para a animação. Isso pode ser feito mais rapidamente apresentando palavras-chave, e com elas os alunos podem ligar as mesmas pensando nos conceitos discutidos.</p> <p>Lista de palavras:</p> <table style="margin-left: auto; margin-right: auto; text-align: center;"> <tr> <td></td> <td>Du Fay</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>Força elétrica</td> <td>Atrito</td> </tr> <tr> <td>Indução</td> <td>Repulsão</td> <td>Mesmos sinais</td> </tr> <tr> <td>Contato</td> <td>Eletroscópio</td> <td>Lei de Coulomb</td> </tr> <tr> <td>Sinais opostos</td> <td>Benjamin Franklin</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Processos de eletrização</td> <td>Superposição</td> <td>Atração</td> </tr> </table>		Du Fay			Força elétrica	Atrito	Indução	Repulsão	Mesmos sinais	Contato	Eletroscópio	Lei de Coulomb	Sinais opostos	Benjamin Franklin		Processos de eletrização	Superposição	Atração
	Du Fay																		
	Força elétrica	Atrito																	
Indução	Repulsão	Mesmos sinais																	
Contato	Eletroscópio	Lei de Coulomb																	
Sinais opostos	Benjamin Franklin																		
Processos de eletrização	Superposição	Atração																	

¹³ Esse modelo pode ser construído com duas bolinhas de isopor e uma pequena mola entre elas. A espera da resposta poderemos apresentar como solução uma fita adesiva que segure por fora representando uma força que será discutida adiante.

	Os alunos podem se utilizar de todas essas palavras e de outras, se acharem necessário.		
Possíveis Discussões:	A capacidade criativa na ciência e a experimentação. Os processos de eletrização. A lei de Coulomb e a estabilidade nuclear.		
Possíveis Experimentações	Experimentos de eletrização.		
Encontro:	3	Tempo:	2 aulas
Tema:	Campos invisíveis.		
Conteúdo:	Campo Elétrico.		
Aula:	<p>Sugere-se revisar, rapidamente, o que foi visto na aula anterior sobre força elétrica.</p> <p>Iniciar a aula fazendo um experimento com pequenos ímãs e limalha de ferro (ou algum experimento equivalente caso haja acesso a um laboratório de Física). Demonstrar como são os tais campos invisíveis. É necessário denotar que este campo é o magnético gerado pelos ímãs e que o campo elétrico atua de forma semelhante com as cargas elétricas. Pedir aos alunos que tentem representar na forma de desenho o que estão vendo, e que discutam sobre os desenhos.</p> <p>Apresentar um vídeo mostrando o campo elétrico em cargas (cargas de sinais opostos - https://www.youtube.com/watch?v=N3UVw_Yuu7Y e cargas de mesmo sinal - https://www.youtube.com/watch?v=enxT-8isjfs).</p> <p>Passa-se então à apresentação do conteúdo por slides (30 ao 47, no apêndice A).</p> <p>Reservar alguns minutos ao final da aula para que os alunos produzam um texto em conjunto sobre o que foi visto na aula, objetivando a montagem do roteiro narrativo para a animação. Isso pode ser feito</p>		

	<p>mais rapidamente apresentando palavras-chave, e com elas os alunos podem ligar as mesmas pensando nos conceitos discutidos.</p> <p>Lista de palavras:</p> <p style="text-align: center;"> Faraday Campo Elétrico Einstein conceito canônico Força elétrica Blindagem eletrostática interação eletromagnética Compton Condutores eletrostáticos Maxwell efeito HBT Millikan fóton Linhas de campo Campo elétrico uniforme efeito compton efeito fotoelétrico </p> <hr/> <p>Os alunos podem se utilizar de todas essas palavras e de outras, se acharem necessário.</p>		
Possíveis Discussões:	<p>As forças invisíveis.</p> <p>Efeitos dos campos.</p> <p>Analogia ao campo magnético.</p> <p>A partícula de interação do campo eletromagnético – O fóton.</p> <p>O efeito fotoelétrico, o efeito Compton e as novas concepções do fóton.</p> <p>Apresentar as dificuldades e controvérsias.</p>		
Possíveis Experimentações	<p>Apresentar vídeos, fotos ou experimento de linhas de campo.</p>		
Encontro:	4	Tempo:	2 aulas
Tema:	Energia.		
Conteúdo:	Potencial Elétrico.		
Aula:	<p>Iniciar a aula retomando os conceitos apresentados, até então, sobre campo e força elétrica.</p> <p>Em seguida, apresentar uma sequência de 03 vídeos disponíveis na internet sobre potencial elétrico.</p>		

Potencial e força elétrica:

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

Pêndulo elétrico:

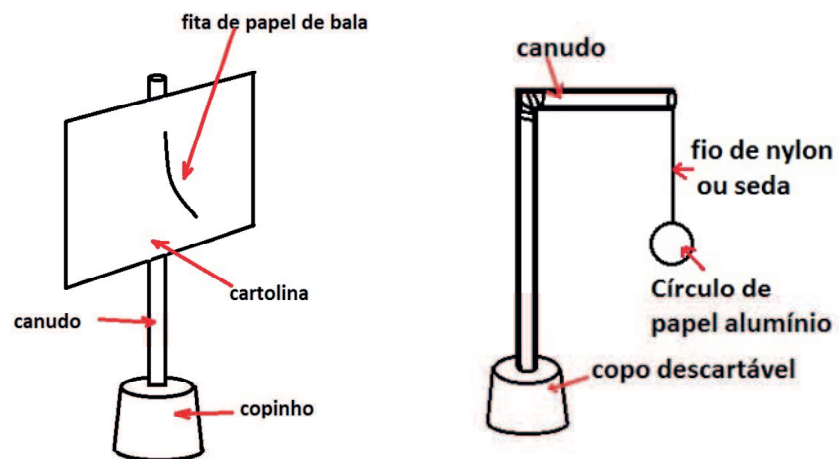
<https://www.youtube.com/watch?v=tU79DMOcHr8>

Versorium:

<https://www.youtube.com/watch?v=47hDMWh89RE>

Os vídeos demonstram as implicações de se ter uma diferença de potencial elétrico que está sendo estudado nesta aula.

Outra possibilidade de se iniciar a aula é com a construção de pêndulos eletrostáticos simples, com canudos, papel-alumínio, cartolina, fitas de papel de seda, fio de seda e pequenas bases de copos plásticos (figura 16). Assim, os próprios alunos podem interagir e tentar explicar o ocorrido em cada experimento.



cola-se fitas de papel nos dois lados da cartolina que agora é possível formar um cilindro.

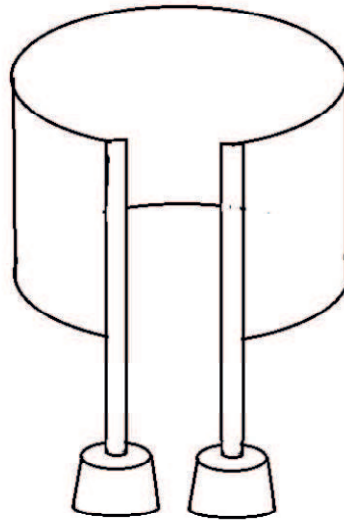


Figura 16 – Experimentos potencial elétrico – fonte própria

Passa-se então à apresentação do conteúdo por slides (48 ao 60, no apêndice A).

Reservar alguns minutos ao final da aula para que os alunos produzam um texto em conjunto sobre o que foi visto na aula, objetivando a montagem do roteiro narrativo para a animação. Isso pode ser feito mais rapidamente apresentando palavras-chave; os alunos podem ligar as mesmas pensando nos conceitos discutidos.

Lista de palavras:

Energia potencial	Criatividade
Decaimento Beta	César Lattes
Múon	Potencial elétrico
Superfícies equipotenciais	
Pauli	potencial de Yukawa
Píon	Neutrino

	Os alunos podem se utilizar de todas essas palavras e de outras, se acharem necessário.		
Possíveis Discussões:	Potencial Coulombiano. Potencial de Yukawa, o pión e a força forte. Decaimentos. A criatividade científica - neutrinos – previsão e detecção. Apresentar as dificuldades e controvérsias.		
Possíveis Experimentações	Apresentar uma pilha de limão		
Encontro:	5	Tempo:	2 aulas
Tema:	O mundo das partículas.		
Conteúdo:	Mésons, quarks, mediadores e interações.		
Aula:	<p>Iniciar a discussão perguntando aos alunos se a ciência é, de fato, neutra?</p> <p>Espera-se, nesse momento, que os alunos já tenham percebido que a ciência é construída por pessoas comuns e suscetíveis a erros como qualquer pessoa; espera-se igualmente que os mesmos coloquem expectativas em seus trabalhos (lembrar de Millikan x Fletcher).</p> <p>Passar então à apresentação do conteúdo por slides (61 ao 73, no apêndice A).</p> <p>Reservar alguns minutos ao final da aula para que os alunos produzam um texto em conjunto sobre o que foi visto na aula, objetivando a montagem do roteiro narrativo para a animação. Isso pode ser feito mais rapidamente apresentando palavras-chave; os alunos podem ligar as mesmas, pensando nos conceitos discutidos.</p> <p>Lista de palavras:</p>		

	<p>cargas fracionárias charmoso tau quarks tríades Partículas Virtuais classificação octal pares up pósitron Partículas nêutron antipartículas neutrinos próton Propriedades número quântico estranheza Física de Alta Energia strange léptons Simetria Carga cor top carga down múon bottom</p> <p>Os alunos podem se utilizar de todas essas palavras e de outras, se acharem necessário.</p>		
Possíveis Discussões:	<p>A segunda guerra mundial.</p> <p>Novas propriedades da matéria.</p> <p>Quarks, simetria, modelo padrão e antipartículas.</p>		
Possíveis Experimentações	<p>Retornar ao modelo de dois prótons e discutir a força forte e suas interações.</p>		
Encontro:	6	Tempo:	2 aulas
Tema:	<p>O mundo das partículas. - Continuação</p>		
Conteúdo:	<p>Mésons, quarks, mediadores e interações.</p>		
Aula:	<p>Retomar os elementos principais da aula anterior, revendo as principais partículas discutidas.</p> <p>Passar, então, à apresentação do conteúdo por slides (74 a 86, no apêndice A).</p> <p>Reservar alguns minutos ao final da aula para que os alunos produzam um texto em conjunto sobre o que foi visto na aula objetivando a montagem do roteiro narrativo para a animação. Isso pode ser feito mais rapidamente apresentando palavras-chave; os alunos podem ligar as mesmas pensando nos conceitos discutidos.</p> <p>Lista de palavras:</p>		

	<p>mésons Força forte Glúons</p> <p>Força gravitacional hádrons</p> <p>Bósons Força fraca massa</p> <p>Conservação de Energia spin</p> <p>Força eletromagnética decaimentos</p> <p>W Z Fóton Modelo Padrão</p> <p>- - Higgs</p> <hr/> <p>Os alunos podem se utilizar de todas essas palavras e de outras, se acharem necessário.</p>
Possíveis Discussões:	As quatro forças da natureza O gráviton e sua busca
Possíveis Experimentações	Retornar ao modelo de dois prótons e discutir a força forte e suas interações. Apresentar vídeos ou executar o experimento da câmara de nuvens.

Tabela 2 – Sequência das aulas

4.2.2 O vídeo

Após as aulas, transformaremos o conteúdo em um vídeo explicativo que será feito pelos alunos. De posse de todos os textos produzidos nos encontros podemos agora iniciar a montagem do roteiro que servirá de base. O processo de construção pode ser feito extraclasse; no entanto, é necessário estabelecer objetivos e datas, os quais devem ser cumpridos por todos os envolvidos. Abaixo, na tabela 3, temos uma sequência básica para nortear a construção do vídeo.

Divisão dos grupos de trabalho	Divisão das partes da animação – temas
Produção de um texto narrativo de suas respectivas partículas (Etapa 1).	Cada grupo deverá produzir seu próprio texto de acordo com a parte escolhida.

Os textos deverão ser enviados ao professor para possíveis acertos e aprovação.	
Produção do Storyboard (etapa 2).	Os grupos deverão pensar como seu texto poderá ser representado na animação, quadro a quadro. Nessa etapa, deve-se imaginar a passagem do texto e os elementos que serão colocados na tela.
Produção dos desenhos e personagens (Etapa 3).	Os grupos deverão pensar nos desenhos de sua parte.
Gravação do áudio e edição (Etapa 4)	Para essa parte, pediu-se a todos os alunos que lessem um parágrafo do texto para que fosse definido o narrador.
Gravação do vídeo (Etapa 5)	Todas as figuras devem ser colocadas em sequência para facilitar a apresentação das mesmas em sequência. Deve-se inicialmente discutir com o grupo que irá participar da gravação e ensaiar as entradas e saídas de figuras.
Finalização do vídeo (Etapa 6).	Edição – junção do vídeo e áudio.

Tabela 3 – Sequência de atividades para construção do vídeo.

Propomos a mesma sequência como aquela adotada no projeto-piloto; no entanto, a turma preferiu montar um vídeo explicativo nos quais deveriam aparecer somente as mãos e as figuras iriam explicando o tema de acordo com o áudio. A turma escolhida foi uma turma do terceiro ano do curso tecnológico de edificações, contando com 12 alunos, entre 15 e 18 anos. A proposta foi pertinente à referida turma, pois o tema trabalhado (eletrostática e física de partículas) faz parte dos conteúdos de física para o terceiro ano do Ensino Médio.

5 RELATO DE APLICAÇÃO

Nesse capítulo será apresentado o relato da aplicação da proposta, o qual foi feito aula a aula. A cada preparação da aula foi estudado o que se propôs e procurou-se seguir à risca. Durante a preparação, os vídeos indicados foram previamente baixados e vistos antes da apresentação durante a aula. Os experimentos foram preparados e executados previamente para que não houvesse problemas durante sua aplicação.

Como já descrito anteriormente, os encontros foram divididos em duas aulas de cinquenta minutos cada, perfazendo um total de seis encontros. A aplicação foi feita em uma escola técnica do Instituto Federal da Paraíba (IFPB) – Campus Guarabira, no mês de julho de 2017. A escola conta com salas de aulas amplas, laboratório de Física com uma série de equipamentos¹⁴, uma tv de 50 polegadas por sala, a qual é utilizada para a apresentação dos slides. Escolheu-se a turma do terceiro ano do curso técnico de edificações¹⁵ (equivalente ao terceiro ano do ensino médio), uma vez que os alunos dessa série têm acesso ao conteúdo abordado no projeto (Eletricidade e Magnetismo).

A proposta de aplicação se refere ao início do conteúdo normalmente apresentado – a Eletrostática. Nessa turma, contamos com 12 alunos, os quais são oriundos tanto de escolas públicas (em sua maioria) quanto de escolas particulares. Esse campus do IFPB foi instalado em Guarabira por ela ser a maior cidade da região. A mesma é conhecida como a Capital do Brejo Paraibano, por atender a uma grande região. Por este motivo, contamos com alunos de várias cidades da redondeza. Ainda hoje o alunado do IFPB, Campus Guarabira, é constituído em sua maioria, por estudantes provenientes de outros municípios. A maioria deles se utilizam de ônibus cedidos por prefeituras para se deslocarem até o campus. A dependência desses ônibus é extrema, uma vez que a maioria dos alunos é de baixa renda, e não teriam condições de se deslocarem com recurso próprio de casa para o campus.

5.1 PRIMEIRO ENCONTRO: DO QUE SÃO FEITAS AS COISAS?

Inicialmente foi explicado como se daria o projeto para a turma. Foi informada a quantidade de aulas que teríamos, e que no decorrer das mesmas poderíamos executar experimentos, e assistir a vídeos relativos ao conteúdo que estudaríamos. Foi dito que

¹⁴ Mesmo tendo no laboratório de física uma série de equipamentos a disposição foram utilizados experimentos de baixo custo acessíveis visando a aplicação em escolas que não dispõem de laboratório

¹⁵ Todas as aulas foram gravadas em aula com autorização prévia dos alunos. As transcrições estão na sequência.

entraríamos no assunto relativo ao terceiro ano do ensino médio comum, que é Eletrostática; foi informado ainda que haveria exposição sobre o conteúdo “Física de Partículas”. Pediu-se aos alunos que se dividissem em grupos de três para que pudessem executar os trabalhos para avaliação. Como avaliação, teríamos a participação das aulas, a produção de um mapa conceitual que seria baseado em palavras apresentadas ao final da aula, e que os alunos teriam a liberdade de se utilizar mais palavras, caso achassem necessário. A partir desses mapas, os alunos deveriam produzir um pequeno texto na forma narrativa já pensando na narração que seria feita na animação, a qual se daria com a finalização do trabalho.

Após a apresentação do projeto, foi colocado para os alunos o que seria estudado nessa aula: quantidade de carga, condutores e isolantes. Como proposto, a primeira pergunta apresentada foi: do que são formadas as coisas? Como esperado e relatado no projeto, a primeira resposta obtida foi: *Átomos*. Outros alunos complementaram a resposta com *moléculas, células, organelas*, fazendo referência ao corpo humano, conteúdo estudado na disciplina de Biologia.

Delimitou-se o estudo à primeira resposta que eram os átomos, e era a partir deles que iniciariamos nossa aula. Ao delimitar, perguntou-se o que se relacionaria com os átomos. E as respostas foram: *elétrons, prótons, nêutrons, partículas, núcleo e eletrosfera*. Isso demonstra que houve algum contato com essas palavras anteriormente, provavelmente na disciplina de Química. Perguntou-se a eles o que teríamos dentro do núcleo do átomo; alguns responderam *prótons*. Perguntou-se ainda se teríamos somente prótons, e eles hesitaram em complementar, até que um deles citou o *nêutron*.

Foi proposto, então, que se desenhasse um átomo e como poderia ser representado. Uma aluna disse que faria uma bolinha. Outra disse que faria a bolinha no centro e ao redor um desenho que representasse a eletrosfera. Esse desenho é clássico quando vemos representação de referências ao nível atômico (figura 17).

Figura 17 – Representação comum de átomo



Isso demonstra o quanto uma imagem pode se fixar na memória dos alunos. Após a exposição do desenho, os outros alunos concordaram com aquele modelo. Outro aluno se manifestou dizendo “a gente não sabe como é na verdade”. Esse comentário foi retomado mais à frente para exemplificar a utilização de modelos e sua importância para as ciências, como forma de estudar as coisas tentando aproximar ao máximo possível da realidade. Como exemplo, foram citadas as maquetes utilizadas especificamente na parte técnica do curso de edificações, e que estas seriam fonte de estudos para que pudessem aplicar aos projetos reais.

Nesse ponto passamos à sequência de slides proposta. Durante a apresentação sobre Aristóteles, os alunos recordaram as aulas de filosofia, especialmente os quatro elementos: água, ar, fogo e terra. Um deles ainda citou que havia outro do qual não se lembrava. Então o Éter foi apresentado como quinto elemento. Alguns alunos ainda perguntaram a respeito da natureza do éter, e onde ele estaria, mas não se chegou a uma conclusão. O professor rapidamente comentou a respeito, esclarecendo que isto permaneceu por muito tempo, que era um assunto à parte dentro da história da Física, que demandava um estudo mais profundo e que não era o objeto daquele momento.

No decorrer da aula, discutiu-se o início dos estudos sobre modelos atômicos, partindo do de Dalton, e apresentou-se a discussão a respeito da nomenclatura utilizada para os cientistas da época, que eram chamados de Filósofos Naturais, mas que para facilitar a discussão seriam chamados apenas de cientistas. Iniciou-se, então, a apresentação da primeira partícula: o elétron. Ao explicar a respeito das pesquisas feitas por Thompson, foi apresentado o vídeo¹⁶ sobre raios catódicos, que mostram um tubo em funcionamento. Durante a apresentação do vídeo, uma parte específica foi colocada em discussão, foi a parte em que víamos uma pequena hélice girar. Nesse momento, questionou-se: O que poderia movimentá-la? Chegou-se à conclusão de que ali deveriam conter partículas que seriam objeto de estudo de Thompson.

Discutiu-se sobre os textos de Thompson relativos ao prêmio Nobel e sobre a dificuldade pela qual ele passou no momento em que não teve total crença naquilo que estava propondo. Apresentou-se ainda a primeira discussão histórica sobre a detecção do elétron feita por ele, mas também feita por Kaufmann, e explicou-se sobre como isso interferiu na comunidade científica e como a ciência se comportou diante das discussões que envolviam as teorias da época. Nesse momento, uma aluna questionou se o trabalho não era do Thompson;

¹⁶ Experimento sobre raios catódicos - <https://www.youtube.com/watch?v=1dPv5WKBz9k>

isso se deu pelo fato de os livros didáticos omitirem discussões históricas como esta e apresentarem apenas a teoria “ganhadora”.

Esclareceu-se que os trabalhos foram feitos concomitantemente, mas que Kaufmann, que seguia a doutrina Lógico-Positivista¹⁷, preferiu não publicar seus dados, e por isso acabou por não ser reconhecido como um daqueles que “descobriram” o elétron. Assim, Thompson se beneficiou disso por ter publicado a respeito. Ainda foi mencionado que isso é algo comum na ciência, e que ainda hoje vários cientistas estudam as mesmas coisas e pode ocorrer que um deles não publique por algum motivo e o outro que fizer a publicação primeiramente acaba por ganhar reconhecimento dentro da academia. Ainda há casos em que cientistas publicam pesquisas contendo resultados que não são corretos. Neste caso, os experimentos passam por revisões, e mesmo depois de serem refutados, alguns cientistas ganham fama por terem sido os primeiros a publicar sobre tal estudo. Nesse momento, mencionou-se que a ciência é feita por homens e mulheres, e pode estar cheia de erros, e que objetivo desses cientistas superar seus pares e terem seus nomes marcados por feitos científicos.

Na sequência, apresentou-se o modelo Saturniano de Nagaoka, bem como a discussão entre ele e Schott. Os alunos perceberam, mais uma vez, como a ciência apresenta problemas em sua construção devido a esses embates. Explanou-se, pela primeira vez, sobre o problema da estabilidade do átomo que o modelo de Nagaoka não conseguia explicar. Apresentou-se o modelo de Rutherford com o qual os alunos já eram mais familiarizados devido aos estudos na disciplina de química. Um aluno lembrou-se parcialmente do experimento da placa de ouro.

Discutimos mais uma vez sobre a estabilidade da eletrosfera com elétrons em movimento que perdem energia por radiação. Foi apresentado e discutido o modelo com base no experimento da placa de ouro. Em seguida, mencionou-se que Bohr e Sommerfeld tentaram estabilizar o modelo de camadas. Foram apresentados, também, os novos modelos de Schrödinger, de Broglie e Heisenberg. Comentou-se a respeito de Schrödinger e sua mecânica ondulatória escrita durante um fim de semana nos Alpes Suíços, juntamente com sua amante, mostrando a natureza humana do cientista e que eles não são intocáveis e gênios, mas pessoas normais como qualquer outra, que tem apenas como diferencial seus estudos.

Apresentou-se o próton como proposição feita por Rutherford em suas pesquisas, analisando mais uma vez o experimento da placa de ouro. Comentou-se a participação de

¹⁷ Nesta teoria o fato de não observar diretamente o objeto (no caso o elétron) que se estava estudando não poderiam dissertar sobre mesmo. Por este fato Kaufmann não deu continuidade aos experimentos enquanto Thompson o fez.

Geiger e Mardsen, que eram aqueles que, de fato, realizavam a maioria dos experimentos, mas os artigos em sua maioria eram assinados apenas por Rutherford. Apresentou-se um pouco da biografia de Rutherford, objetivando mostrar que ainda sendo um cientista reconhecido também levava a vida como qualquer outra pessoa, com seus problemas particulares e anseios como os de pessoas normais, a exemplo, seu casamento. Discutiu-se ainda sobre a transmutação de Nitrogênio em Oxigênio, que era um anseio dos Alquimistas e que, a partir dessa explicação, nasceu a proposta do próton.

Nesse momento, os alunos demonstraram interesse na história de transmutação, e em como ela poderia ser feita. O professor relembrou a tabela periódica, e como ela era disposta em ordem de número atômico. Se pudessemos retirar ou acrescentar prótons, poderíamos transmutar os elementos; isso que estava ocorrendo no experimento de Rutherford, no qual ele explicou que a partícula que sobrava era justamente a que conhecemos como próton. Questionou-se se era realmente possível obter ouro, mas pelo visto seria difícil acrescentar mais e mais prótons até se chegar a ele.

Apresentou-se o Nêutron, que também foi proposto por Rutherford para que o núcleo pudesse ficar estável. Somente anos depois, Chadwick detectou a partícula a partir de experimentos feitos por outros cientistas, com pequenas alterações, demonstrando aqui o que chamamos de criatividade humana no capítulo anterior. Nesse momento, começou-se a discutir sobre a carga elétrica e como calculá-la. Apresentou-se o experimento de Millikan que calculou a carga fundamental. Aqui os alunos questionaram a respeito do valor da carga, e se deveriam decorá-lo. Outro aluno perguntou a respeito da unidade, o Coulomb. Dúvidas sanadas, passamos a exemplificar como poderíamos calcular a quantidade de carga de uma quantidade de partículas e sobre a conservação das cargas elétricas.

Foi explicado como foi feito o experimento de Millikan e as dificuldades da época em relação à atualidade. Apresentamos as fotos originais do experimento. Discutiu-se, então, as propriedades envolvidas nas cargas elétricas quanto à sua quantidade, positivas, negativas, nulas e quais podem se movimentar ou não. Discutiu-se, então, a questão entre Millikan e Fletcher a respeito de quem realmente tinha escrito o artigo sobre o cálculo da carga elétrica elementar, bem como sobre o que culminou disso, que foi o prêmio Nobel. Após a discussão, partimos para a resolução de problemas relativos à carga elétrica. Houve algumas questões quanto aos cálculos decorrentes a conhecimentos de operações matemáticas que foram sanadas durante a resolução dos exercícios.

Apresentaram-se os conceitos de condutores e isolantes. Durante a discussão, uma aluna perguntou se madeira molhada era condutora; esclareceu-se que a condutora, de fato, é

a água, pois contém sais e não a madeira. Explicou-se que deveria se levar em consideração que isolantes possuem limites: o mesmo isolante submetido a uma alta tensão poderia ser um condutor, e que outras explicações seriam discutidas na aula sobre potencial elétrico. Foi dado o exemplo do raio que rompe a rigidez elétrica do ar. Nesse momento, um aluno perguntou a respeito da constituição do raio, ao que alguns responderam que era feito de elétrons. Passamos, então, à resolução de exercícios. Nessa atividade, os alunos discutiram entre eles qual seria a resposta correta, percebendo que não poderiam tocar nos materiais condutores, e, por fim, optaram pelo plástico, que era isolante. Após isso, apresentou-se a lista de palavras para que os alunos pudessem fazer o mapa conceitual e o texto narrativo. Devido ao tempo, a atividade ficou para ser entregue posteriormente.

5.2 SEGUNDO ENCONTRO: ATRAÇÃO OU REPULSÃO?

Como proposto no início da aula, foi feita uma rápida revisão a respeito dos assuntos estudados na última aula: quantidade de carga elétrica, condutores e isolantes. Na sequência, pediu-se aos alunos que picassem um pequeno pedaço de papel, e esfregassem a tampa da caneta no cabelo; depois aproximassem dos pedaços de papel, e descrevessem o que haviam visto. Para a surpresa de alguns, que nunca tinham feito tal experimento, os pequenos pedaços de papel foram atraídos. Uma aluna questionou por que para alguns o fenômeno era mais rápido e visível. Discutiu-se sobre a possibilidade de o cabelo estar mais úmido, e isso possivelmente interferisse no processo. Os alunos passaram um tempo ainda realizando a atividade. Pediu-se a eles que explicassem o fenômeno. Alguns alunos disseram que tinha a ver com carga elétrica, com atração, mas que não sabiam ao certo como explicar. Passamos, então, à apresentação dos slides. Inicialmente, foi apresentada a Lei de Du Fay que para alguns não era desconhecida. Eles não reconheciam o nome, mas sabiam de alguma forma que partículas de mesmo sinal se repeliam, e que partículas de sinais contrários se atraíam. Ainda se discutiu a respeito das eletricidades vítrea e resinosa e sobre as abordagens de Franklin em que surgiram as palavras positivo e negativo. Aproveitando esse momento, explicou-se como as cargas se dispunham nos objetos (tampa da caneta e papel) e o porquê da atração.

Em seguida, passou-se a apresentação da eletrização por contato. Discutiu-se sobre o corpo neutro, e sobre tal neutralidade, que não equivale a não possuir carga, mas a possuir carga de sinais contrários na mesma quantidade. Explanou-se sobre o fator da conservação das cargas. Perguntou-se o que ocorreria após a eletrização por contato. Os corpos se repelem

ou se atraem? Inicialmente, os alunos ficaram pensativos; uns responderam que se atraem e outros que se repelem. Foi retomado o processo de eletrização, explicando que ao final os corpos ficam carregados com a mesma carga. Assim, os alunos responderam que deveriam se repelir. Repetiu-se a experiência, e, em alguns casos, verificou-se que o papel continuava grudado na tampa da caneta. Surgiu, aqui, uma dúvida a respeito do processo; o professor comentou, explicando que no processo há que ser considerado o tamanho dos corpos e a quantidade de carga envolvida. No caso da atração, o que ocorria era que a quantidade de cargas da tampa da caneta era grande, e mesmo havendo o contato e posterior equilíbrio, a quantidade de cargas ainda compensava as do papel, fazendo com que ele ficasse atraído pela tampa da caneta.

Passou-se, então, à resolução de um problema clássico sobre eletrização por contato, em que após sucessivos contatos, quais seriam as quantidades de cargas dos corpos envolvidos. Como envolvemos um pouco de matemática, os alunos ficaram atentos ao que estava sendo feito, ao mesmo tempo em que tentavam pensar na conservação de cargas. Nesse momento, apresentou-se a eletrização por atrito e a série triboelétrica. Retomaram-se alguns conceitos de Química: a eletronegatividade dos elementos. Com a série, podem-se perceber aqueles elementos que tinham tendência a receber elétrons em relação aos outros. Mencionou-se o experimento realizado no início da aula, e os alunos identificaram que o cabelo cedia elétrons, e a tampa da caneta ficava com excesso de elétrons. Uma aluna perguntou por que não atritávamos na pele diretamente. O professor comentou que o cabelo tinha melhor capacidade de fornecer elétrons em relação a outras partes do corpo.

Destacou-se, então, que este processo de eletrização ocorre entre isolantes e que não tem condições de ocorrer em condutores. Foi resolvido mais um exercício, agora a respeito de eletrização por atrito. A pergunta se referia ao acúmulo de cargas nos carros, e como poderia ocorrer. Citaram algumas hipóteses, até que um dos alunos mencionou o atrito. Outro cogitou o atrito pelos pneus, o que foi descartado, já que os pneus estão girando e não sendo atritados. Outro aluno mencionou o vento, e aqui o professor intercedeu, dizendo que o vento na realidade era o ar em movimento, e era o atrito do carro com o ar que produzia o acúmulo de cargas.

Discutiu-se, ainda, sobre outras possibilidades de se acumularem cargas por atrito no dia a dia. O professor deu exemplos de atrito entre a meia e um tapete¹⁸. O próprio vento nas

¹⁸ Como não é um objeto comum na região por ter altas temperaturas durante todo o ano o professor explicou que seria um piso feito somente por um tapete e que o atrito entre este piso e a meia poderíamos ter transferência de cargas.

peças e, em alguns casos, quando tocadas pequenas faíscas são produzidas devido ao acúmulo de cargas. Uma aluna interrompeu falando que a cadeira de plástico também acumulava cargas; os demais perceberam que também ocorria devido ao atrito de suas blusas com a cadeira. Vários alunos fizeram o experimento; depois aproximavam os braços, e viam os pelos serem atraídos. Passou-se ao processo de eletrização por indução. Explicou-se o processo apresentando o fio terra. Uma aluna interferiu pedindo mais explicações a respeito do fio terra. O professor tomou como exemplo as novas tomadas de três pinos, explicando a função do fio terra. Comentou-se ainda que quando alguém se encosta na carroceria de um carro carregado por atrito, ele passa a ser o fio terra. Relembrou-se o caso de uma pessoa encostar em outra e tomar um pequeno choque. Mencionou-se o fato de máquinas de lavar roupa ou chuveiros elétricos provocarem choques, tudo isso devido à falta do fio terra na instalação elétrica da casa. Comentou-se ainda que choques provindos da rede elétrica são muito perigosos pela quantidade de elétrons por unidade de tempo que se movimentam.

Ao final da explicação, verificou-se a eletrização por contato graças à interferência do fio terra. Uma aluna mencionou que já tinha visto em sua casa o processo de aterramento, em que enterraram uma barra de cobre no solo de sua casa. Outros alunos perguntaram a respeito dos fios nos postes e sobre os fios em torres de transmissão, e para que serviam aquelas bolas laranjas nos fios. Após as explicações, passamos a estudar o eletroscópio de folhas. Explicou-se a utilização do eletroscópio e como poderíamos carregar um eletroscópio pelo processo de eletrização por indução. Passou-se ao próximo exercício no qual se utiliza um eletroscópio de folhas e após certas ações, pergunta-se como ficaria o eletroscópio. Os alunos demonstraram alguma preocupação com o processo, observando atentamente a resolução do problema.

Alguns previram durante o processo o que iria acontecer com o eletroscópio. Outros questionaram a função do fio terra no processo. Após as explicações, um aluno mencionou o trabalho feito pela Energisa (Empresa de Distribuição de Eletricidade da Paraíba), que tem um museu sobre eletricidade com alguns experimentos. O professor mencionou que em outra aula traria um gerador de cargas (Van Der Graaf) disponível na escola. Passou-se, então, à discussão sobre a força elétrica, apresentando-se a balança de torção e seu funcionamento. Apresentou-se a Lei de Coulomb, como aplicá-la e explicou-se cada elemento da equação. Um aluno perguntou a respeito da constante eletrostática, se ela possui sempre o mesmo valor; o professor explicou que depende do meio e que aquele valor é constante para o vácuo.

O professor apresentou o conceito de superposição lembrando vetores e suas aplicações. Em seguida, foi feita uma comparação entre a Força Elétrica e a Força Gravitacional, salientando que esta sempre será de atração, enquanto que a Elétrica pode ser

de atração ou repulsão. Utilizou-se um exercício para exemplificar a aplicação da Lei de Coulomb. Algumas dificuldades matemáticas se foram apresentadas neste ponto, e o professor retomou alguns conceitos matemáticos sobre multiplicação e divisão de potências. Perguntou-se aos alunos que tipo de força se apresentou no problema. Um aluno mencionou atração, e outro o corrigiu dizendo que as cargas têm mesmo sinal, portanto, a força é repulsiva. O professor retomou rapidamente este conceito e voltou ao exercício.

Mais adiante, o professor explanou sobre os significados dos prefixos mili, micro, nano e pico, que são bastante recorrentes em questões dentro da eletricidade. Alguns alunos ainda lembraram os seus respectivos valores. Ao final da aula, apresentou-se o quadro de palavras, com as quais os grupos produziram o mapa conceitual e o texto para a narração.

5.3 TERCEIRO ENCONTRO: CAMPOS INVISÍVEIS

No início, foram recebidas as atividades realizadas pelos alunos relativas à aula anterior. Foi trazido e apresentado para os alunos um material que representaria o Campo Magnético, como proposto no capítulo anterior (Figura 18). Nesses momentos os alunos se mostraram muito interessados, buscando interagir a todo instante. Eles pediram para tocar no equipamento para realizar o experimento.

Figura 18 – Equipamento experimental sobre campo magnético.



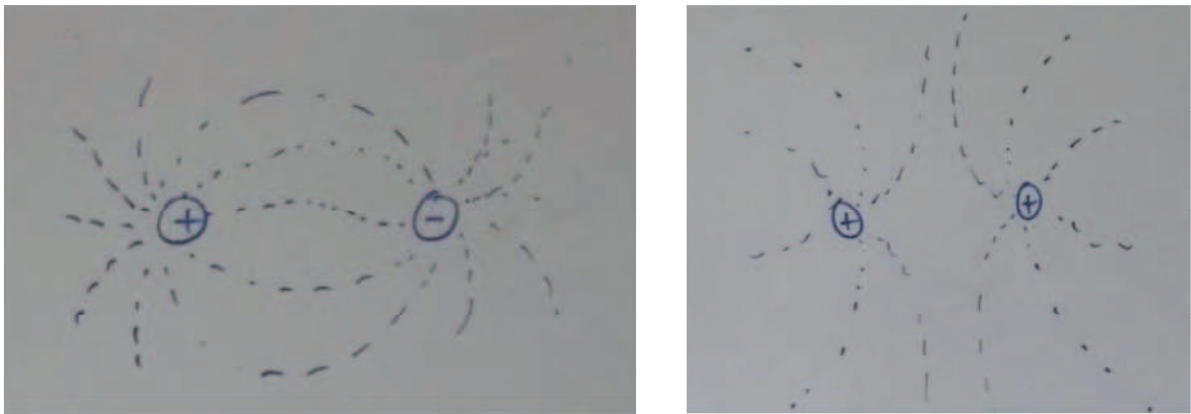
Fonte: arquivo próprio

Após reunir a turma ao redor do equipamento, foi colocada uma das pontas do ímã sobre ele. Perguntou-se aos alunos o que eles estavam vendo. Alguns disseram que o ímã estava interferindo nos pequenos pedaços de ferro do equipamento. O professor perguntou se era possível perceber alguma forma ou desenho que estava se formando. Os alunos disseram

que ‘sim’. Foi colocado, então, o ímã inteiro sobre o equipamento, e mais uma vez o professor pediu para que notassem a forma dos pequenos pedaços de ferro do equipamento. Indagou-se sobre o que poderia ter feito os pequenos pedaços de ferro ficar daquela forma. Um aluno disse que era por causa do ímã; outro mencionou o campo magnético.

Após esse momento, foram apresentados os vídeos¹⁹ propostos anteriormente a respeito de Campo em cargas elétricas. Alguns alunos perceberam que as partículas do vídeo ficaram em posições parecidas com aquelas vistas no experimento do ímã. Pediu-se aos alunos que representassem esses desenhos. Um deles foi até a lousa, e representou o que estava vendo no experimento (figura 19).

Figura 19 – Desenhos feitos pelos alunos na lousa



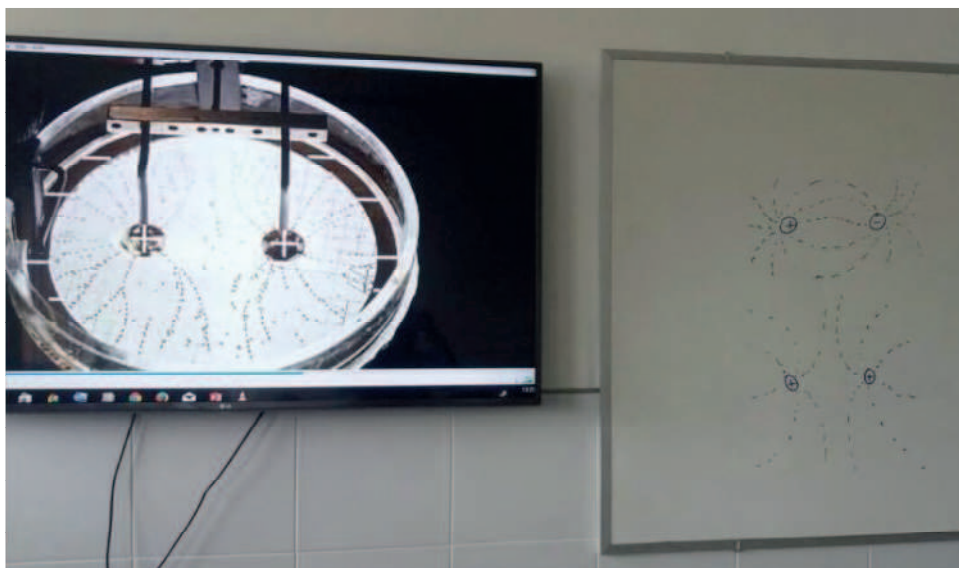
Fonte: arquivo próprio

Os desenhos foram feitos pelos alunos tendo por base o que eles viram no experimento e no vídeo. O professor frisou que estavam estudando Campo Elétrico, e que no experimento havia, na realidade, um campo magnético; no entanto, o formato era exatamente como foi visto no vídeo. Explicou-se que seria necessária uma fonte de alta tensão para executar tal experimento.

Abaixo (figura 20), podemos ver uma passagem do vídeo de onde os alunos tiraram o modelo para o desenho.

¹⁹ Campo elétrico em cargas (cargas de sinais opostos - https://www.youtube.com/watch?v=N3UVw_Yuu7Y e cargas de mesmo sinal - <https://www.youtube.com/watch?v=enxT-8isjfs>).

Figura 20 – Desenhos baseados no vídeo apresentado



Fonte: arquivo próprio.

Em seguida, passou-se à apresentação dos slides para darmos continuidade à aula. Discutiu-se a unificação das forças elétricas com as magnéticas; o estudo de hoje se dá apenas pelo nome de Eletromagnetismo graças a Faraday, Oersted e Maxwell. Uma vez vistos os experimentos, foi exposto nos slides o formato normalmente apresentado em livros didáticos das Linhas de Campo. Na sequência, foram apresentadas cargas em disposições diferentes para que os alunos pudessem desenhar a forma com a qual as Linhas de Campo ficariam.

Apresentaram-se o Campo Elétrico e também sua posição tangente às Linhas de Campo. Em seguida, discutiu-se a forma como Campo e Força se apresentavam nas cargas. O professor enfatizou a diferença entre os dois para que, em seguida, eles pudessem comparar as equações referentes a cada uma delas e seu caráter vetorial. Um aluno perguntou se essa força era a mesma estudada nas leis de Newton. O professor respondeu que não, por ser de natureza diferente, mas, de qualquer forma, era outro tipo de força, e que deveria ser tratada da mesma forma que as outras. Foi importante discutir carga geradora e carga de prova. Mencionou-se, ainda, que, dependendo do referencial com que se trabalha, uma carga pode ser geradora ou de prova.

Com isso, foi apresentada a superposição de cargas, e foi analisada a atuação de diversos campos em um único ponto. O caráter vetorial mais uma vez estava presente e retomaram-se as regras básicas de operações vetoriais. Passou-se aos exercícios. Para isso, mais uma vez foi necessário reforçar um pouco a matemática. Explicitou-se a importância de perceber que a relação inversa da distância provoca um grande aumento quando em pequenas

distâncias. Discutiu-se também a disposição de cargas em objetos que não são pontuais. Mais uma vez o caráter vetorial se fez presente para o cálculo do vetor Campo Elétrico resultante. Passou-se à resolução dos exercícios sobre esse tema.

Em seguida, iniciou-se uma explanação sobre Blindagem Eletrostática. Após a explicação, perguntou-se qual seria o melhor local para estar caso um carro fosse atingido por um fio de alta tensão. Uma aluna respondeu ‘dentro do carro’, já utilizando a explicação aprendida. Explicou-se, então, a disposição de cargas em um material condutor, enfatizando a repulsão entre elas, e que no final todas ficam dispostas na parte mais externa (casca) do condutor. No caso do carro, as cargas ficariam dispostas na carroceria do carro, e dentro dele não haveria carga tampouco Campo Elétrico. Comentou-se sobre o experimento chamado Gaiola de Faraday. Alguns alunos disseram que já tinham visto algo parecido em vídeos na internet. Foi proposto que se levasse para a próxima aula algum vídeo que exemplifique este experimento. Outro exemplo dado foi que ao colocarmos o celular dentro de uma lata e se ligarmos para ele a ligação não é completada, uma vez que o celular está protegido pela blindagem eletrostática.

Após esse momento, passou-se à resolução de exercícios relacionados ao tema da aula. Durante os exercícios, foram feitas perguntas aos alunos para que elas pudessem ajudar na resolução. No problema a respeito do pássaro na gaiola, no qual a mãe pede ao menino que retire a gaiola para proteger o pássaro, um aluno mencionou que o pássaro está mais protegido do que os que estão de fora, demonstrando a compreensão do que foi proposto neste tema. Passou-se, então, a discutir o Campo Elétrico Uniforme e as vantagens que o mesmo proporciona à aplicação dos conceitos em situações tecnológicas. Como exemplo, foram citados os aceleradores de partículas que necessitam curvar a trajetória das mesmas. Usou-se ainda como exemplo as televisões de tubo que tinham em sua parte traseira um acelerador de elétrons que eram ejetados em direção à tela e que a curvatura era dada justamente por Campos Elétricos e Magnéticos Uniformes. Passou-se então à resolução de problemas. Em um dos problemas, os alunos responderam adequadamente quanto à curvatura das partículas lembrando as leis de Du Fay.

Dando continuidade à aula, iniciaram as discussões históricas, denotando a interação eletromagnética. Apresentou-se a proposta do fóton dentre as teorias que eram apresentadas na época. De modo particular, foi discutida a explicação dada por Einstein para o Efeito Fotoelétrico, na qual ele propôs que as partículas de luz eram divididas em pacotes. Apresentou-se a equação do Efeito Fotoelétrico. Mencionou-se a constante de Planck e a sua importância, hoje, quanto às referências de algumas medidas, como, por exemplo, o metro.

Um aluno comentou que leu uma notícia que para o ano que vem essa constante também será utilizada para a alteração da base de medida do quilograma.

Uma aluna perguntou a respeito dos fogos de artifício, especialmente a respeito das cores, se elas estavam relacionadas com o que estava sendo estudado. O professor explicou que estava associada à mudança de camada dos elétrons, dos materiais que formavam os fogos. Apresentou-se o texto de Millikan, que corroborava a equação de Einstein, mesmo que ele tenha trabalhado 10 anos no intuito de refutar o trabalho. Os alunos perguntaram se esse era o mesmo Millikan do cálculo da carga elétrica.

Discutiu-se sobre a contribuição de Compton para que a teoria fosse aceita e seu experimento. Nesta discussão os alunos perguntaram a respeito dos raios x. O professor relembrou um pouco os conceitos de ondulatória, especificamente de frequência e comprimento de onda. Mencionou que o Raio X tinha um pequeno comprimento de onda assim como raios gama, e estes eram tão pequenos, da ordem do tamanho das células; por esta razão, causam câncer, por exemplo. Passou-se à discussão sobre o novo conceito de fóton e o experimento HBT. Foram explicados o experimento e o problema a respeito da determinação do conceito de fóton feito por Einstein. Mais uma vez foi discutida a importância dos modelos e sua validade. Foram colocadas as palavras para que os alunos pudessem produzir os mapas conceituais, e, devido ao tempo, a atividade foi deixada para casa.

5.4 QUARTO ENCONTRO: ENERGIA

O início da aula se deu com a retomada dos conceitos aprendidos até o momento. O professor questionou a respeito do que tinha sido aprendido até então; os alunos se manifestaram, apresentando os principais conceitos como força elétrica, campo elétrico, processos de eletrização etc. Logo em seguida, como previsto no projeto, foram apresentados os vídeos²⁰, e a cada um deles o professor explicou o que estava acontecendo em cada caso. No primeiro vídeo em que as forminhas saltavam do gerador, o professor questionou o porquê de as forminhas saltarem daquele jeito. Um dos alunos apresentou rapidamente a resposta – devido à repulsão. No segundo vídeo, os alunos consideraram muito interessante o processo de atrito feito no tubo; um deles mencionou que era o mesmo feito com o experimento da caneta.

²⁰ Potencial e força elétrica: <https://www.youtube.com/watch?v=aHkNKsTxZNM>
Pêndulo elétrico: <https://www.youtube.com/watch?v=tU79DMOcHr8>
Versorium: <https://www.youtube.com/watch?v=47hDMWh89RE>

O professor explicou todo o processo novamente, mostrando o efeito da mão como fio terra. No terceiro vídeo, sobre o versório, os alunos associaram à bússola pelo formato. O professor explicou novamente o efeito que o versório tem quando feito de materiais diferentes, indicando campos elétricos e magnéticos. Passou-se então à apresentação de slides proposta na sequência. Iniciou-se a discussão a respeito de Energia Potencial Elétrica em comparação com Energia Potencial Gravitacional. Uma aluna interferiu dizendo que tinha visto um experimento com canudos no qual se atritava o mesmo no cabelo e o colava na parede. Perguntou se aquilo de fato era possível. O professor explicou o que ocorria com a distribuição de cargas, e relembrou o experimento feito em sala. Voltando ao tema da aula, o professor esclareceu o quanto era importante a Energia Elétrica em nossas vidas. Os alunos discutiram entre si e um deles disse que poderia viver sem. Os demais o questionaram a respeito das vantagens que temos em ter uma série de aparelhos que temos hoje, o que seria impossível sem a Energia Elétrica.

Voltando ao tema da aula, o professor explicou a expressão de cálculo de Energia Potencial comparando com as demais expressões aprendidas até então. Discutiu-se sobre o caráter escalar do Potencial Elétrico e sobre como ele está associado ao Campo Elétrico. Analisou-se a relação entre a intensidade e a distância da carga geradora. Apresentou-se o conceito de diferença de potencial como sendo conhecida como voltagem que é algo do cotidiano dos alunos. Retomou-se o conceito de trabalho visto pelos alunos em anos anteriores e, nesse momento, associou-se a ele o trabalho da Força Elétrica. Comparou-se às expressões de Potencial e Campo Elétrico e sua forma gráfica. Apresentou-se aos alunos a função do Multímetro. Muitos deles se manifestaram dizendo que conheciam o aparelho, mas não sabiam para que ele servia. Outro aluno interferiu, e questionou o porquê de Estados brasileiros possuírem voltagens diferentes. O professor explicou que isso era por causa da montagem da matriz energética que foi feita por empresas de países diferentes. O aluno perguntou o que acontecia se ligássemos um aparelho 110V em uma tomada 220V. Explicou-se que isso não poderia ser feito uma vez que um aparelho dimensionado para uma voltagem específica não deve ser submetido a outra.

O professor comentou que era possível utilizar um limão para gerar Energia, porém os alunos consideraram esdrúxula a afirmação. Ele explicou que em outro momento traria tal experimento para mostrar aos alunos. Em seguida, explicou o processo pelo qual se dava a geração de energia numa pilha de limão, e que a voltagem gerada era pequena, pois estava relacionada aos materiais utilizados, no caso, o zinco e o cobre. Ao falar sobre a unidade de Potencial, uma aluna perguntou sobre a tal pilha de Volta. O professor fez uma pequena pausa

para comentar a respeito da disputa entre Volta e Galvani no que tange à geração de energia elétrica. Um aluno perguntou por que se dava choque em uma pessoa que sofreu uma parada cardíaca; o professor explicou a necessidade de se dar o choque para o coração voltar a bater.

Ainda nesse contexto, o professor mencionou o livro *Frankenstein*, de Mary Shelley; coincidentemente, uma das alunas estava lendo o mesmo livro. Retornando ao tema da aula passou-se a discutir Superfícies Equipotenciais. Passou-se então à resolução de exercícios sobre Potencial Elétrico. Neste momento os alunos ficaram atentos, e questões apareceram a respeito da matemática envolvida. Os alunos acompanharam a resolução, ajudando o professor na mesma. O professor deixou claro que, agora, tratava-se de uma grandeza escalar; sendo assim, o sinal das grandezas era importante. Tomando então a parte onde seria inserida a discussão sobre Partículas e HC passou-se a discutir a respeito do Potencial de Yukawa. Foi explicado aos alunos como aquele trabalho era importante para que algumas coisas a respeito da estabilidade nuclear fossem resolvidas. O trabalho de Yukawa vinha responder essas questões; no entanto, ainda faltava a comprovação da existência dessa partícula descrita por ele. Foi explicada a parte onde a expressão de Yukawa se reduzia ao potencial Coulombiano quando assumia a massa do fóton (partícula estudada em aula anterior) como zero e que isso acabava por validar mais ainda a expressão.

Quanto à experimentação, explicou-se que na época a única fonte de partículas eram os raios cósmicos e que era desta maneira que se deveriam identificar as partículas propostas por Yukawa. Foi explicado que a teoria de Yukawa trazia agora o que se passou a denominar como Força Residual Forte, e que esta força se sobrepunha à força eletromagnética a curtas distâncias. Um aluno questionou quanto tempo demoraria para que uma teoria dessas fosse aceita e um artigo publicado. O professor disse que tudo dependia de diversos fatores, dentre eles, a comprovação experimental que ajudaria muito. Quanto à publicação, era provável que fosse rápida se comparado há tempos atuais, uma vez que a quantidade de cientistas era bem menor.

Entrando nesta discussão, ainda foi mencionada a situação científica no Brasil e as dificuldades vivenciadas na atualidade. Sobre a previsão da partícula pión, o professor discutiu a respeito de sua provável massa em Elétron Volt, e explicou o significado dessa unidade. Discutiu-se ainda sobre o decaimento de partículas, em especial do pión, sobre como isso se dava, e sobre o fato de que nesse processo poderiam aparecer novas partículas. Neste caso, foi apresentado o múon como produto desse decaimento. Ainda nesse tópico, o professor apresentou o conceito de partícula elementar e antipartículas. Foram apresentados os neutrinos que apareciam no decaimento beta e sua origem na explicação feita por Pauli.

Rapidamente, comentou-se a respeito da detecção do pión pelo Físico brasileiro César Lattes. Discutiu-se ainda a respeito da capacidade dos cientistas que ganharam o Nobel, e que dentre eles mesmos poderia nascer um ganhador do Nobel; bastava para tanto ter paciência, interesse e muito estudo. Passou-se, então, à discussão sobre o decaimento Beta e à previsão feita por Pauli da nova partícula (o neutrino), feita por meio de uma famosa carta enviada a um congresso entre seus pares.

5.5 QUINTO ENCONTRO: O MUNDO DAS PARTÍCULAS

O professor iniciou a aula com o seguinte questionamento: A ciência é neutra? Alguns alunos hesitaram e responderam que ‘sim’. O professor lembrou alguns casos discutidos como, por exemplo, Millikan x Fletcher. A partir desse comentário, os alunos passaram a entender o questionamento. Uma das alunas interferiu, comentando sobre o *fazer ciência*. Em suas palavras, ela afirmou que a ciência sempre tem algum objetivo que envolve outras coisas e não só a ciência pela ciência. Como exemplo, a aluna citou a segunda guerra mundial como uma produção científica voltada para armamentos nucleares. Em seguida, outro aluno questionou sobre a diferença entre tecnologia e ciência. O professor explicou que a tecnologia está mais ligada à aplicação e por consequência o interesse do momento. Isso diferenciava da ciência básica que pesquisa sem ter objetivos de aplicação iniciais, mas que podem sim, posteriormente, servir para a tecnologia.

O professor questionou os alunos a respeito da “genialidade” dos cientistas, e se eles possuíam algo que os diferenciava de outras pessoas, além do estudo árduo. Alguns alunos questionaram se, neste caso, eles mesmos poderiam produzir ciência. O professor respondeu prontamente que ‘sim’; no entanto, o trabalho para se chegar a esse objetivo é demorado e difícil, mas que qualquer um deles poderia se tornar um grande cientista. Sobre a dificuldade da ciência, o professor comentou a respeito da quantidade de alunos que entram em um curso de Física em relação à quantidade de formados. Trouxe para a discussão os possíveis motivos pelos quais muitos deixam seus cursos ligados à ciência, como, por exemplo: salário, falta de reconhecimento, dificuldades no curso etc.

O professor explanou sobre o questionamento inicial, afirmando que a ciência vem cada vez mais apresentando um caráter “não neutro”, e, como exemplo disso, as guerras. Uma das alunas trouxe uma questão a respeito de Einstein, perguntando se o mesmo tinha ajudado a produzir a bomba atômica. O professor explicou que apesar de se trabalhar em determinada área, a aplicação do que se estuda vai além daquilo que se propõe. No caso em questão, os

cientistas envolvidos pensavam em aplicações voltadas para o bem da humanidade; no entanto, à parte dessas intenções, existem aplicações que levam o conhecimento para produzir tecnologia voltada para a guerra. Acrescentou que Einstein ainda enviou uma carta pedindo que não levassem o conhecimento produzido para este viés. Passou-se então à apresentação de slides como previsto.

O professor começou explicando o efeito que uma guerra causa na ciência e nos cientistas durante o conflito. Um fator importante para a ciência é o financiamento, e que num momento desses a maior parte do dinheiro vai para aqueles que produzem ciência e tecnologia voltadas à guerra. Ele mencionou o projeto Manhattan dos Estados Unidos da América (EUA), explicitando o problema da ciência produzida por judeus, que não era bem vista pelos nazistas, e da ciência capitalista que era negada pelos soviéticos. Um aluno comentou que durante a guerra são produzidas muitas “coisas científicas”. O professor concordou; no entanto, ele argumentou que o que fica para a população, muitas vezes, é a destruição provocada, e pouco valor se dá à tecnologia produzida. Como exemplo disso, o professor citou a fissão nuclear, que posteriormente foi usada como forma de geração de energia.

O professor passou a discutir o que ocorria no Brasil nessa época. A Física Nuclear estava em alta, a ponto de recebermos a visita de Compton com interesse de apoio aos EUA na guerra. Isso colaborou com o apoio brasileiro; no entanto, não foi somente por esse motivo. Houve discussões políticas nas quais o Brasil teve apoio dos EUA na construção da Companhia Siderúrgica Nacional. Isso mostra que a ciência pela ciência não existe de fato; ela depende sempre dos interesses de governantes e do contexto histórico, como foi o caso da segunda guerra mundial. O professor passou para a discussão das partículas, retomando os nomes das partículas já vistas e as leis que existiam até então.

Segundo a explicação do professor, o número de partículas aumentou espantosamente e os cientistas precisavam organizar todas elas. Explicou ainda o surgimento do número quântico estranheza que ocorreu devido ao comportamento de certas partículas novas, que não se encaixavam nas explicações atuais. Explanou também sobre o apoio atual dos experimentos uma vez que começaram a construir os aceleradores de partículas. Comentou sobre a criação de pares, e sobre como esse processo se dá fisicamente e matematicamente. Em seguida, passou-se a explicar o modelo octal, que veio contribuir com a classificação das partículas feitas por Gell-Mann.

Ele mencionou um documentário intitulado: O sonho de Mendeleiev. Nesse documentário, foi mostrado que o cientista, depois de muito tempo de trabalho, após um rápido cochilo, acorda e começa a organizar a tabela periódica. A impressão que dá, contado

dessa forma, é que o cientista foi presenteado com um sonho, e que a partir dele a tabela periódica foi organizada. O professor destacou que não se pode desconsiderar todo o estudo feito anteriormente pelo cientista, e que não foi o sonho que resolveu o problema. Uma aluna ainda comentou que já tinha acontecido algo parecido com ela, e que, após um descanso, as coisas pareciam mais fáceis, e ela conseguiu resolver um problema. Mais uma vez, o professor destacou que o problema já estava sendo pensado anteriormente, e que o descanso somente a ajudou a organizar as ideias que já estavam sendo trabalhadas anteriormente. Se não for pensado dessa forma, pode-se imaginar que um dia uma pessoa qualquer acorda e resolve um problema difícilíssimo sem ter contato anterior com o mesmo e que isso se apresentasse como impossível.

Ao continuar, o professor apresentou um modelo octal, mostrando os “buracos” em algumas posições, argumentando que isso ajudava os cientistas a procurar novas partículas que se encaixariam naquelas condições. Foram apresentados nesse momento os quarks que também foram previstos por Gell-Mann pensando justamente nessas propriedades e naqueles “buracos” na teoria, que provavelmente prótons e nêutrons não seriam partículas elementares, e caso não fossem essas novas partículas – os quarks – se encaixariam bem no modelo octal. Aqui, recuperou-se a discussão sobre o núcleo atômico e sua estabilidade agora sobre um olhar diferenciado com as novas partículas. Nessa época, a visão sobre a formação das coisas mudou completamente, uma vez que tudo é formado por quarks, que são chamados de tijolos básicos da matéria. Mostrou-se o próton e o nêutron em suas estruturas básicas, e explicaram-se as cargas de cada um em termos de quarks. Discutiu-se ainda sobre a criação da teoria pelo cientista e que havia a necessidade de confirmação experimental; isso acabou acontecendo, dando mais força a teoria.

O professor deixou claro que as teorias não são o fim do estudo em determinados assuntos, e que podem ser ampliadas ou até mesmo mudadas, e que dependem ainda de novos estudos. Como exemplo disso o professor mencionou a detecção de pentaquarks recentemente em um acelerador de partículas. Um aluno questionou a validade das teorias científicas. O Professor comentou que as teorias são, muitas vezes, um ato de fé naquilo que se estuda e que é necessário que se tenham confirmações para que validem a teoria. Além disso, ele ainda comentou que o reconhecimento do cientista também importa e que, em muitos casos, no passado o nome do cientista por si só já era fato para que boa parte dos demais pares passasse a dar crédito à teoria. Isso atualmente tem diminuído, talvez pela quantidade de cientistas.

Uma nova teoria é apresentada e quase que imediatamente questionada; muitos colegas procuram erros; ou seja, há uma demora maior na aceitação e que não é simplesmente

o nome do cientista que dará todo o crédito à teoria. Contudo, é importante valorizar a ciência básica, e que mesmo não havendo aplicação, pelo menos naquele momento, daquilo que foi descoberto, é possível que no futuro isso se modifique. Discutiu-se ainda sobre os novos números quânticos sabor e cor, que foram necessários para organizar ainda mais as partículas e diferenciá-las. Apresentaram-se os quarks que se conheciam e a detecção de novos quarks para completar a família, e onde foram detectados.

Discutiu-se em seguida sobre a importância da simetria na Física, apresentando os neutrinos e a relação com as suas referentes partículas, demonstrando que havia a necessidade de se detectarem novos neutrinos para completar os pares devido à simetria dos léptons. Foi apresentada também a antimatéria e sua teorização por Dirac, demonstrando a criatividade humana na interpretação de dados e equações, na previsão do pósitron e sua posterior detecção anos depois, o que lhe rendeu o Prêmio Nobel em 1933. Foi comentado pelo professor que em 1995 os cientistas conseguiram formar o primeiro antiátomo, o anti-hidrogênio, o qual tinha um núcleo negativo (antipróton) e um antielétron (pósitron).

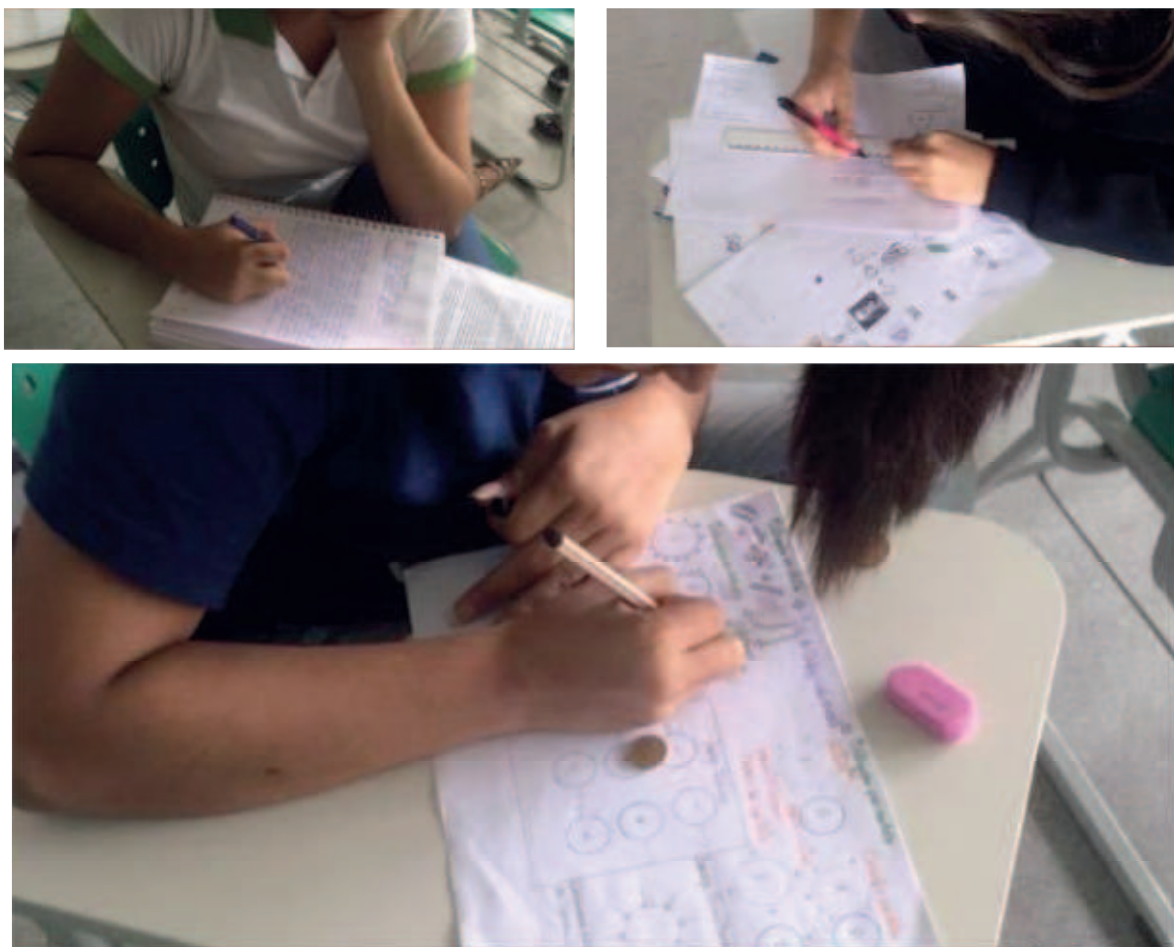
5.6 SEXTO ENCONTRO: O MUNDO DAS PARTÍCULAS – CONTINUAÇÃO

A aula teve início com o professor discutindo a respeito das partículas virtuais, as quais não poderiam ser “vistas”, e que são construtos lógicos que fortalecem a teoria. Para diferenciá-las, o professor explicou o que seriam partículas reais e que estas podem ser “vistas”; isto é, podem ser detectadas por um detector Geiger, enquanto as virtuais não causam nenhuma interferência no detector. Passou-se a discutir sobre as Interações Eletrofracas e suas partículas (W, Z e fóton), apresentando as unificações e consequências para a teoria. Foi apresentada cada partícula e as condições de suas detecções. Discutiram-se as novas partículas – os glúons – e sua atuação na interação forte, retomando a estabilidade do núcleo; por fim, o Bóson de Higgs e sua detecção.

O professor comentou sobre a importância desta detecção que veio a confirmar a teoria de Higgs, que sofria descrença de outros cientistas; a partir da detecção a teoria ganhou força. Apresentou-se então a tabela com o Modelo Padrão, e com ela foram revistas todas as partículas discutidas até então, denotando suas propriedades como massa, carga e spin. Revisaram-se as interações, sua atuação e suas partículas mediadoras. Apresentou-se o gráviton e a sua busca por ainda não ter sido detectado. Passou-se às grandes máquinas da Física, os primeiros detectores – câmara de nuvens e de bolhas – e à construção do LHC, seu funcionamento e à energia envolvida no processo.

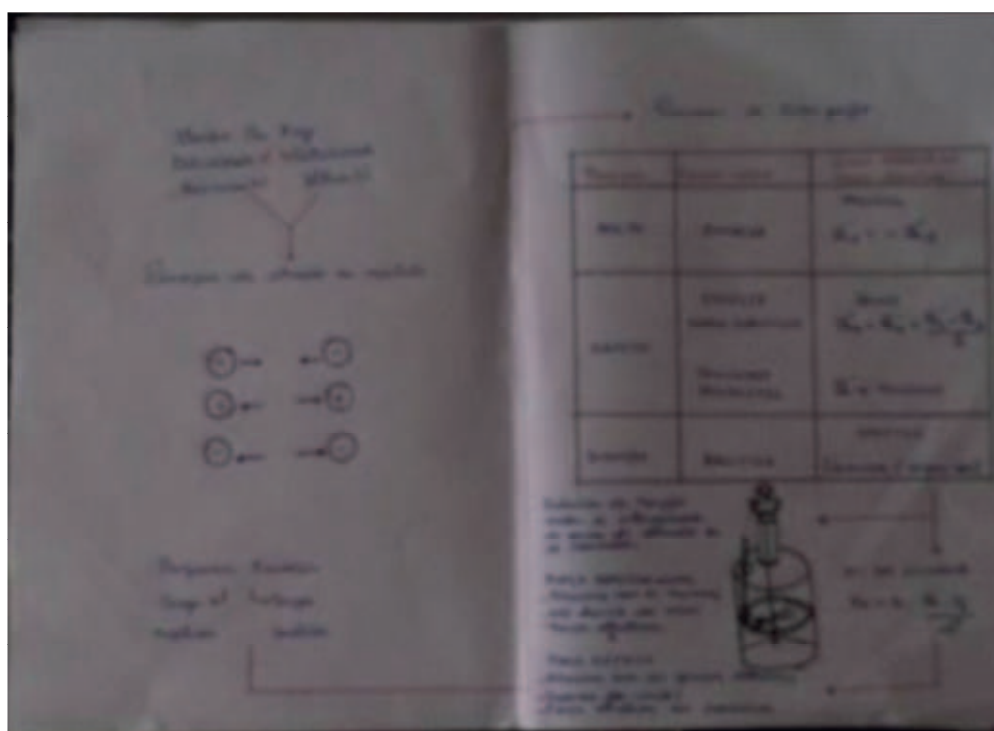
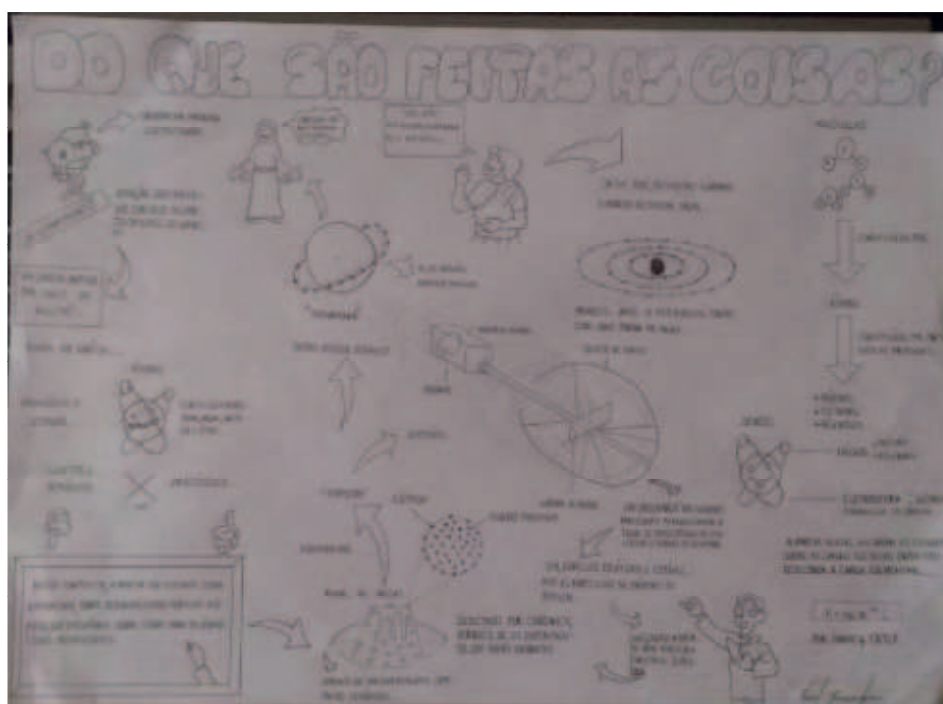
Um aluno perguntou se o Brasil possuía alguma máquina dessas, ao que o professor respondeu ‘sim, mas não nas dimensões da máquina apresentada; ele citou como exemplo os aceleradores, na Universidade de São Paulo, e um novo projeto da Universidade de Campinas. Apresentaram-se algumas fotos do LHC e de seus experimentos e uma figura da detecção do Bóson de Higgs. Uma aluna perguntou a respeito dos cientistas que trabalham no CERN. O professor informou que lá trabalham mais de 1000 cientistas de todas as partes do mundo. Como exemplo da dificuldade de se fazer ciência, foi usada a detecção do Bóson de Higgs e a dificuldade passada pelo cientista de não ter como comprovar sua teoria. Ao final, foi passado um vídeo de uma câmara de nuvens caseira onde os traços feitos pelas partículas eram vistos claramente.

Figura 21 – Alunos trabalhando nos mapas e textos



Fonte própria

Figura 22 – Exemplos de mapas feitos pelos alunos



Fonte própria.

5.7 ANÁLISE DOS ENCONTROS

1º ENCONTRO - Os alunos aparentaram interesse no tema, uma vez que é algo pertencente ao seu cotidiano. Algumas respostas previstas fizeram parte das discussões. A eletricidade está presente de diversas formas, e isso faz com que os questionamentos

apareçam mais facilmente. A introdução da HC no conteúdo pareceu assertiva, uma vez que os alunos sempre imaginam aulas de disciplinas de exatas cheias de equações e poucos textos. Os momentos no qual introduzíamos comentários sobre a HC, os alunos se impressionavam com atitudes tomadas por cientistas em relação à construção do conhecimento científico, notando que eles eram pessoas normais como nós, e estavam sujeitos aos mesmos problemas enfrentados por uma pessoa comum. A matemática envolvida nessa aula, apesar de pequena, apresentou-se como um problema para os alunos. Aqui, o professor teve de despender uma atenção especial para relembrar alguns conceitos matemáticos que são necessários durante o curso. Uma aula desfocada da matemática e centrada em conceitos pareceu bem mais proveitosa tanto para o aluno como para o professor. A matemática deve fazer parte, mas não pode ser o centro da aula. As discussões aconteceram durante a aula, e a curiosidade do aluno foi motivada em consonância com o tema desenvolvido.

2º ENCONTRO - As discussões foram privilegiadas durante a aula, e os alunos se sentiram mais confiantes para apresentar seus questionamentos. A HC apresentada contribuiu, mais uma vez, para a mudança de visão a respeito do cientista e suas práticas, trazendo-o para mais perto dos alunos. As contribuições das discussões foram enormes, uma vez que o questionamento de um deles pode ser o de vários. A matemática, mais uma vez, apresentou-se e constatou-se que nesse momento era necessário dar um pouco mais de atenção aos alunos. Alguns deles apresentaram certas dificuldades, mas perfeitamente sanáveis durante o processo. Várias informações foram trazidas pelos próprios alunos o que tornou a aula mais interativa, proporcionando mais conhecimento tanto para o aluno quanto para o professor. Logo, o pequeno experimento feito pelos alunos durante a aula motivou a busca por explicações, ajudando e muito o transcorrer da aula.

3º ENCONTRO – Mais uma vez as discussões foram produtivas, e a aplicação de experimentos trouxe muito benefício ao desenvolvimento da aula. Foi necessário um cuidado todo especial com o fator tempo durante os experimentos. O controle é necessário para que a aula siga como planejada. Outro foco importante que merece comentário foi a resolução dos exercícios. Deve-se dar atenção especial a isso, uma vez que a resolução do exercício é demorada, devido à dificuldade matemática que os alunos apresentam. A Física envolvida pareceu mais compreensiva que a matemática. Foi necessário, em vários momentos, relembrar alguns conceitos básicos de matemática e vetores. Durante as resoluções de exercícios, é sempre bom reforçar os conceitos envolvidos no problema juntamente com outros que já

foram apresentados. Em alguns experimentos apresentados, os alunos se apegaram mais às discussões do que à explicação do experimento, como no caso do Efeito HBT²¹.

4º ENCONTRO – O decorrer da aula aconteceu como previsto. Em alguns momentos, ampliaram-se algumas discussões nas quais o professor teve que intervir para que não se estendesse tanto, e nem saísse do foco da aula. Os vídeos apresentados no início ajudaram nas discussões. Optou-se por apresentar os vídeos em detrimento aos experimentos por questão de tempo, uma vez que os alunos se empolgaram, e quiseram continuar com os experimentos. A parte de resolução de problemas ocorreu de forma facilitada, uma vez que já tínhamos feito alguns exercícios parecidos nas aulas anteriores e os conceitos matemáticos envolvidos pareceram um pouco menos complicados para os alunos, não havendo necessidade de explicação à parte sobre regras matemáticas básicas. A parte que envolvia HC mais uma vez foi interessante, e gerou alguma discussão com os alunos a respeito dos cientistas e da dificuldade em se fazer ciência.

5º ENCONTRO – A aula foi basicamente expositiva, e os alunos interferiam apresentando questionamentos que geravam algumas discussões. No questionamento inicial, a respeito de a ciência ser neutra ou não, ainda havia alunos que não sabiam responder, e somente depois de algumas explicações e recordações de outros encontros é que eles puderam perceber como a ciência é envolta em diversos fatores que interferem nela mesma, e que os cientistas são pessoas comuns sujeitos aos investimentos externos e a decisões políticas. No transcorrer da aula, mais discussões aconteceram, agora com sentido de dúvidas a respeito do conteúdo explanado. O conteúdo desse encontro foi extremamente expositivo, e as discussões precisaram ser estimuladas para que a aula não ficasse maçante. As novas informações a respeito da nova constituição da matéria apresentada – os quarks – geraram surpresa em alguns alunos, mudando seus referenciais a respeito do que as coisas são feitas. Alguns alunos discutiram se a ciência sempre trazia benefícios, e se isso era realmente necessário, já que em muitos casos um lado “negro” da ciência viria junto, como foi o caso da bomba atômica.

²¹ O nome é dado devido aos seus descobridores - Robert Hanbury Brown (1916-2002) e Richard Quentin Twiss (1920–2005) - mais informações sobre o efeito HBT:
<<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5138626/>>

6º ENCONTRO – Nessa aula, os alunos ficaram atentos sem muita discussão, talvez por se tratar de algo novo e desconhecido por eles. Os dados foram apresentados aos alunos e os questionamentos se deram poucas vezes quando o professor os instigava. Alguns alunos levantaram a possibilidade de pessoas como nós podermos contribuir com a ciência, e se interessaram sobre o funcionamento do CERN. Algumas alunas ficaram impressionadas quando o professor disse que quem dirigia o CERN era uma mulher. O que se pretendia com esta sequência era que os alunos pudessem perceber que a ciência está muito mais próxima deles do que eles mesmos pensam, e que eles podem, sim, considerar a ciência como uma área de atuação, uma vez que o cientista não é alguém superior a eles, e que basta interesse e estudo para que possam contribuir com a ciência.

5.8 CONSTRUÇÃO DO VÍDEO

Após as aulas, o objetivo foi a junção do conteúdo e apresentá-lo em forma de vídeo explicativo. Os textos e mapas conceituais serviram de ponto de partida para a construção de um texto narrativo que foi usado. Para o desenvolvimento da atividade, a turma escolhida se dividiu de forma que cada um pudesse contribuir com o que lhe fosse mais viável, de acordo com suas habilidades. Três alunas se propuseram a montar os textos narrativos por se sentirem com mais habilidade para isso. Após a construção dos textos, dois alunos se propuseram a desenhar os elementos que seriam apresentados no vídeo. Para isso, a turma, juntamente com o professor, pontuou o texto narrativo com o que deveria aparecer no vídeo. Isso gerou o que foi chamado de texto animado. Como exemplo, temos um trecho apresentado abaixo:

Do que são formadas as coisas? (Imagem da frase do que são formadas as coisas?)

Durante toda história da humanidade sempre existiu a curiosidade para descobrir do que são formadas as coisas. Na Grécia antiga, Tales de Mileto (entra a palavra Grécia e a estátua de Tales) descobriu que, ao atritar o âmbar com a pele de carneiro (entra imagem do âmbar e pele de um carneiro), ele passou a atrair outros materiais. Assim, deu-se origem a palavra eletricidade, pois em grego âmbar significa elektron (imagem: palavra âmbar = elektron).

Ainda na Grécia, Leucipo e Demócrito (entra imagens dos dois filósofos) sugeriram que as coisas eram formadas por partes indivisíveis e eternas, chamadas de átomos (imagem de alguém quebrando uma pedra até pedaços bem pequenos). Em contrapartida, Aristóteles

propôs a formação deles por meio dos cinco elementos: terra, água, ar, fogo e éter (imagem de Aristóteles cercado pelos elementos).

Note-se que as informações colocadas entre parênteses serviram de base para que os alunos desenhistas pudessem desenvolver o que se pretendia para a montagem do vídeo.

Figura 23 – Desenhos produzidos pelos alunos para o vídeo

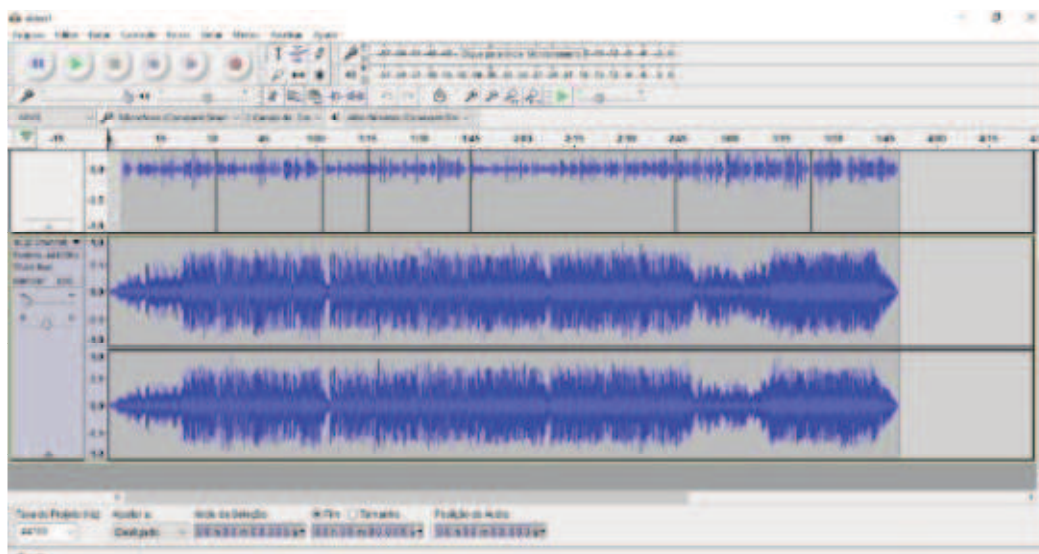


Fonte: arquivo próprio

Após a definição de todos os desenhos que foram utilizados, outra equipe de alunos ficou encarregada do áudio e da filmagem do vídeo. Para o áudio foi feita uma audição individual para cada aluno, pedindo a eles um gravaassem um áudio de leitura do primeiro parágrafo do texto, com o objetivo de encontrar o que tivesse melhor dicção para a narração do texto. Encontrado o aluno, passou-se à gravação da narração. Nessa fase, a gravação foi feita parte a parte, e depois foi feita a junção em um único arquivo, utilizando um programa de edição de áudio gratuito chamado Audacity²². É possível que algum aluno domine a manipulação desses tipos de programas; ainda assim, esse programa, em específico, não oferece dificuldades, de forma que o próprio professor pôde utilizá-lo. O que se fez no programa foi cortar partes do áudio que não entrariam na narração e unir todas as partes para formar o arquivo completo.

²² Audacity – programa gratuito de fácil manipulação - <http://www.baixaki.com.br/download/audacity.htm>

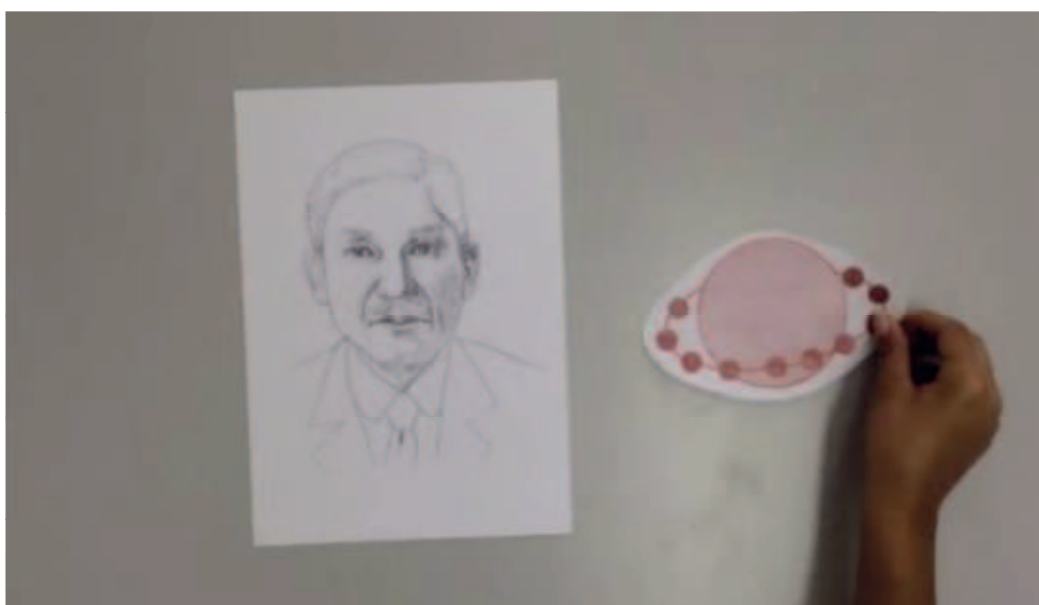
Figura 24 – Programa de edição de áudio Audacity



Fonte: Arquivo próprio

Após o áudio concluído, passou-se à filmagem do vídeo. A proposta foi gravar um vídeo no qual somente as mãos dos alunos e as figuras aparecessem na tela. Para isso, foi montado um aparato para fixar o celular na parte de cima, de forma a filmar uma região da mesa que pudesse comportar a troca de desenhos feitos pelos alunos de acordo com o áudio.

Figura 25 – Formato da gravação do vídeo explicativo



Fonte: Arquivo próprio

Aqui foi necessária uma discussão de como seria feita a disposição dos desenhos e um ensaio para que pudéssemos avaliar quando um desenho entraria em cena, e quando o mesmo

sairia dela. Após o ensaio, fomos direto para a gravação. Assim como no áudio, a gravação foi feita em partes; depois utilizando um programa chamado Movavi Video Editor²³, organizamos o vídeo, cortando as partes que continham erros, e juntando as corretas para a formação do material inteiro. A manipulação do programa é simples e intuitiva, e é possível que algum aluno conheça esse ou outro editor de vídeos. Nele, foi possível cortar o áudio feito na gravação do vídeo, onde normalmente é possível ouvir comentários durante a gravação, e fazer a junção do áudio correto gravado separadamente.

Esse foi apenas o primeiro vídeo²⁴ de uma série a ser produzida, pensando nas demais aulas da sequência didática apresentada nesta dissertação. Como dito anteriormente, o projeto pode ser executado com qualquer parte do conteúdo, bastando para tanto a organização prévia e muito trabalho para execução da proposta.

²³ Movavi video editor – download: <https://www.movavi.com/pt/videoeditor/>

²⁴ Vídeo produzido pelos alunos - https://youtu.be/I_I1EcRpGl8

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesta seção, apresentamos as conclusões finais a respeito do trabalho e dos objetivos do mesmo, lembrando a hipótese inicial: é possível que a HC, utilizada sob a forma de discussões, tendo o aluno como construtor de uma animação/vídeo, tratando um ponto específico da Física, seja um elemento motivador para o ensino de Física? Discutiremos o tema abordado juntamente com as possíveis abordagens feitas e o que se obteve de frutos em nosso trabalho.

Considerando a forma antiga de trabalho ao iniciar a vida como professor de Física, e lembrando-me das aulas rápidas, construídas apenas para o próprio professor e tidas como “aulas show”, é fácil perceber a mudança drástica daquele primeiro profissional para o que me tornei atualmente. A expectativa em ensinar Física de forma diferente, utilizando abordagens da HC se fez de grande valia para essa mudança na qual a disciplina deixa de ser apenas um amontoado de fórmulas jogadas aos alunos numa sequência rígida e sem contexto, passando a ser mais interessante e contextualizada.

Considerando os argumentos expostos em Forato, Martins e Pietrocola (2011), levando as discussões a respeito da ciência como uma necessidade não puramente racional e sim como uma atividade humana na qual o contexto cultural, as relações, os dilemas, as necessidades econômicas, as influências extracientíficas etc., nos levam a apresentar ao aluno um novo modelo de aula, diferentemente daquela aula focada em aprendizado de fórmulas e aplicações matemáticas fazendo com que sejam, de fato, superadas.

Considerando o aluno como parte principal da aula, o mesmo se apresentou em seus questionamentos e criatividade durante o processo, o que possibilitou discussões construtivas tanto para o professor como para o aluno. O trabalho em se construir um material que atendesse ao objetivo foi difícil, e para cada parte da sequência é possível ampliar as discussões ou ainda restringir-se a alguns recortes. Quando se tem por objetivo a construção de textos que abordem a HC, devem-se levar em consideração fatores como o conhecimento do professor, como também do público e do objetivo que se tem em apresentar determinado conteúdo histórico.

Neste trabalho, optou-se por levar em consideração o conteúdo naturalmente dado aos terceiros anos do Ensino Médio, a Eletrostática, inserindo a Física de Partículas como conhecimento extra, juntamente com a abordagem histórica. A abordagem de HC tem como objetivo atrair o aluno e motivá-lo a estudar Física. Não podemos responder objetivamente ao questionamento de Robilotta (1998): Como tornar os assuntos mais atrativos aos alunos? Mas

podemos indicar uma forma com a qual percebemos um aumento razoável no interesse e na motivação pelo conteúdo de Física. A motivação se torna elemento muito importante a se destacar, uma vez que um aluno motivado aumenta seu interesse e se autoalimenta na construção do seu próprio conhecimento. O aspecto motivacional explorado por Seker (2012) nos leva a perceber que o aluno pode ser ator principal em sua aprendizagem; basta um estímulo adequado para que isso possa acontecer.

No nosso trabalho, ao apresentar conceitos da HC, percebemos que os alunos se interessaram mais pelo assunto e passaram, com o tempo, a não encarar a disciplina de Física como uma disciplina que traz somente fórmulas e exercícios cansativos. A matemática cumpriu seu papel em pontos-chaves após uma discussão histórica e conceitual do assunto. Durante as aulas, as discussões se mostraram ideais para o aumento do interesse do aluno de forma a trabalhar os aspectos reflexivos e críticos dos mesmos.

A utilização de textos originais da época, bem como a discussão sobre os mesmos, trouxe motivação e interesse do aluno pela ciência. A capacidade de perceber a não neutralidade da ciência pareceu, inicialmente, algo estranho para os alunos, uma vez que é comum aceitar a maioria das informações sem ao menos discuti-las. Para alguns alunos, pareceu algo muito estranho não considerar um determinado cientista como gênio e alguém superior a eles.

Ao mostrar para o aluno que um cientista era uma pessoa comum, e que passava por problemas particulares, parecia algo muito distante, uma vez que os cientistas eram tidos como superpessoas, que não estavam sujeitos a uma vida cotidiana juntamente com seus problemas. A partir das discussões, ele percebeu que a ciência é algo próximo, e não é feita tão somente por gênios. A aplicação do projeto foi de grande valia para um caso específico de duas alunas que demonstraram mais interesse em seguir pelas ciências em nível superior.

Ao terminar a aplicação da sequência apresentada, ainda não chegamos ao final, e é justamente esse pós-aula que torna a aprendizagem dos alunos motivada. A proposta foi de construir animações/vídeos como conhecimento abordado durante as aulas. Os alunos optaram por construir vídeos por acreditarem ser mais explicativos e se adequarem ao conteúdo abordado. Para a construção, os alunos se utilizaram textos e mapas conceituais construídos durante as aulas, e a partir deles construíram narrativas pensando em como apresentá-las em um vídeo. Isso demandou mais estudo do conteúdo fazendo com que o aluno estudasse mais tempo o assunto, o que fez com que ele se tornasse um aluno protagonista (ZABALA, 1998).

Nessa etapa, o professor pode optar por variadas formas de concretizar sua aplicação, como dito, optamos por construções de vídeos, mas o professor pode abordar de outras formas, como, por exemplo: teatro, painéis, artigos etc. Uma vez escolhida a forma na qual será concluído o projeto, o professor deve apoiar os alunos com elementos necessários para a construção do mesmo, indicando referências, corrigindo os eventuais erros que possam aparecer, incentivando habilidades individuais como alunos desenhistas, alunos que se dedicam à escrita etc.

A abordagem com a HC se mostrou produtiva, e trouxe uma nova perspectiva de apresentação da disciplina para os alunos e para o professor, de forma a tornar assertiva a hipótese apresentada no início da discussão, a qual leva consigo todo um crescimento como profissional e ser humano conhecedor dos seus limites. A proposta serve apenas como base para a criação de novos recursos dentro da HC, pensando em materiais voltados para alunos do Ensino Médio. Novas propostas seguindo estes parâmetros com novos conteúdos são plenamente possíveis e desejáveis.

Após a montagem do vídeo, alguns problemas foram identificados. O fato de o texto apresentar “descobriu a partícula” demonstra que o termo “detectar” não foi absorvido pelos alunos mesmo tendo sido discutido em aula. Uma construção linear da História também mostra a linearidade a que o ensino é submetido e que dessa forma compromete-se a profundidade do trabalho por sua extensão. Esses problemas são citados pela literatura, e servem para que possamos pensar mais em como mudar essas expectativas. Mesmo com os problemas, o objetivo motivacional foi atingido.

REFERÊNCIAS

- ABDALLA, M. C. B. **Sobre o Discreto Charme das Partículas Elementares**. Física na Escola, v. 6, n. 1, 2005. Disponível em: <<http://www.sbfisica.org.br/fne/Vol6/Num1/charme.pdf>>. Acesso em 13 mar. 2017.
- AGUILERA, V. **O descobrimento do elétron ou Elétron, o destronador do átomo**. III Semana da Física, UEL - Londrina, PR, 2010 disponível em <<http://valdiraguilera.net/sagado-eletron.pdf>>. Acesso em 10 mar. 2017.
- AVANCINI, S. S.; MARINELLI, J. R. **Tópicos de Física nuclear e partículas elementares**. Florianópolis: UFSC, 2009.
- BALDINATO, J. O.; PORTO, P. A. **Variações da história da ciência no ensino de ciências**. In: MORTIMER, E. F. (org.), Anais do VI Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências. Belo Horizonte: ABRAPEC, 2008.
- BASSALO, J. M. F. **As Câmaras de "Névoa" (Wilson) e de Bolhas. Seara da Ciência: curiosidades da Física**. Disponível em: <<http://www.seara.ufc.br/folclore/folclore14.htm>> em 28/02/15>. Acesso em: 29 abr. 2017.
- BISTAFA, S. R. A lei de Torricelli $v=\sqrt{2gh}$: Uma tradução comentada de sua origem no De Motu Aquarum (Do Movimento das Águas). **Revista Brasileira de História da Ciência**, v. 7, p. 110-119, 2014.
- BRASIL. Ministério da educação. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. **Parâmetros Curriculares Nacionais: ensino médio**. Brasília: 1999.
- BRENNAN, R. **Gigantes da Física, uma história da Física moderna através de oito biografias**. Rio de Janeiro: Jorge Zahar ed, 2003.
- CERN. **About CERN**. Disponível em: <<http://home.cern/about>>. Acesso em 14 mar. 2017.
- CHADWICK, J. **Possible Existence of a Neutron**. Nature 129. 1932a, p 312.
- _____. **Existence of a Neutron**. Proceedings of the Royal Society of London 136, 1932b, p. 692-708.
- DIONISIO, P. H. Albert Einstein e a Física Quântica. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 22, p. 147-164, 2005
- DIRAC, P. A. M. **Theory of electrons and positrons, Nobel Lecture**, December 12, 1933 Disponível em <https://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1933/dirac-lecture.html>. Acesso em 13 mar. 2017.
- ENDLER, A. M. F. **Introdução à Física de Partículas**. 1ª Edição. Editora Livraria da Física, 2010.

FAUTH, A. C.; GROVER, A. C.; CONSALTER, D. M. Medida da vida média do múon. **Revista Brasileira de Ensino Física**, São Paulo, v. 32, n. 4, p. 4502-1-4502-7, 2010. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-11172010000400012&lng=en&nrm=iso>. Acesso em 12 mar. 2017.

FLETCHER, H. “My work with Millikan on the oil-drop experiment”, **Physics Today**, June 1982, pp. 43-47.

FORATO, T.; MARTINS, R. A.; PIETROCOLA, M. **Historiografia e Natureza da Ciência na sala de aula**. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 28, n. 1: p. 27-59, abr 2011. Disponível em: <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2011v28n1p27>>. Acesso em 28 fev. 2017.

FREIRE Jr., O.; SILVA, I. Diplomacia e ciência no contexto da Segunda Guerra Mundial: a viagem de Arthur Compton ao Brasil em 1941. **Revista Brasileira de História** (Online), v. 33, p. 181-201, 2014.

GLIOZZI, M. Torricelli, Evangelista. In: GILLISPIE, C.C. (org). **Dicionário de biografias científicas**. Trad, Carlos Almeida Pereira... [*et.al*]. Rio de Janeiro: Contraponto, 2007. 3V.

HARVARD, Project Physics Course . - **Unidade Suplementar A - Física de Partículas**. Disponível em: <http://fep.if.usp.br/~profis/projetos/HARVARD/Portugues/PROJETO_FISICA_Unidade_suplementar_A.pdf>. Acesso em 15 mar. 2017.

KRASILCHIK, M. **Reformas e realidade: o caso do ensino das ciências**. São Paulo: Perspectiva, 14(1), 85–93, 2000.

LOPES, C. V. M. **Modelos atômicos no início do século XX: da Física clássica à introdução da teoria quântica**. 173f. Tese. (Doutorado em História da Ciência) - Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, São Paulo, 2009.

LOPES, J. L. **Uma História da Física no Brasil - As partículas elementares e a estrutura da matéria**. São Paulo: Ed Livraria da Física, 2004.

MACÊDO, M. A. R. A equação de Torricelli e o estudo do movimento retilíneo uniformemente variado (MRUV). **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 32, n. 4, 4307, 2010

MAGALHÃES, M. F; SANTOS, W. M. S.; DIAS, P. M. C. Uma Proposta para Ensinar os Conceitos de Campo Elétrico e Magnético: uma Aplicação da História da Física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**. v.24, 2002. p. 489-496.

MARQUES, A. Reminiscências de César Lattes. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 27, n. 3, p. 467 – 482, 2005.

MARTIN, B. R.; SHAW, G. **Particle Physics**. J.Wiley & Sons ed., 2008.

_____. **Particle Physics**. [s.l.]: John Wiley & Sons, 2008 3rd ed.

MARTINS, A. F. P. **História e filosofia da ciência no ensino: Há muitas pedras nesse caminho.** Caderno Brasileiro de Ensino de Física, Florianópolis v. 24, n.1, p.112-131, abr. 2007. Disponível em: <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/6056>>. Acesso em 28 fev. 2017.

MARTINS, L. A. P. **História da ciência, objetos, métodos e problemas.** Ciência & Educação, Bauru, v. 11, n. 2, p. 305-317, 2005. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ciedu/v11n2/10.pdf>>. Acesso em: 28 fev. 2017.

MARTINS, R. A.; Silva, C. C.; Prestes, M. E. B. History and Philosophy of Science in Science Education, in Brazil. In: Michael Matthews. (Org.). **International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching.** 1ed.Dordrecht: Springer, 2014, v. 1, p. 2271-2299.

MATTHEWS, M. R. **História, Filosofia e Ensino de Ciências: a tendência atual de reaproximação.** Caderno Catarinense de Ensino de Física, v. 12, n. 3, p. 164-214, 1995. Disponível em: <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/7084>>. Acesso em 28 fev. 2017.

MILLIKAN, R. A. **Reviews of Modern Physics.** v. 21, 1949, p. 343. Disponível em: <<http://journals.aps.org/rmp/pdf/10.1103/RevModPhys.21.343>>. Acesso em 12 mar. 2017.

_____. **Phys. Rev.** 2, 109-143 (1913).

MOREIRA, I. C. Conferência Nobel de Thomson sobre a descoberta do elétron. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 19, p. 299-307, 1997

MOREIRA, M. A. A Física dos quarks e a epistemologia. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, 29(2):161-173, 2007. Disponível em: <<https://www.if.ufrgs.br/~moreira/quarks.pdf>> Acesso em 13 fev. 2017.

_____. O modelo padrão da Física de Partículas. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 31, p. 1306, 2009. Disponível em: <<https://www.if.ufrgs.br/~moreira/modelopadrao.pdf>> Acesso em 13 mar. 2017.

_____. **Física de Partículas: uma abordagem conceitual e epistemológica.** São Paulo: Editora Livraria da Física, 2011.

MOURA, B. A. O que é natureza da Ciência e qual sua relação com a História e Filosofia da Ciência? **Revista Brasileira de História Da Ciência**, 7(1), 32-46, 2014.

OLIVEIRA, R. A.; SILVA, A. P. B. História da Ciência e Ensino de Física: uma análise metahistoriográfica. In: PEDUZZI, L. O. Q.; MARTINS, A. F. P.; FERREIRA, J. M. H. (Org.). **Temas de História e Filosofia da Ciência no Ensino.** Natal: EDUFRN, 2012. Disponível em: <<http://ppgeet.ufsc.br/files/2012/11/Temas-de-Historia-e-Filosofia-da-Ciencia-no-Ensino1.pdf>>. Acesso em 28 fev. 2017.

OSTERMANN, F.; MOREIRA, M. A. **Atualização do currículo de Física na escola de nível médio: um estudo desta problemática na perspectiva de uma experiência em sala**

de aula e da formação inicial de professores. Caderno Catarinense de Ensino de Física, Florianópolis, v. 18, n.2, p. 135-151, 2001.

PIMENTA, J. J. M.; BELUSSI, L. F. B.; NATTI, E. R. T.; NATTI, P. L. O Bóson de Higgs. **Revista Brasileira do Ensino de Física**, v. 35, n. 2, 2013

PINHEIRO, L. A.; MOREIRA, M. A.; COSTA, S. S. C. **Do átomo grego ao Modelo Padrão:** os indivisíveis de hoje, Textos de apoio ao professor de Física, 2011, v. 2, n. 6. Disponível em: <www.if.ufrgs.br/ppgenfis/textos_apoio>. Acesso em 12 mar. 2017.

PINHEIRO, L. A. **A câmara de nuvens:** uma abordagem integrada entre a Física Clássica e a Física Moderna. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 32, p. 517-528, 2015

ROBILOTTA, M. R. **O cinza, o branco e o preto: da relevância da história da ciência no ensino da Física.** Caderno Catarinense de Ensino de Física, Florianópolis, v. 5, n. 5, p. 7-22, 1988. Disponível em: <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/10071>>. Acesso em 28 fev. 2017.

SAMPAIO, J. L.; OLIVEIRA, A. A.; LOPES, B. B. R. ; FELIX, A. S. B. ; SILVA, I. S. ; SILVA, K. M. L. ; SILVA, A. P. B. . **Exercitando a criatividade e aprendendo Física: fazendo animações para a história da Física.** In: XXII Simpósio Nacional de Ensino de Física, 2017, São Carlos. Anais do XXII SNEF. São Paulo: Sociedade Brasileira de Física, 2017. v. 1. p. 1-8.

SAMPAIO, J. L.; SILVA, A. P. B. **A história da Física em animações: Torricelli e o movimento das águas.** In: 15 Seminário Nacional de História da Ciência e da Tecnologia, 2016, Florianópolis. 15º Seminário Nacional de História da Ciência e da Tecnologia. Florianópolis: UFSC, 2016. v. II. p. 102-114.

SANTOS, C.A. A participação de Fletcher no experimento da gota de óleo de Millikan. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, 17 (1), 107-116 (1995).

SANTOS, J L. **A Descoberta do Neutrino** – Projeto Faraday, 2003 disponível em: <<http://faraday.fc.up.pt/Faraday/Recursos/artigos/neutrino.pdf/view>>. Acesso em 12 mar. 2017.

SCHMIEDECKE, W. G.; PORTO, P. A. A história da ciência e a divulgação científica na TV: subsídios teóricos para uma abordagem crítica dessa aproximação no ensino de ciências. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**. 15(3), 627-643, 2015.

SCHWARTZMAN, S. **A Ciência no Período de Pós-Guerra.** In: CNPq, Programa de Política e Administração de C&T, Anais do II Seminário, Brasília, 1989, 17-22. Disponível em: <<http://archive.org/details/ACienciaNoPeriodoDePosGuerra>> acessado em: 20 mai. 2017.

SEKER, H. **The instructional model for using history of Science.** Educational Sciences: Theory and Practice, 12 (2), 1152-1158, 2012.

SILVA, I. **Uma breve história sobre o conceito de fóton no Ano Internacional da Luz.** Caderno de Física da UEFS, v. 13, p. 1602.1-1602.7, 2015.

TEIXEIRA, E. S.; GRECA, I. M.; FREIRE JR, O. Uma revisão sistemática das pesquisas publicadas no Brasil sobre o uso didático de história e filosofia da ciência no ensino de Física. In: PEDUZZI, L. O. Q.; MARTINS, A. F. P.; FERREIRA, J. M. H. (Org.). **Temas de História e Filosofia da Ciência no Ensino**. Natal: EDUFRN, 2012. Disponível em: <<http://ppgect.ufsc.br/files/2012/11/Temas-de-Historia-e-Filosofia-da-Ciencia-no-Ensino1.pdf>>. Acesso em 28 fev. 2017.

THOMSON, J. J. **Discovery of the electron - Recollections and Reflections**. Ed. G. Bell and Sons, London, 1936, p. 341.

VIEIRA, C. L. **História da Física - artigos, ensaios e resenhas**. 1. ed. Rio de Janeiro: CBPF, 2015. v. 1. Disponível em: <http://mesonpi.cat.cbpf.br/escola2015/downloads/material/historia_da_fisica.pdf>. Acesso em 12 mar. 2017.

_____. **Lattes: nosso herói da era nuclear**. A Física na Escola (Impresso), v. 6, p. xx, 2005.

WEINBERG, S. **Sonhos de uma Teoria Final – Contra a Filosofia**. Ed. Rocco, 1994.

ZABALA, A. **A prática Educativa: Como ensinar**. Porto Alegre: Artmed, 1998.

APÊNDICE - A Proposta Educacional / Sequência de Ensino



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CAMPUS I – CAMPINA GRANDE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL DE ENSINO DE FÍSICA - MNPEF**

**Eletrostática e Física de Partículas sob o olhar da História da
Ciência - Uma proposta para a construção de vídeos no Ensino
Médio**

**JOÃO LUÍS SAMPAIO
ANA PAULA BISPO DA SILVA**

Sequência de Ensino para Professores

**CAMPINA GRANDE
2017**

Apresentação

Prezado professor,

A disciplina de Física para o ensino médio tem passado, há anos, por ser uma daquelas na qual o aluno apresenta maior dificuldade, e isso se dá, por vezes, por tratar a apresentação da disciplina como uma extensão da matemática, apenas com apresentação de equações e resolução das mesmas. O material elaborado vem na contramão, apresentando a disciplina tendo como eixo a História da Ciência, mostrando ao aluno faces da ciência que a aproximam do cotidiano do aluno. O principal objetivo desta sequência é tornar a disciplina mais humana fazendo com que o interesse e a motivação do aluno sejam maiores, tirando a característica matemática do foco principal, ampliando seus conhecimentos e sinalizando uma real possibilidade ao aluno de uma carreira científica.

Sumário

1. Proposta de sequência de aulas	3
1.1 Encontro 1 - Do que são formadas as coisas?	3
1.2 Encontro 2 - Atração ou Repulsão?	11
1.3 Encontro 3 - Campos invisíveis	20
1.4 Encontro 4 – Energia	30
1.5 Encontro 5 - O Mundo das Partículas	39
1.6 Encontro 6 - O Mundo das Partículas – Continuação	46
2. Montagem do vídeo	54

1. Proposta de sequência de aulas

Objetivo geral: Apresentar o conteúdo de eletrostática, fazendo uma junção com Física de Partículas.

Objetivo específico: Apresentar as partículas do mundo subatômico aos alunos mostrando a gama de partículas detectadas desde o século passado e que continuam sendo estudadas neste século. Entender a formação básica da matéria e suas menores partículas hoje estudadas e os benefícios trazidos pela pesquisa no cotidiano.

1.1 Encontro 1

Tempo estimado: 2 aulas

Tema: Do que são feitas as coisas?

Conteúdo: Prótons, elétrons e nêutrons – Quantidade de carga.

Desenvolvimento:

Começa-se utilizando o tema como pergunta inicial. É possível que a resposta mais comum seja: por átomos, professor. A partir dessa resposta sugere-se que o professor questione acerca de qual é a representação de átomo para os alunos e o que eles conhecem a respeito. É interessante que se peça que sejam desenhados os modelos que os alunos conhecem. Passa-se a apresentação do conteúdo por slides (1 a 13 abaixo).

Possíveis discussões:

- Apresentar as previsões e detecções de elétrons, prótons e nêutrons.
- Thompson e o elétron.
- A problemática de Kaufmann e a doutrina lógico-positivista.
- O modelo de Nagaoka e a crítica de Schott.
- Millikan x Fletcher.
- A transmutação e o próton.
- A estabilidade do núcleo e o nêutron.
- Apresentar as dificuldades e controvérsias.

- Apresentar vídeos, fotos ou o próprio experimento sobre raios catódicos - <https://www.youtube.com/watch?v=1dPv5WKBz9k>

Separar alguns minutos ao final da aula para que os alunos produzam um texto em conjunto sobre o que se viu na aula objetivando a montagem do roteiro narrativo para a animação. Isso pode ser feito mais rapidamente apresentando palavras chaves e com elas os alunos podem ligar as mesmas pensando nos conceitos discutidos.

Lista de palavras:

Ambar **Thomson** **Aristóteles**
isolantes **modelo atômico**
transmutação **raios catódicos**
carga elementar **propriedades** **elétron**
Schott **condutores**
Fletcher **próton** **estabilidade do núcleo**
atomismo **Nagaoka** **nêutron**

Os alunos podem se utilizar de todas estas palavras e de outras, se acharem necessário.

Slide 1 - Prótons, elétrons e nêutrons – Quantidade de carga



Slide 2

História

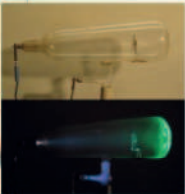


- Do que são formadas as coisas?
- Séc VI a.C. – âmbar – elektron – Grécia
- Atomismo – Leucipo/Demócrito (370 a.C.) x Aristóteles e os cinco elementos



Após a discussão inicial apresente o slide e retome a discussão sobre do que são feitas as coisas. Discuta a origem do atomismo e a teoria sobre os cinco elementos de Aristóteles. Na figura temos o Âmbar e a Magnetita.

Slide 3

O elétron

- Joseph John Thomson (1856-1940)
 - Modelo atômico - pudim de passas
 - Tubo de raios catódicos - Descoberta do elétron – Nobel
- Em 30 de abril de 1897, em uma palestra na Royal Society, em Londres, Thomson anunciou seus resultados: i) o átomo era divisível, formado por corpúsculos de carga negativa; ii) os corpúsculos tinham sempre a mesma massa e carga elétrica, independentemente do tipo de material que os emitia; iii) essas partículas subatômicas eram cerca de mil vezes menores do que o átomo de hidrogênio.
- Primeiramente, eram poucos que acreditavam na existência destes corpos menores do que o átomo. Eu soube, muito tempo depois por um físico distinto, que tinha estado presente na minha palestra na Royal Institution, que ele pensou que eu estivesse “brincando”. Não fiquei surpreso com isso, eu tinha chegado a essa explicação das minhas experiências com grande relutância, e só depois eu estava convencido da crença na existência de corpos menores que os átomos. (Thomson 1936, p. 341)
- Doutrina lógico-positivista - Walter Kaufmann (1871-1947)

Discuta a “descoberta/detecção” do elétron. Apresente as impressões de Thomson em seus textos. Doutrina lógico-positivista impede Kaufmann de apresentar seus resultados apesar de estarem bem mais precisos dos que o de Thomson.

Slide 4

Outros Modelos Atômicos

- Hanfaro Nagaoka (1865-1950) – Modelo Saturniano 1904
 - Crítica de George Augustus Schott (1869-1937)
 - O professor Nagaoka sustenta que tal sistema é geralmente estável, mas como resultado de investigação através do método usado por Maxwell para o anel de Saturno, eu cheguei à conclusão, há uns cinco anos atrás, que o sistema é instável se a lei da força elétrica for do inverso do quadrado e a força magnética for negligenciada. Consequentemente, eu pensei que o resultado não teria valor para publicação, mas em vista da carta do Prof. Nagaoka pode ser agora de interesse para seus leitores
- Rutherford-Bohr – 1911
- modelo planetário/Camadas
- Bohr-Sommerfeld (~1915)
- órbitas elípticas
- Schrödinger, de Broglie e Heisenberg –
 - mecânica ondulatória - probabilidades



Discuta os modelos atômico que se apresentaram na época e a discussão entre Nagaoka e Schott. Discuta a dificuldade de se apresentar uma nova teoria e sua aceitação.

Slide 5

O próton

- Rutherford e o núcleo atômico
- Experimento da placa de Ouro
- Geiger e Mardsen fazem os experimentos
- Próton – proposto por Rutherford em 1920
 - Transmutação N em O



■ E a estabilidade do núcleo?



MODELO RUTHERFORD

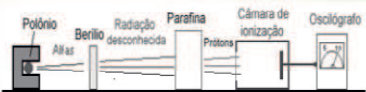

RESULTADO OBSERVADO

Discuta a proposição feita por Rutherford sobre o próton. Discuta a execução dos experimentos em contrapartida a assinatura dos artigos. Geiger e Mardsen realizam os experimentos, mas somente Rutherford assina. A partir desse modelo inicie a discussão sobre a instabilidade do núcleo.

Slide 6

O nêutron

- proposto por Rutherford em 1920
- detectado por Chadwick em 1932
- Foram examinadas as propriedades da radiação penetrante emitida a partir de berílio (e boro) quando bombardeadas pelas partículas α de polônio. Conclui-se que a radiação consiste, não de quanta como até então suposto, mas de nêutrons, partículas de massa 1 e carga 0. Evidência é dada para mostrar que a massa do nêutron está provavelmente entre 1,005 e 1,008. Isso sugere que o nêutron consiste em um próton e um elétron em combinação próxima, sendo a energia de ligação de cerca de $1 a 2 \cdot 10^6$ elétrons volts. (Chadwick, 1932)

Discuta a proposição feita por Rutherford (criatividade)

Discuta o experimento de Chadwick e como ele propõe a composição do nêutron.

Slide 7

A carga elementar

- determinação do valor e foi feita pelo físico estadunidense Robert Millikan (1868-1923) em um famoso experimento que leva o seu nome
- $e = 1,6 \cdot 10^{-19} C$
- Quantidade de carga
 - $Q = n \cdot e$
- Conservação das cargas
 - $Q_{inicial} = Q_{final}$

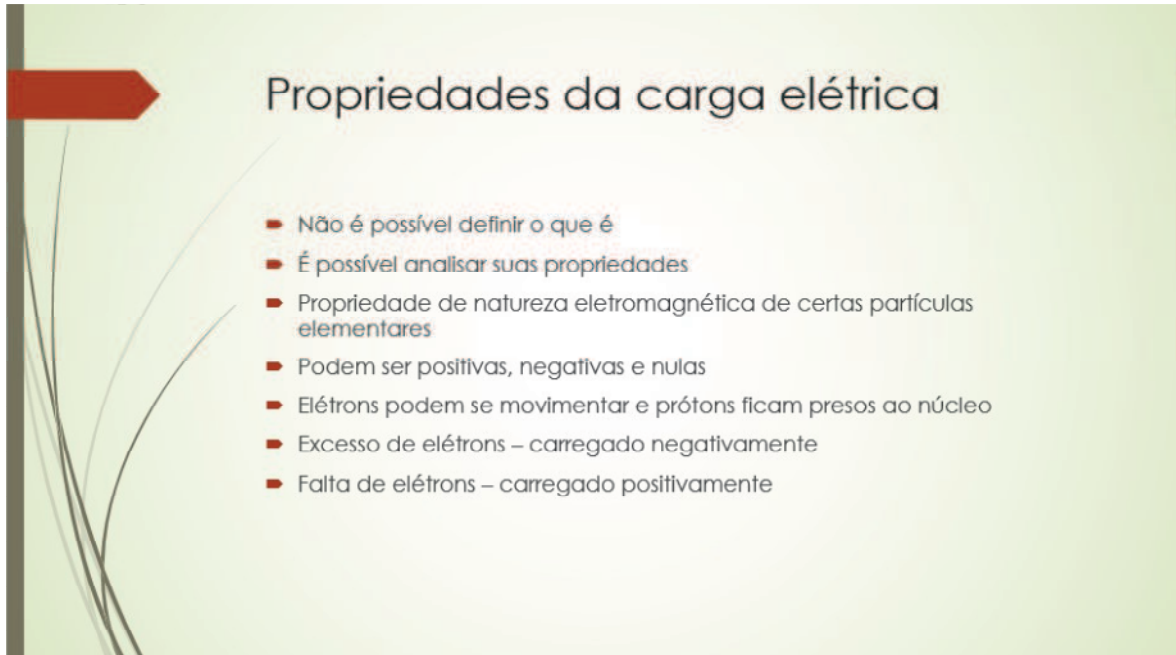




Apresente o experimento que possibilitou o cálculo do valor de e .

Apresente a expressão utilizada para cálculo de carga elétrica.

Slide 8



Propriedades da carga elétrica

- Não é possível definir o que é
- É possível analisar suas propriedades
- Propriedade de natureza eletromagnética de certas partículas elementares
- Podem ser positivas, negativas e nulas
- Elétrons podem se movimentar e prótons ficam presos ao núcleo
- Excesso de elétrons – carregado negativamente
- Falta de elétrons – carregado positivamente

Discuta as propriedades da carga elétrica.

Slide 9



Robert Millikan x Harvey Fletcher

- Quem, de fato, escreveu o artigo?
- Todavia, em fins de junho, quando o artigo estava concluído, Millikan apareceu no apartamento de Fletcher, e, para sua surpresa, iniciou uma discussão genérica sobre utilização, como tese, de artigo publicado. Para Millikan, artigo usado em tese deveria ter a assinatura solitária do estudante. Fletcher logo percebeu que Millikan desejava ser o único autor do primeiro artigo: "Era óbvio que ele queria isso, mas não via outra saída, de modo que eu concordei em usar o quinto artigo. Listado acima como minha tese". (Fletcher, 1982)

Discuta o artigo elaborado por Fletcher que acusa Millikan de ter retirado o nome do aluno do artigo e com este artigo ganhou o Nobel. A ciência é justa e parcial? Os cientistas são realmente pessoas acima de todos os outros?

Slide 10

Exercícios

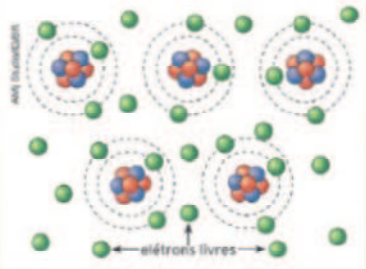
- Incide-se um feixe de luz ultravioleta em uma placa metálica inicialmente neutra. Durante o processo são ejetados $6,25 \cdot 10^{10}$ elétrons. Determine a quantidade de carga da placa no final do processo.

Dois corpos eletricamente isolados apresentam as cargas $Q_1 = -5 \mu\text{C}$ e $Q_2 = 8 \mu\text{C}$. Após troca de cargas entre eles, o corpo 1 adquire o dobro de carga do corpo 2. Determine a carga de cada corpo depois da troca.

Slide 11

Condutores e Isolantes

- Condutores: materiais que permitem, com facilidade, o trânsito de partículas portadoras de cargas elétricas.
- Exemplos: metais, grafite, soluções eletrolíticas, gases ionizados, corpo humano, superfície da terra, etc.



O diagrama ilustra a diferença na estrutura atômica entre um isolante e um condutor. No isolante, os elétrons (representados por pequenas esferas verdes) estão firmemente ligados aos núcleos atômicos (representados por esferas azuis e vermelhas). No condutor, os elétrons estão mais soltos e são rotulados como 'elétrons livres', capazes de se mover facilmente através do material.

Discuta sobre condutores, elétrons livres, banda de condução.

Slide 12

Condutores e Isolantes

- Isolantes ou dielétricos: Materiais que não permitem o trânsito de partículas portadoras de cargas elétricas com facilidade.
- Exemplos: ar seco, água pura, vidro, plástico, seda, lã, enxofre, parafina, madeira, cortiça, borracha, etc. Apenas quando submetidos a situações extremas com grande quantidade de cargas, essa propriedade pode deixar de existir.



Discuta isolantes e os limites nos quais essa propriedade se mantém.

Slide 13

Exercícios

■ Clique para adicionar texto

Identifique quais dos materiais a seguir são isolantes e quais são condutores. Para isso, releia o texto sobre condutores e isolantes.

- cobre
- borracha
- ar seco
- água pura
- água salgada
- plástico
- cortiça
- ouro

Um objeto eletrizado precisa ser deslocado de sua posição sem que seja descarregado. Para que uma pessoa possa fazer isso, são apresentadas três sugestões a seguir.

- Pegar o objeto diretamente com as mãos.
- Usar um pegador de metal.
- Usar um pegador de plástico.

Compare as três sugestões, escolha a mais adequada e justifique sua escolha.

1.2 Encontro 2

Tempo estimado: 2 aulas

Tema: Atração ou repulsão?

Conteúdo: Processos de eletrização – A lei de Coulomb.

Desenvolvimento:

Sugere-se revisar rapidamente o que se viu na aula anterior sobre carga elétrica e passe a discutir experimentos de eletrização.

Leve para aula pedaços de papel seda e distribua para os alguns alunos e peça para que os outros observem e se quiserem podem tentar o experimento. Ao aluno que recebeu o papel peça para que ele pique em pedaços bem pequenos e posteriormente pegue uma caneta e atrite em seu cabelo e logo após aproxime dos pedaços de papel. Os alunos verão que os pedaços de papel são atraídos pela caneta. Peça a eles que formulem uma explicação para esse fenômeno e discuta com eles as possibilidades e os possíveis erros. Passa-se então a apresentação do conteúdo por slides (14 a 29 abaixo).

Após a introdução da força elétrica apresente um modelo de dois prótons²⁵ e questione a estabilidade atômica - “Como podemos deixar estável esse modelo? ” Espera-se que os alunos proponham uma nova força que mantenha a estabilidade que será discutida mais à frente.

Possíveis discussões:

- A capacidade criativa na ciência e a experimentação.
- Os processos de eletrização.
- A lei de Coulomb e a estabilidade nuclear.

Separe alguns minutos ao final da aula para que os alunos produzam um texto em conjunto sobre o que se viu na aula objetivando a montagem do roteiro narrativo para a animação. Isso pode ser feito mais rapidamente apresentando palavras chaves e com elas os alunos podem ligar as mesmas pensando nos conceitos discutidos.

Lista de palavras:

²⁵ Esse modelo pode ser construído com duas bolinhas de isopor e uma pequena mola entre elas. A espera da resposta poderemos apresentar como solução um durex que segure por fora representando uma força que será discutida adiante.

Du Fay
Força elétrica
Indução **Repulsão** **Atrito**
Mesmos sinais
Contato **Eletroscópio** **Lei de Coulomb**
Sinais opostos **Benjamin Franklin**
Processos de eletrização **Superposição** **Atração**


Os alunos podem se utilizar de todas estas palavras e de outras, se acharem necessário.

Slide 14 - Atração ou repulsão? - Processos de eletrização e a lei de Coulomb

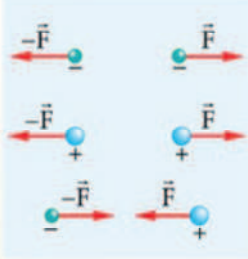


Slide 15

Lei de Du Fay



- Charles Du Fay (1698-1739) – eletricidade vítrea e resinosa
- Benjamin Franklin (1706-1790) – cargas positivas e negativas



Discuta sobre os experimentos feitos por Du Fay no qual ele identificou a força de repulsão inerente a eletricidade. Nomeou as duas eletricidades de vítrea e resinosa e Franklin trouxe os termos positivo e negativo que utilizamos atualmente.

Slide 16

Processos de eletrização

- Eletrização por contato
- Os corpos ficam com cargas de mesmo sinal

1ª situação: contato com um corpo eletrizado negativamente

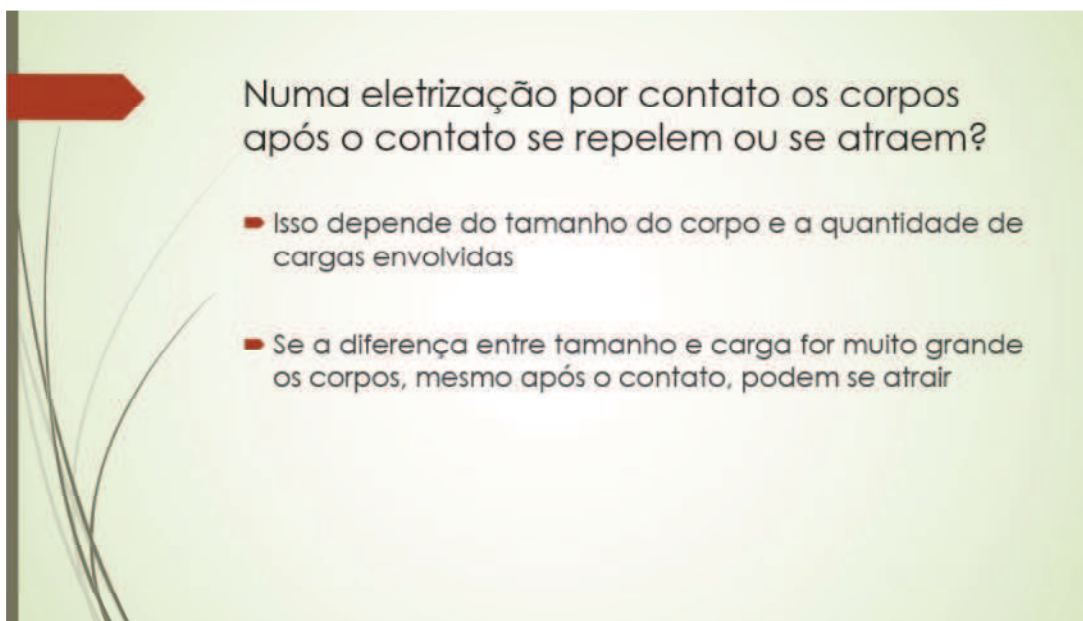


2ª situação: contato com um corpo eletrizado positivamente



Apresente a eletrização por contato.

Slide 17

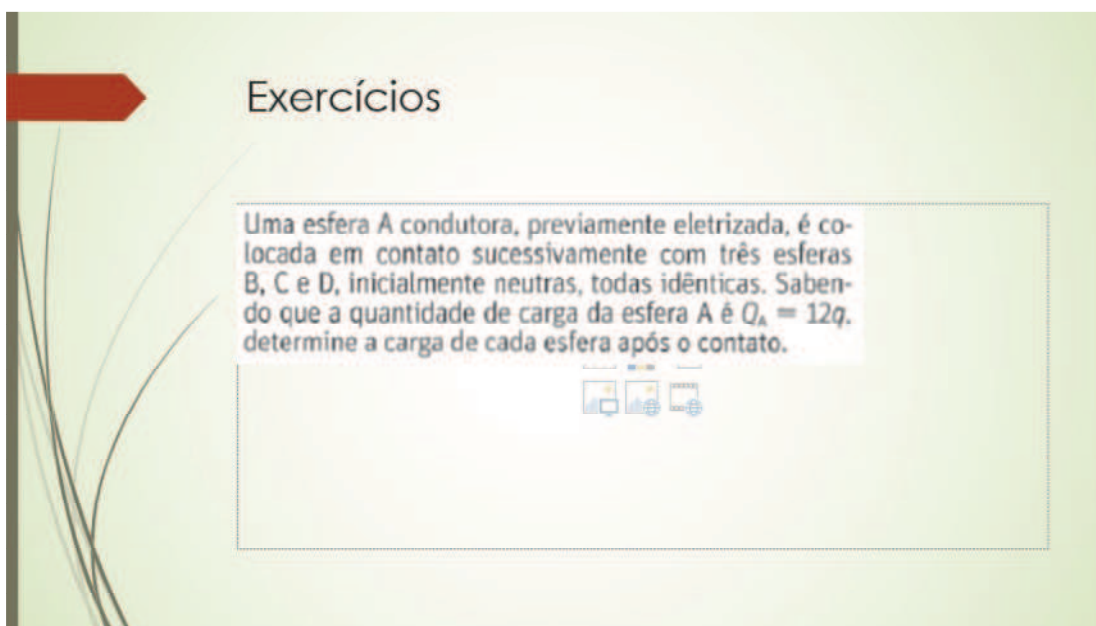


Numa eletrização por contato os corpos após o contato se repelem ou se atraem?

- Isso depende do tamanho do corpo e a quantidade de cargas envolvidas
- Se a diferença entre tamanho e carga for muito grande os corpos, mesmo após o contato, podem se atrair


Discuta a situação. Normalmente um corpo neutro ao tocar o carregado tem uma redistribuição de cargas e logo sofre repulsão. Em alguns casos mesmo após o contato os corpos ficam unidos devido a uma forte atração. O que se propõe para este caso é que a grande diferença de cargas ou tamanho fazem com que ocorra uma indução sobreponha o contato

Slide 18



Exercícios

Uma esfera A condutora, previamente eletrizada, é colocada em contato sucessivamente com três esferas B, C e D, inicialmente neutras, todas idênticas. Sabendo que a quantidade de carga da esfera A é $Q_A = 12q$, determine a carga de cada esfera após o contato.



Slide 19

Eletrização por atrito

- Os corpos ficam eletrizados com cargas de sinais opostos

Para saber qual corpo terá carga positiva e qual terá carga negativa, deve-se consultar a **série triboelétrica** (ver esquema abaixo).

Série triboelétrica

Apresente a eletrização por atrito e a série triboelétrica.

Slide 20

- Nem sempre é possível eletrizar dois corpos por atrito.
- Corpos de mesmo material podem não trocar elétrons entre eles
- No caso de materiais isolantes o excesso de cargas permanece localizado na região onde ocorreu o atrito
- No caso de materiais condutores as cargas se distribuem por toda a superfície por repulsão das cargas
- Para manter a eletrização é necessário que o corpo seja colocado sobre um isolante como apoio, caso contrário o corpo volta a ficar neutro

Discuta os pontos.

Slide 21

Exercícios

Em tempo seco, ocorre mais frequentemente o acúmulo de cargas elétricas, ou seja, os objetos ficam eletrizados por mais tempo. Como consequência, nessa época é mais comum ocorrerem pequenos choques elétricos quando se abre a porta de um carro, ou o cabelo de uma pessoa arrepiar quando próximo de determinados objetos, e situações similares.

- Descreva como pode ocorrer o acúmulo de cargas nos carros.
- Andar descalço favorece a descarga de cargas elétricas acumuladas. Explique o que significa essa descarga e por que ela acontece mais facilmente quando se anda descalço.

Slide 22

Eletrização por indução

- Ao final os corpos envolvidos adquirem cargas de sinais opostos

The diagram illustrates the process of electrical induction through a series of steps:

- 1a:** A positively charged sphere (A) is brought near a neutral sphere (B). The positive charges on A attract the negative charges (electrons) in B, causing them to move towards the side of B closest to A.
- 1b:** The spheres are separated. Sphere A remains positively charged, and sphere B is now negatively charged due to the excess of electrons on its side closest to A.
- 2a:** A positively charged sphere (A) is brought near a neutral sphere (B). The positive charges on A attract the negative charges (electrons) in B, causing them to move towards the side of B closest to A.
- 2b:** The spheres are separated. Sphere A remains positively charged, and sphere B is now positively charged because the negative charges (electrons) have moved to the side of B furthest from A, leaving a net positive charge on the side closest to A.
- 3a:** A positively charged sphere (A) is brought near a neutral sphere (B). The positive charges on A attract the negative charges (electrons) in B, causing them to move towards the side of B closest to A.
- 3b:** The spheres are separated. Sphere A remains positively charged, and sphere B is now positively charged because the negative charges (electrons) have moved to the side of B furthest from A, leaving a net positive charge on the side closest to A.

Discuta a indução e aterramento.

Slide 23

Detectores eletrostáticos

- Eletroscópio de folhas




Representação esquemática das cargas elétricas em um eletroscópio de folhas.

Discuta o funcionamento do eletroscópio.

Slide 24

Exercícios

Aproxima-se de um eletroscópio um bastão eletrizado positivamente. A seguir, aterra-se o eletroscópio, cessa-se o aterramento e afasta-se o bastão. Desenhe um esquema que represente como ficarão as folhas no final do processo e a distribuição de cargas.



Slide 25

A força elétrica

- Charles Augustin de Coulomb (1736-1806)
- Em 1785, Investigou experimentalmente a relação entre as forças elétricas com o auxílio de uma balança de torção

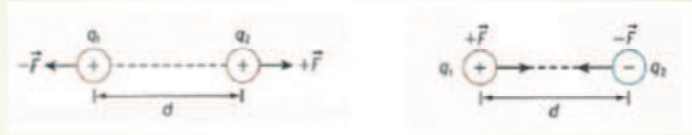


O diagrama à esquerda mostra um esquema detalhado de um experimento de Coulomb, com uma balança de torção suspensa no ar por um fio de seda, e uma fotografia à direita mostra o equipamento físico correspondente.

Discuta o funcionamento da balança de torção.

Slide 26

A lei de Coulomb



Os diagramas mostram duas situações: à esquerda, duas cargas positivas (q_1 e q_2) se repelem, com forças \vec{F} apontando para fora; à direita, uma carga positiva (q_1) e uma carga negativa (q_2) se atraem, com forças \vec{F} apontando uma para a outra. A distância entre as cargas é denotada por d .

- $F_{2(1)} = k \frac{|q_1||q_2|}{(d)^2} = -F_{1(2)}$
- $K = 9 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$ - Constante eletrostática para o vácuo

Apresente a Lei de Coulomb e seus elementos na equação.

Slide 27

Princípio da superposição - vetores

$|\vec{F}_{1A}| = \frac{K \cdot |q_1| \cdot |q_1|}{d_{1A}^2}$
 $|\vec{F}_{2A}| = \frac{K \cdot |q_1| \cdot |q_2|}{d_{2A}^2}$

Relembre vetores e apresente a superposição.

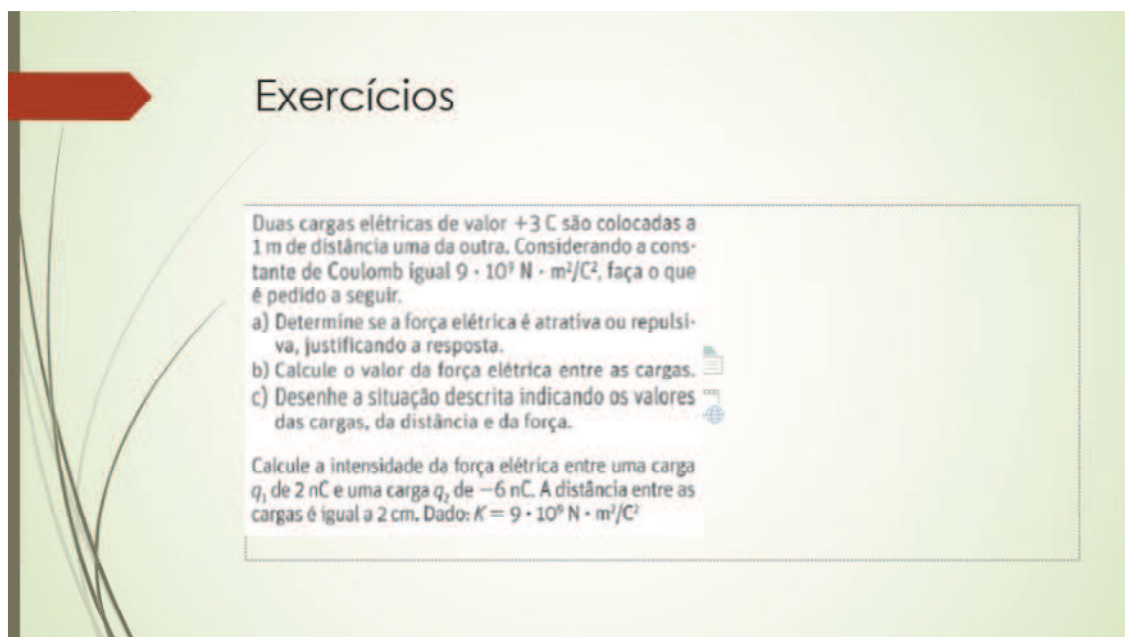
Slide 28

A força elétrica e a força gravitacional

Força elétrica	Força gravitacional
<p> $\vec{F} = \vec{F}_{1,2} = \frac{K \cdot q_1 \cdot q_2 }{d_{1,2}^2}$ </p>	<p> $\vec{F}_1 = \vec{F}_2 = \frac{G \cdot m_1 \cdot m_2}{d_{1,2}^2}$ </p>

Compare as forças elétrica e gravitacional, suas semelhanças e diferenças.

Slide 29



Exercícios

Duas cargas elétricas de valor $+3\text{ C}$ são colocadas a 1 m de distância uma da outra. Considerando a constante de Coulomb igual $9 \cdot 10^9\text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$, faça o que é pedido a seguir.

- Determine se a força elétrica é atrativa ou repulsiva, justificando a resposta.
- Calcule o valor da força elétrica entre as cargas.
- Desenhe a situação descrita indicando os valores das cargas, da distância e da força.

Calcule a intensidade da força elétrica entre uma carga q_1 de 2 nC e uma carga q_2 de -6 nC . A distância entre as cargas é igual a 2 cm . Dado: $K = 9 \cdot 10^9\text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$

1.3 Encontro 3

Tempo estimado: 2 aulas

Tema: Campos invisíveis.

Conteúdo: Campo Elétrico.

Desenvolvimento:

Sugere-se revisar, rapidamente, o que se viu na aula anterior sobre força elétrica.

Inicie a aula fazendo um experimento com pequenos ímãs e limalha de ferro (ou algum experimento equivalente caso tenha acesso a um laboratório de física). Demonstre como são os tais campos invisíveis. Precisa-se denotar que este campo é o magnético gerado pelos ímãs e que o campo elétrico atua da mesma forma com as cargas elétricas. Peça aos alunos que tentem representar na forma de desenho o que estão vendo e discuta os desenhos.

Apresente um vídeo mostrando o campo elétrico em cargas (cargas de sinais opostos - https://www.youtube.com/watch?v=N3UVw_Yuu7Y e cargas de mesmo sinal - <https://www.youtube.com/watch?v=enxT-8isjfs>).

Passa-se então a apresentação do conteúdo por slides (30 ao 47 abaixo).

Possíveis discussões:

- As forças invisíveis.

- Efeitos dos campos.
- Analogia ao campo magnético.
- A partícula de interação do campo eletromagnético – O fóton.
- O efeito fotoelétrico, o efeito Compton e as novas concepções do fóton.
- Apresentar as dificuldades e controvérsias.
- Apresentar vídeos, fotos ou experimento de linhas de campo

Separe alguns minutos ao final da aula para que os alunos produzam um texto em conjunto sobre o que se viu na aula objetivando a montagem do roteiro narrativo para a animação. Isso pode ser feito mais rapidamente apresentando palavras chaves e com elas os alunos podem ligar as mesmas pensando nos conceitos discutidos.

Lista de palavras:

Faraday	Campo Elétrico
Einstein	conceito canônico
Força elétrica	Blindagem eletrostática
interação eletromagnética	Compton
Condutores eletrostáticos	Maxwell efeito HBT
Millikan	fóton
Linhas de campo	Campo elétrico uniforme
efeito compton	efeito fotoelétrico

Os alunos podem se utilizar de todas estas palavras e de outras, se acharem necessário.

Slide 30 - Campos invisíveis – Campo Elétrico



Slide 31

Campo Elétrico


- Michael Faraday (1791-1867) – primeiro a propor o conceito de campo
- James Clerk Maxwell (1831-1879) ampliou a aplicação desse conceito para o eletromagnetismo
- Representação das linhas de campo:


Retome a discussão inicial e mostre as representações do campo.


Slide 32


Exercícios

10. Esboce as linhas de campo das seguintes configurações de cargas elétricas:

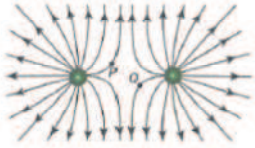
a) 

b) 

c) 

d) 

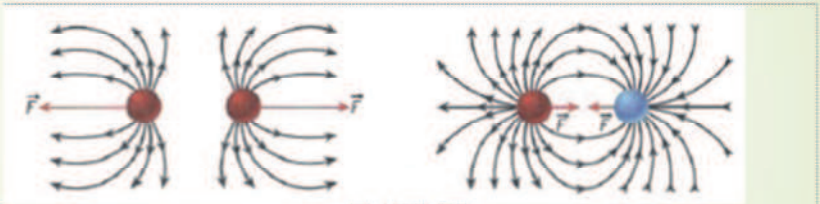
14. A figura a seguir representa as linhas de força criadas por duas cargas pontuais.



a) Identifique o sinal das cargas.
b) Copie a figura e desenhe o vetor campo elétrico nos pontos P e Q, justificando sua resposta.


Slide 33

Campo Elétrico x Força Elétrica



Compare os vetores campo e força elétrica, o vetor campo acompanha as linhas.

Slide 34




Módulo de campo elétrico em uma carga pontual

- $\vec{E} = \frac{\kappa|q|}{d^2}$ e $\vec{F} = \frac{\kappa|q||q|}{d^2}$
- Podemos expressar F em função de E da seguinte forma:
- $|\vec{F}| = |q| \cdot |\vec{E}|$
- A unidade do campo é dada em N/C

Apresente a expressão de cálculo do campo e associe a força elétrica.

Slide 35



Exercícios


Considere uma carga pontual de +3 C e um ponto P a uma distância de 1 m da carga.

- a) Calcule a intensidade do campo elétrico gerado pela carga no ponto P.
- b) Descreva o sentido do campo elétrico.
- c) Desenhe a representação gráfica da situação descrita, indicando os valores da carga, da distância e da intensidade de campo elétrico.
- d) Faça o que se pede nos itens anteriores considerando a carga igual a -3 C.

Slide 36

Campo elétrico de várias cargas pontuais - superposição

- Matematicamente teremos: $\vec{E}_R = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \dots + \vec{E}_n$



- Lembrando sempre que tratamos de somas vetoriais!

Relembre os vetores e a superposição.

Slide 37

Campo elétrico de uma esfera carregada

- Ao somar todos os vetores podemos tratar a esfera como pontual a uma distância do seu centro até o ponto de referência.



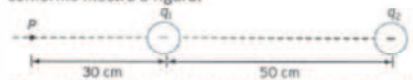
- $|\vec{E}| = \frac{k|Q|}{R^2}$

Discuta o campo em uma esfera carregada. Apresente os vetores e indique a soma.

Slide 38

Exercícios


Uma carga q_1 de -12 nC e uma carga q_2 de -6 nC estão a 50 cm de distância no vácuo ($K = 9 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$), conforme mostra a figura.



O ponto P não tem carga elétrica e está a 30 cm da carga q_1 .

- Calcule a intensidade do campo elétrico no ponto P devido à carga q_1 .
- Calcule a intensidade do campo elétrico no ponto P devido à carga q_2 .
- Reproduza a figura no caderno e represente os campos elétricos atuando no ponto P .
- Calcule o valor do campo elétrico resultante no ponto P .
- Represente no caderno o campo elétrico resultante.

A figura a seguir representa um anel circular uniformemente eletrizado com cargas positivas. Ao longo do eixo do anel são mostrados dois pontos, P e Q .



- Copie a figura em seu caderno e esboce o vetor campo elétrico em cada um dos pontos indicados.
- Escreva um parágrafo justificando sua resposta. Dica: considere a simetria do problema.

Slide 39

Campo elétrico no interior e na superfície do condutor

- O campo elétrico no interior de um condutor em equilíbrio é nulo. O campo elétrico na vizinhança de um condutor eletrizado em equilíbrio é perpendicular à sua superfície, qualquer que seja seu formato.



Discuta a distribuição de carga por um condutor não esférico e discuta o poder das pontas.

Slide 40

Blindagem eletrostática

■ Experimento realizado por Michael Faraday em 1836.





Relacione a distribuição de carga com a blindagem. Experimento do celular dentro de uma lata funciona bem para exemplificar o campo 0 dentro da lata.

Slide 41

Exercícios

Um pedaço de papel de alumínio é esticado e colocado em um suporte isolante conforme mostra a figura abaixo.




Um bastão eletrizado positivamente toca uma das extremidades da folha de alumínio.

- Descreva o processo de eletrização.
- Copie a figura em seu caderno e desenhe a distribuição de cargas na folha de alumínio.

Durante uma tempestade, uma mulher pediu a seu filho que retirasse a gaiola do passarinho da janela, explicando-lhe que, caso caísse um raio, o animal seria fulminado. Julgue se ela estava correta, justificando sua resposta.

O mesmo sistema montado na questão anterior permanece eletrizado e tem suas extremidades aproximadas, como mostra a figura a seguir.



- Descreva o que ocorre com as cargas elétricas ao aproximar as extremidades do papel de alumínio.
- Em seu caderno, desenhe a distribuição de cargas do sistema.
- Proponha um modo de observar as mudanças ocorridas na distribuição de cargas nas duas situações apresentadas.

Slide 42

Campo Elétrico Uniforme (CEU)




■ Trajetórias de partículas ao entrar em um CEU

Apresente o campo elétrico uniforme. Dê exemplos: capacitores, controle de movimento de cargas, tubo de TV, aceleradores de partículas, etc.

Slide 43

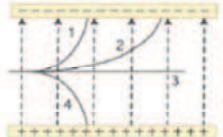
Exercícios

Uma pequena esfera de massa 2 g está eletrizada positivamente. Essa esfera está em repouso sob a ação de um campo elétrico uniforme existente entre as placas metálicas planas e paralelas, como mostra a figura. Considere a aceleração da gravidade igual a 10 m/s^2 .



- Desenhe, em seu caderno, todas as forças que atuam na esfera na situação descrita.
- Identifique o sentido das linhas de campo elétrico uniforme e a carga de cada placa.
- Calcule o valor da força elétrica que atua na esfera.
- Sendo a carga igual a $40 \mu\text{C}$, calcule a intensidade do campo elétrico entre as placas.

Quatro tipos de partículas (α , β^- , β^+ e γ) são lançadas com a mesma velocidade em um campo elétrico uniforme, e realizam as trajetórias mostradas na figura a seguir. Partículas α são núcleos de hélio (carga $+2e$), partículas β^- são elétrons, partículas β^+ são pósitrons (elétrons com carga positiva) e partículas γ são fótons de raios gama. Desconsiderando a força gravitacional, associe cada trajetória numerada na figura com a respectiva partícula, justificando sua resposta.



Slide 44

Partícula de Interação do campo Eletromagnético – O Fóton

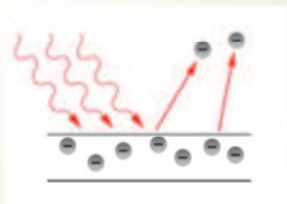
- No final do século XIX a física já estava praticamente acabada para alguns.
- Somente alguns experimentos ainda necessitavam de explicação
- Albert Einstein (1879-1955) em 1905 em um de seus trabalhos explicou o efeito fotoelétrico que já era observado desde as experiências de Heinrich Hertz (1857-1894) em 1887
- Placas de metal eram bombardeadas com vários tipos de luz e em alguns casos elétrons eram emitidos.

Discuta a presença de um campo magnético juntamente com um campo elétrico que formam a teoria eletromagnética. Apresente a partícula de interação o fóton. Discuta o equívoco cometido pelos cientistas em acharem que a física estava quase toda completa. Apresente Einstein e seus trabalhos em especial o efeito fotoelétrico.

Slide 45

O efeito fotoelétrico


- Einstein considerou que a energia proveniente da luz era da forma de pacotes (dando agora um caráter discreto as ondas eletromagnéticas) com energia E , onde $E = h\nu$
- Ele conjecturou ainda em seu trabalho que dependendo do tipo de luz você terá uma quantidade diferente de energia (frequências das ondas)

$$K = h\nu - W_0$$


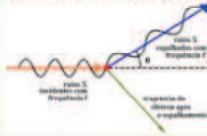
Discuta o efeito fotoelétrico. Discuta os conceitos de contínuo e discreto.

Slide 46

O efeito fotoelétrico – aceito??



- Robert Andrews Millikan (1868-1953) em 1915, corroborou experimentalmente a teoria de Einstein. Para exemplificarmos a dificuldade que se tinha em apresentar novas teorias, uma frase escrita por Millikan (1949, p. 344, tradução nossa) em um de seus artigos:
- “Passei dez anos da minha vida testando a equação de Einstein de 1905, e, contrariando todas as minhas expectativas eu fui compelido em 1915 para afirmar sua inequívoca verificação experimental(...)”.
- Mesmo com um prêmio Nobel, somente em 1922, após 5 anos de experiências realizadas por Arthur Compton (1892-1962), o conceito do fóton foi aceito.



Apresente as dificuldades de se propor e aceitar uma teoria.

Slide 47

O novo conceito de fóton

- Pós década de 1930 - Radiação composta por um conjunto de partículas indivisíveis, cuja energia e momento são conservados. Conceito canônico da velha teoria quântica.
- Efeito HBT - Robert Hanbury Brown (1916-2002) e Richard Q Twiss (1920-2005)
- Conceito canônico - esperava-se que fótons individuais chegassem até o espelho semitransparente e até os detectores onde então seriam detectados não de forma simultânea.
- Essa controvérsia durou cerca de dois anos e mobilizou vários físicos teóricos da época. Em 1963, Roy Glauber (1925-) lança uma nova teoria que retira o caráter bola de bilhar dos fótons para uma característica abstrata definindo, agora, o fóton como um grau de excitação do estado quântico do campo eletromagnético.



Apresente outra discussão a respeito do conceito de fóton e sua problemática e a nova interpretação.

1.4 Encontro 4

Tempo estimado: 2 aulas

Tema: Energia.

Conteúdo: Potencial Elétrico.

Desenvolvimento:

Inicie a aula retomando os conceitos apresentados até então, de campo e força elétrica.

Após isso apresente uma sequência de 3 vídeos disponíveis na internet sobre potencial elétrico.

Potencial e força elétrica:

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

Pêndulo elétrico:

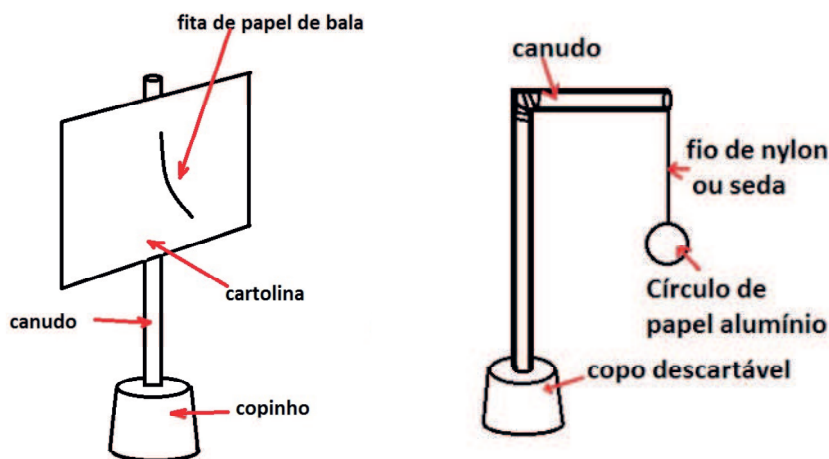
<https://www.youtube.com/watch?v=tU79DMOcHr8>

Versorium:

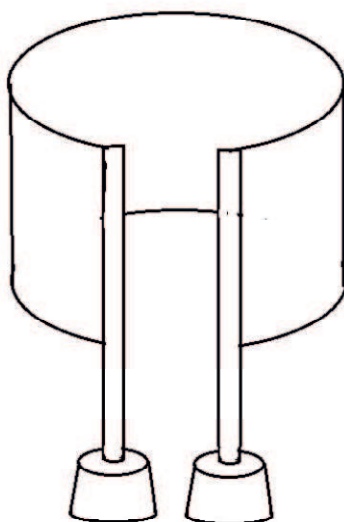
<https://www.youtube.com/watch?v=47hDMWh89RE>

Os vídeos demonstram as implicações de se ter uma diferença de potencial elétrico que é estudado nesta aula. Outra possibilidade de se iniciar a aula é a construção de pêndulos eletrostáticos simples com canudos, papel alumínio, cartolina, fitas de papel de bala de coco, fio de seda e pequenas bases de copos plásticos (figura 01). Assim os próprios alunos podem interagir e tentar explicar o corrido em cada experimento.

Figura 01 – Experimentos potencial elétrico



cola-se fitas de papel nos dois lados da cartolina que agora é possível formar um cilindro.



Fonte própria

Passa-se então a apresentação do conteúdo por slides (48 ao 60 abaixo).

Possíveis discussões:

- Potencial Coulombiano.
- Potencial de Yukawa, o pión e a força forte.
- Decaimentos.
- A criatividade científica - neutrinos – previsão e detecção.
- Apresentar as dificuldades e controvérsias.

Separe alguns minutos ao final da aula para que os alunos produzam um texto em conjunto sobre o que se viu na aula objetivando a montagem do roteiro narrativo para a animação. Isso pode ser feito mais rapidamente apresentando palavras chaves e com elas os alunos podem ligar as mesmas pensando nos conceitos discutidos.

Lista de palavras:

Energia potencial **Criatividade**
Decaimento Beta **César Lattes**
Múon **Potencial elétrico**
Superfícies equipotenciais
Pauli **potencial de Yukawa**
Píon **Neutrino**

Os alunos podem se utilizar de todas estas palavras e de outras, se acharem necessário.

Slide 48 - Energia e Potencial Elétrico



Slide 49

Energia Potencial elétrica

■ Energia armazenada que pode ser transformada em trabalho.

Campo gravitacional

Campo eletrostático

$E_p = mg\Delta v$	$E_p = qE\Delta v$
$E_o = mgh$	$E_p = q \frac{kQ}{d^2} d = \frac{kQq}{d}$

Apresente a energia potencial elétrica em comparação com a energia potencial gravitacional

Slide 50

Potencial Elétrico

- É uma grandeza escalar
- Quando há campo elétrico na região, a cada ponto do espaço é associado um potencial elétrico.
- Diferença de potencial entre dois pontos ($V_f - V_i = U$) é também chamada de tensão elétrica ou voltagem
- $W = E_f - E_i = \frac{kQq}{d_f} - \frac{kQq}{d_i} = q \left(\frac{kQ}{d_f} - \frac{kQ}{d_i} \right)$
- $\frac{kQ}{d}$ é o que chamamos de potencial elétrico (V) no ponto
- $U = V_f - V_i \gg W = q \cdot U$
- A unidade de potencial é dada em J/C = V (volt)

Destaque que o potencial é uma grandeza escalar. Apresente os potenciais em cada ponto e denote a diferença de potencial e que o movimento de cargas entre os dois se dá a um gasto ou ganho de energia (trabalho).

Slide 51

Superfícies Equipotenciais

■ Superfície em que todos os pontos tem o mesmo potencial

Mostre os diferentes potenciais e as linhas de mesmo potencial e que nelas a carga que se desloca não realiza trabalho.

Slide 52


Exercícios

Duas cargas, $q_1 = -3 \mu\text{C}$ e $q_2 = 5 \mu\text{C}$, são dispostas como mostra a figura. Em seguida, a carga q_2 é deslocada até a posição final indicada. A distância d_1 é 9 cm, e d_2 é 11 cm. Considere $K = 9 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$.

Calcule a diferença de potencial entre duas placas carregadas com sinais opostos colocadas a 40 cm uma da outra. O campo elétrico em seu interior é constante e igual a 2 V/m.

- Calcule a energia potencial do sistema quando q_2 está na posição inicial.
- Calcule a energia potencial do sistema quando q_2 está na posição final.
- Calcule o trabalho realizado pela força externa para deslocar a carga q_2 da posição inicial à posição final.
- Calcule a diferença de potencial entre os pontos inicial e final devida ao campo de q_1 .

Slide 53



O potencial de Yukawa

Hideki Yukawa (1907-1981)

- Física de Alta Energia - Raios cósmicos como fonte
- Seu trabalho versava sobre as forças nucleares de curto alcance que agiam entre os núcleons (prótons e nêutrons)
- demonstrou que o fato do fóton ter massa zero faz com que as forças eletromagnéticas atuem a longo alcance.
- $V(r) = -\frac{q_1 q_2}{4\pi r} e^{-\frac{mrc}{\hbar}}$, onde, α_1 é uma constante de acoplamento de valor q/ϵ_0 , m é a massa da partícula, c é a velocidade da luz e \hbar é a constante que representa $h/2\pi$.
- Considerando o fóton, e este tem massa zero o expoente da expressão vai a zero e teremos a expressão equivalente ao Potencial Coulombiano
- $V(r) = -\frac{q_1 q_2}{4\pi r} = \frac{q}{4\pi \epsilon_0} \frac{1}{r}$

Discuta o potencial de Yukawa e compare com o potencial elétrico Coulombiano. Aqui começamos a elucidar as forças nucleares.

Slide 54

méson π ou pión

- Para as interações de curto alcance a equação que Yukawa considerou, foi a equação relativística de Klein-Gordon. Após algumas considerações nesta função de onda é obtida a seguinte equação:
- $\nabla^2 \psi - \frac{m^2 c^2}{\hbar^2} \psi - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \psi}{\partial t^2} = 0$
- A partir dessa equação Yukawa postulou a existência de uma nova partícula. Essa partícula participaria da interação que mais tarde seria conhecida como força forte residual que atua no núcleo tendo um alcance da ordem de 10^{-13} cm, implicando em uma massa de,
- $m_\pi c^2 = \frac{\hbar c}{r_0} = 200 \text{ MeV}$.
- Elétron-volt (eV) é **unidade de medida de energia**. Equivale a 1,602 177 33 (49) $\times 10^{-19}$ **joules**. 1 MeV = 1×10^6 eV.

Denote a proposição de existência de uma nova partícula.

Slide 55

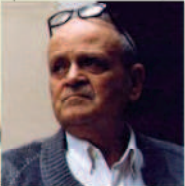
Decaimento do pión

- não é uma partícula elementar e não faz parte do Modelo Padrão (MP) que discutiremos mais adiante
- Decaimento:
 - $\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu$
 - $\mu^+ \rightarrow e^- + \nu + \bar{\nu}$
- O pión decai em um antimúon e um neutrino e o antimúon decai para um elétron, um neutrino e um antineutrino.
- Em geral o tempo de vida dessas partículas é muito pequeno e tendem a decair para partículas mais estáveis.
- o pión participa da chamada força forte. Esta é a força que une os quarks que discutiremos mais adiante.

Apresente os decaimentos das partículas e as novas partículas formadas. Lembre-se que para que uma equação desse tipo seja possível tem que manter uma série de fatores conservados como carga elétrica, energia, etc.

Slide 56

Quem são os neutrinos?



- A partir da previsão de uma nova partícula feita por Yukawa houve um grande "boom" de novas partículas.
- Em 1937, foi detectado o méson (posteriormente chamado de méson) que os físicos imaginavam ser a partícula de Yukawa.
- Verificaram que se tratava de uma nova partícula, o múon, que viria a ser detectada no decaimento dos pions e essas sim eram as partículas da previsão original.
- A detecção dos pions teve participação importante do Físico brasileiro Cesar Lattes (1924-2005).

Apresentar um pouco da história de Lattes e sua contribuição para a física no Brasil e no mundo.

Slide 57


Decaimento beta – Como explicar?

- O problema era que certos núcleos têm decaimento radioativo do tipo beta que emitem um elétron.
- Tudo até então parecia normal, a não ser pelo fato que a cada emissão de elétrons estes tinham energias diferentes, e o estado inicial e final do núcleo eram os mesmos.
- O núcleo como era muito mais pesado que o elétron, praticamente não se movia, então a energia disponível no decaimento beta deveria servir ao elétron como energia cinética, mas não era esse o valor encontrado

Busque junto aos alunos possíveis soluções para o problema.

Slide 58

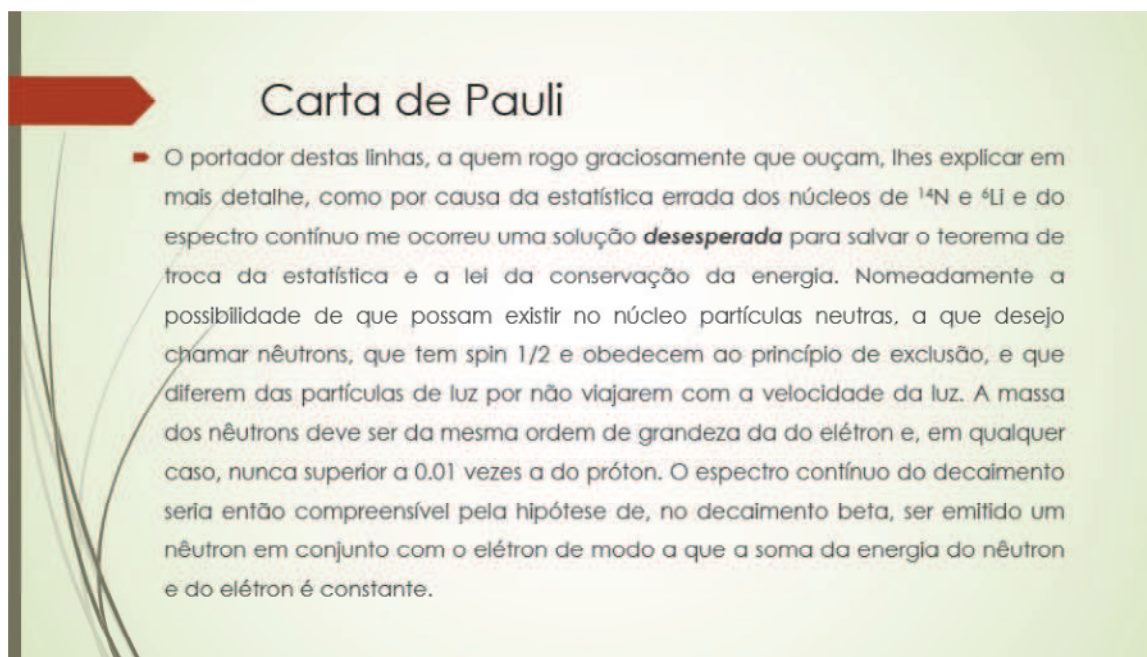
A solução...



- Wolfgang Pauli (1900-1958) em 1930, em uma carta escrita aos participantes de um congresso que ele não pode estar presente sugeriu que no decaimento beta uma segunda partícula era emitida e a chamou de "nêutron" (posteriormente batizada de neutrino devido a sua massa praticamente nula) por não ter carga. Sendo assim a soma das energias do elétron e do "nêutron" deveria ser constante no problema.

Apresente a solução.

Slide 59

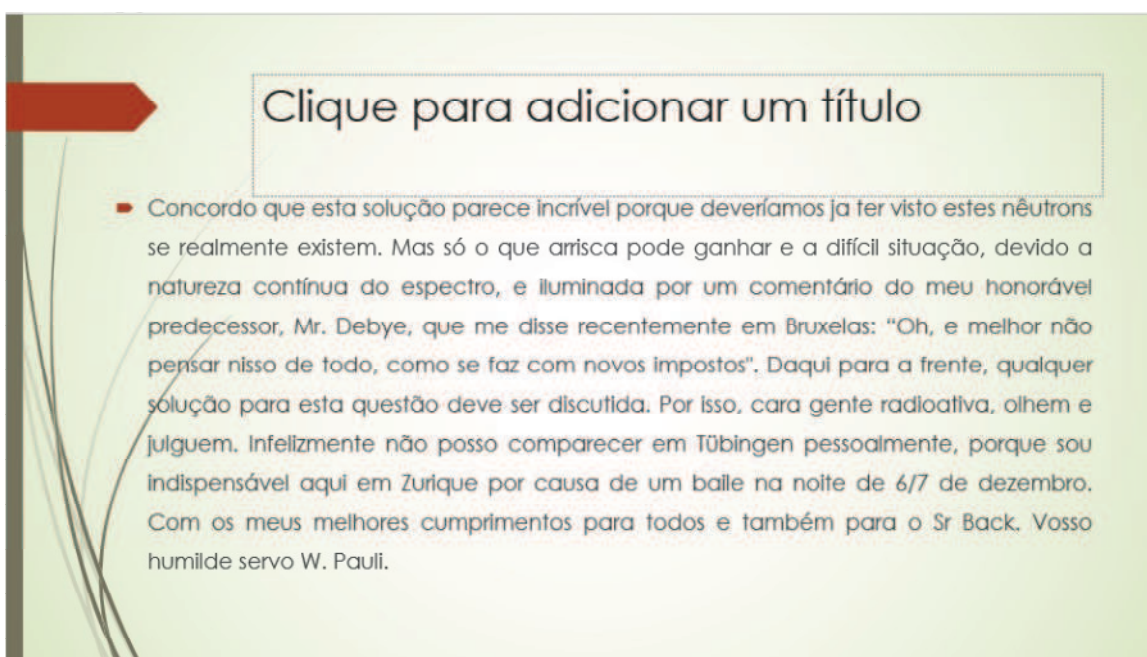


Carta de Pauli

- O portador destas linhas, a quem rogo graciosamente que ouçam, lhes explicar em mais detalhe, como por causa da estatística errada dos núcleos de ^{14}N e ^6Li e do espectro contínuo me ocorreu uma solução **desesperada** para salvar o teorema de troca da estatística e a lei da conservação da energia. Nomeadamente a possibilidade de que possam existir no núcleo partículas neutras, a que desejo chamar nêutrons, que tem spin $1/2$ e obedecem ao princípio de exclusão, e que diferem das partículas de luz por não viajarem com a velocidade da luz. A massa dos nêutrons deve ser da mesma ordem de grandeza da do elétron e, em qualquer caso, nunca superior a 0.01 vezes a do próton. O espectro contínuo do decaimento seria então compreensível pela hipótese de, no decaimento beta, ser emitido um nêutron em conjunto com o elétron de modo a que a soma da energia do nêutron e do elétron é constante.

Discuta a importância da criatividade em se resolver problemas e ao mesmo tempo a angústia ao encontrar soluções que não seguem os padrões e métodos para a época.

Slide 60



Clique para adicionar um título

- Concordo que esta solução parece incrível porque deveríamos já ter visto estes nêutrons se realmente existem. Mas só o que arrisca pode ganhar e a difícil situação, devido a natureza contínua do espectro, e iluminada por um comentário do meu honorável predecessor, Mr. Debye, que me disse recentemente em Bruxelas: "Oh, e melhor não pensar nisso de todo, como se faz com novos impostos". Daqui para a frente, qualquer solução para esta questão deve ser discutida. Por isso, cara gente radioativa, olhem e julguem. Infelizmente não posso comparecer em Tübingen pessoalmente, porque sou indispensável aqui em Zurique por causa de um baile na noite de 6/7 de dezembro. Com os meus melhores cumprimentos para todos e também para o Sr Back. Vosso humilde servo W. Pauli.

1.5 Encontro 5

Tempo estimado: 2 aulas

Tema: O mundo das partículas.

Conteúdo: Mésons, quarks, mediadores e interações.

Desenvolvimento:

Inicie a discussão perguntando aos alunos se a ciência é, de fato, neutra?

Espera-se, nesse momento, que os alunos já tenham percebido que a ciência é construída por pessoas comuns e susceptíveis a erros como qualquer pessoa e logicamente colocam expectativas em seus trabalhos. (Lembrar de Millikan x Fletcher)

Passa então a apresentação do conteúdo por slides (61 ao 73 abaixo).

Possíveis discussões:

- A segunda guerra mundial.
- Novas propriedades da matéria.
- Quarks, simetria, modelo padrão e antipartículas.
- Retornar ao modelo de dois prótons e discutir a força forte e suas interações.

Separe alguns minutos ao final da aula para que os alunos produzam um texto em conjunto sobre o que se viu na aula objetivando a montagem do roteiro narrativo para a animação. Isso pode ser feito mais rapidamente apresentando palavras chaves e com elas os alunos podem ligar as mesmas pensando nos conceitos discutidos.

Lista de palavras:

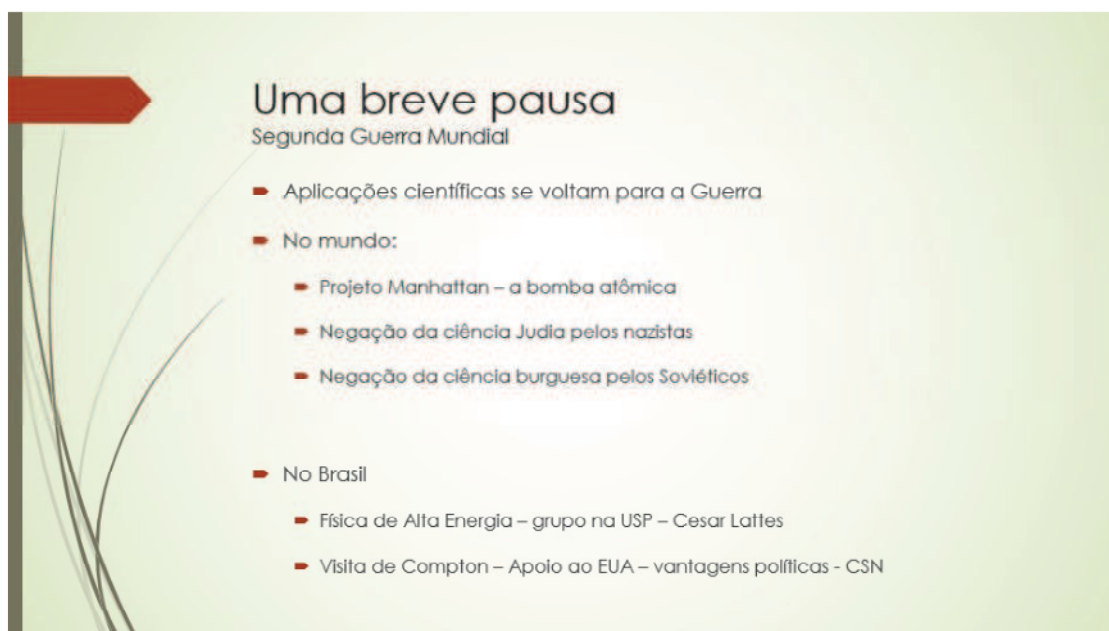
cargas fracionárias	charmoso	tau	quarks
tríades	Partículas Virtuais	classificação octal	
pares	up	pósitron	Partículas
nêutron	antipartículas	neutrinos	
próton	Propriedades	número quântico	
estranheza	Física de Alta Energia	strange	
léptons	Simetria	Carga cor	top
carga	down	múon	bottom

Os alunos podem se utilizar de todas estas palavras e de outras, se acharem necessário.

Slide 61 - O mundo das Partículas – Mésons, quarks e interações




Slide 62



Discuta a centralização de esforços na guerra. A construção da bomba. A evolução da ciência no Brasil em especial a Física de Partículas com Cesar Lattes.

Slide 63

Novas propriedades das Partículas



- Conhecidas: conservação de energia e massa, carga, spin
- Partículas que se comportavam fora das previsões teóricas
- Comportamentos estranhos!
- Em 1953, Murray Gell-Mann (1929-) - novo número quântico – estranheza
- É uma propriedade da matéria, análoga à carga elétrica, que algumas partículas têm e outras não
- Conservado nas interações fortes, mas não nas fracas.
- Essas partículas estranhas eram produzidas aos pares e seu decaimento em outras partículas carregadas sempre geravam na câmara de bolhas dois traços na forma de V

Discuta a necessidade de se observar novas propriedades para melhor classificação das partículas.

Slide 64

Organizando as Partículas

Classificação Octal

- Gell-Mann - nova contribuição para as partículas - classificação octal.
- Dmitri Mendeleiev (1834-1907) cerca de um século antes para os elementos químicos - tabela periódica




Figura 1 - Padrões hexagonais para mésons e bárions, a partir das propriedades estranheza e carga elétrica, constituindo o chamado caminho octuplo. A descoberta do méson eta (η^0), em 1961, deixou idênticos os dois padrões.¹³

Discuta a necessidade de se ordenar as coisas.

Slide 65

Os Quarks

- Problema da estabilidade nuclear!
- Efeitos previstos pela partícula de Yukawa.
- Falta um modelo que explique adequadamente essa interação.
- Década de 1960, Murray Gell-Mann e George Zweig (1937-).
- Concluíram, independentemente, que alguns padrões da classificação octal resultariam naturalmente se algumas partículas já conhecidas (próton, nêutron, etc.) fossem formadas por partículas ainda mais fundamentais que ficariam conhecidas como quarks.
- Zweig chegou a essa mesma proposta independentemente e deu o nome de ases as partículas, mas o nome cunhado por Gell-Mann foi o aceito pela comunidade.



Criatividade humana. Discuta partícula fundamental. Retome a discussão da estabilidade nuclear com o modelo de bolas de isopor.

Slide 66

Os tijolos básicos para a construção de toda a matéria – Os Quarks

- 1964 - entidades hipotéticas - criação do cientista
- Problemas permeavam a teoria - tinham propriedades muito peculiares
 - a carga que seria fracionária ($\pm 1/3e$, $\pm 2/3e$).
- Não existiam partículas livres – Confinamento.
- formação básica:
 - Pares (quark-antiquark) que formam os mésons
 - Triades de quarks que formam os hádrons (próton e nêutron).
- Previsto a existência de três tipos, ou sabores (outra propriedade que não mantém relação com o significado do cotidiano)
- O quark up (u), o quark *down* (d) e o quark estranho (s). Para a construção da matéria comum são necessários apenas os quarks u (com carga $2/3$) e d (com carga $-1/3$)

A criatividade humana para resolver problemas na ciência. Discutas as propostas das novas partículas. Recentemente foram detectados pentaquarks no LHC.

Slide 67

Prótons e Nêutrons



- Próton é do tipo uud ($2/3 + 2/3 - 1/3 = +1$)
- Nêutron é do tipo udd ($2/3 - 1/3 - 1/3 = 0$).

Quark composition of a proton and a neutron (diagrams from Wikipedia)

Discuta a composição de prótons e Nêutrons.

Slide 68

Nova propriedade – A cor






- O modelo parecia ótimo na época excetuando um problema!
- distribuições possíveis de Pauli, violando o seu princípio de exclusão
- dois férmions idênticos jamais podem ter os mesmos números quânticos ou ocupar o mesmo lugar no espaço).
- Exemplo:
- báron ômega menos (Ω^-) - sss.
- Em 1964, Yoichiro Nambu (1921-2015) e Moo-Young Han (1934-2016), propuseram um novo número quântico: a cor (outra propriedade que não mantém relação com o significado do cotidiano).
- três cores diferentes: vermelho, azul e verde.
- Princípio de exclusão de Pauli continua valendo - Svermelho, Sazul e Sverde.

Discuta a necessidade de se ampliar as propriedades para explicar e ajustar as novas teorias.

Slide 69

Completando a família








- 1973 - O quark charmoso (c)
 - James Daniel Bjorken (1934-) e Sheldon Lee Glashow (1932-)
 - verificado experimentalmente apenas em 1976.
- 1977 - O Quark bottom (b) - Pesquisadores do Fermilab
- 1995 - O Quark top (t) - também no Fermilab
 - Essa partícula é da ordem de um átomo de ouro e só existiu no início da big bang. Atualmente só podemos obtê-la graças aos grandes aceleradores de partículas de alta energia, no entanto só por um pequeno intervalo de tempo
- Passamos a ter agora 6 tipos de quarks:
- Up (u), Down (d), Strange (s), Charm (c), Bottom (b) e Top (t)

Novas partículas e sua detecção.

Slide 70

Simetria

- Partículas pareciam atuar aos pares tendo sua partícula e seu neutrino
 - Elétron e do neutrino do elétron.
- A busca perdurou algum tempo
- Em 1962 - neutrino do múon (ν_μ) - previsto desde 1940
 - Leon Lederman (1922-), Melvin Schwartz (1932-2006) e Jack Steinberger (1921-)
- Em 1975 - o tau (τ) por Martin Perl (1927-2014)
 - Observando o processo no qual elétrons e pósitrons aniquilam-se
- terceira geração de léptons
- (e^- , ν_e) (μ^- , ν_μ). Como seus colegas o tau também apresenta carga positiva e negativa.

Discuta a simetria. A proposição dela também demonstra a criatividade em acreditar que existam mais partículas simétricas do que só aquelas conhecidas naquele momento.

Slide 71

“Completando” o Modelo Padrão

- Ainda era preciso descobrir o neutrino do tau
- O elétron e o múon já os possuíam.
- A busca se iniciou em 1987 e após vários experimentos.
- Um deles que passavam um trilhão de neutrinos e somente um deles poderia interagir com um núcleo de ferro e se transformar em um tau que vive apenas por 300 fs (femtosegundos – 10^{-15} s)
- Foi o suficiente para garantir a presença do neutrino do tau.
- O experimento registrou seis milhões de eventos e somente em 4 deles a partícula apareceu.

Outras partículas – simetria.

Slide 72


As Antipartículas - Antimatéria



- Massa e spin idênticos com cargas opostas.
- Ex: antipróton, antineutrino, antieletron (pósitron), etc.
- Partículas neutras - são iguais as suas próprias antipartículas. Ex: fótons
- Representação é idêntica com uma barra acima do símbolo. (\bar{p} , \bar{e} , $\bar{\mu}$, etc.).
- Em 1928, Paul Dirac (1902-1984) escreveu uma equação que descrevia o comportamento de um elétron movendo-se a uma velocidade relativística.
- $X^2 = 4$ sabemos que temos duas soluções possíveis ($x = 2$ e $x = -2$)
- A equação de Dirac poderia, também, ter duas soluções,
- A interpretação dada por Dirac foi que para cada partícula existente temos a sua antipartícula exatamente igual a partícula, mas com carga oposta.

Discuta a antimatéria. Já se conseguiu obter um antiátomo de hidrogênio com um antipróton e um pósitron girando ao redor dele.

Slide 73



Discurso de Dirac em 1933 - Nobel

- Se aceitarmos a visão de simetria completa entre carga elétrica positiva e negativa, no que diz respeito às leis fundamentais da natureza, devemos considerá-la mais como um acidente que a Terra (e presumivelmente todo o sistema solar) contém uma preponderância de elétrons negativos e prótons positivos. É bem possível que para algumas das estrelas é o contrário, essas estrelas sendo constituídas principalmente de pósitrons e prótons negativos. Na verdade, pode haver metade das estrelas de cada tipo. Os dois tipos de estrelas mostrariam exatamente os mesmos espectros, e não haveria maneira de distingui-los pelos métodos astronômicos atuais.
- Pósitron detectado por Carl David Anderson em 1933

Criatividade humana em descrever o universo.

1.6 Encontro 6

Tempo estimado: 2 aulas

Tema: O mundo das partículas - Continuação.

Conteúdo: Mésons, quarks, mediadores e interações.

Desenvolvimento:

Retome aos elementos principais da aula anterior, revendo as principais partículas discutidas. Passe, então, a apresentação do conteúdo por slides (74 a 86 abaixo).

Possíveis discussões:

- As quatro forças da natureza
- O gráviton e sua busca
- Retornar ao modelo de dois prótons e discutir a força forte e suas interações.
- Apresentar vídeos ou executar o experimento da câmara de nuvens.

<https://www.youtube.com/watch?v=ajV44zJlBgQ>

Separe alguns minutos ao final da aula para que os alunos produzam um texto em conjunto sobre o que se viu na aula objetivando a montagem do roteiro narrativo para a

animação. Isso pode ser feito mais rapidamente apresentando palavras chaves e com elas os alunos podem ligar as mesmas pensando nos conceitos discutidos.

Lista de palavras:

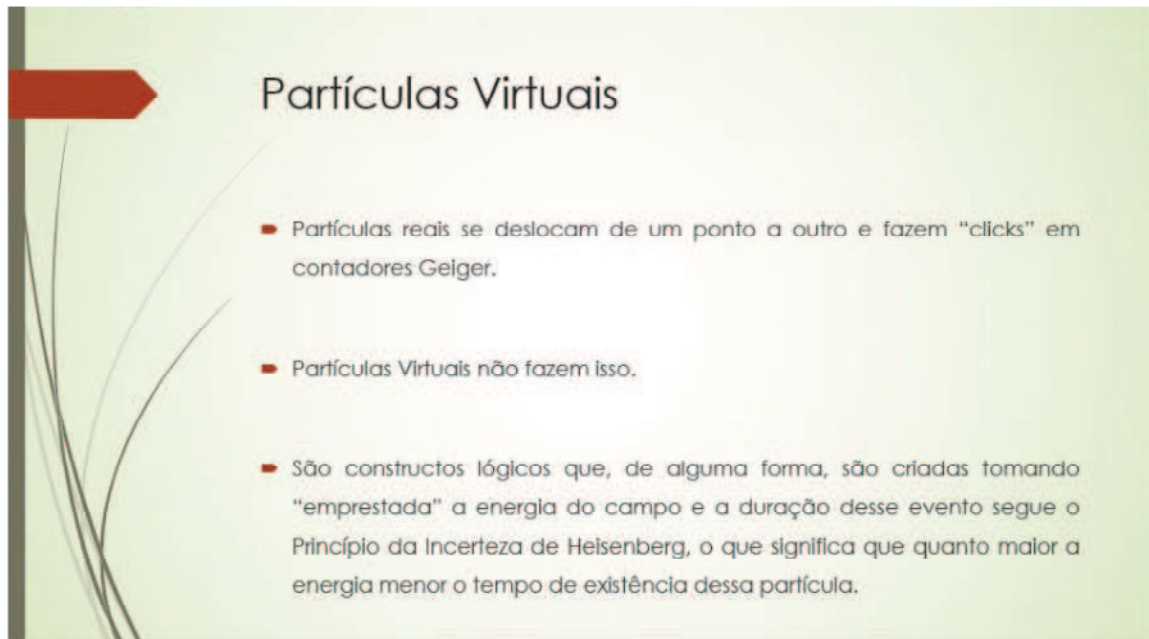
mésons **Força forte** **Glúons**
Força gravitacional **hádrons**
Bósons **Força fraca** **massa**
Conservação de Energia **spin**
Força eletromagnética **decaimentos**
W Z Fóton **Modelo Padrão**
- - **Higgs**

Os alunos podem se utilizar de todas estas palavras e de outras, se acharem necessário.

Slide 74 - O mundo das Partículas - Continuação



Slide 75




Partículas Virtuais

- Partículas reais se deslocam de um ponto a outro e fazem "clicks" em contadores Geiger.
- Partículas Virtuais não fazem isso.
- São constructos lógicos que, de alguma forma, são criadas tomando "emprestada" a energia do campo e a duração desse evento segue o Princípio da Incerteza de Heisenberg, o que significa que quanto maior a energia menor o tempo de existência dessa partícula.

Discuta as partículas virtuais que são constructos lógicos para a teoria.

Slide 76



Interações Eletrofracas

- Década de 1960
- Sheldon Glashow (1932-), Abdus Salam (1926-1996) e Steven Weinberg (1933),
- Unificação da força fraca e da força eletromagnética - *Eletrofraca*.
- Interações por quatro partículas chamadas bósons:
- W^+ , W^- , Z^0 e γ .
- Os três primeiros são massivos e o quarto não tem massa.

Discuta a interação eletrofraca e suas particularidades.

Slide 77

Confirmações

- Confirmação experimental ocorreu somente em 1983,
- Colisão de um próton e um antipróton $W^+ \rightarrow e^+ + \bar{\nu}_e$ e $W^- \rightarrow e^- + \nu_e$
- Dentro de um universo de mais de um milhão de dados (recolhidos durante 30 dias) foi encontrado 5 deles que comprovavam a existência do bóson mediador W^+ .
- Em 1983 também foi confirmada a existência do Z^0 observando outros decaimentos:
- $Z^0 \rightarrow e^+ + e^-$ e $Z^0 \rightarrow \mu^+ + \mu^-$
- Ainda em 1983 começou a construção de um túnel no CERN, de 27 Km de circunferência, que foi terminado somente em 1989 chamado de Large Electron Positron ring (LEP), logo na primeira tomada de dados em 8 minutos se identificou o Z^0 .
- O LEP foi desmontado no ano 2000 para dar lugar ao LHC.

Discuta as confirmações e a capacidade humana em construir máquinas para confirmar suas teorias.

Slide 78


Interação Forte - Glúons

- Partículas que intermediam a força forte
- Tem ligação direta com o número quântico cor
- Desse estudo nasceu a teoria batizada de Cromo Dinâmica Quântica (QCD)
- sabe-se que a força forte é transmitida por oito partículas sem massa, eletricamente neutras e de spin 1
- Entram no modelo padrão como partículas mediadoras, neste caso da força forte

Discuta a interação forte. Retome a estabilidade nuclear e apresente os glúons.

Slide 79

O Bóson de Higgs



- Prevista em 1964 pelo físico inglês Peter Higgs (1929-)
- 4 de julho de 2012, o Conselho Europeu de Investigação Nuclear - CERN, anunciaram a detecção de uma nova partícula, o Bóson de Higgs.
- Massa entre 125 e 126 GeV e decaiu em pares de fótons
- pode ter spin 0 ou 2 que são propriedades previstas para o Higgs do MP.
- Segundo o MP o Higgs é uma partícula elementar bosônica (spin inteiro) que seria responsável pela massa de todas as outras partículas (Mecanismo de Higgs).

Apresente o bóson de Higgs.

Slide 80

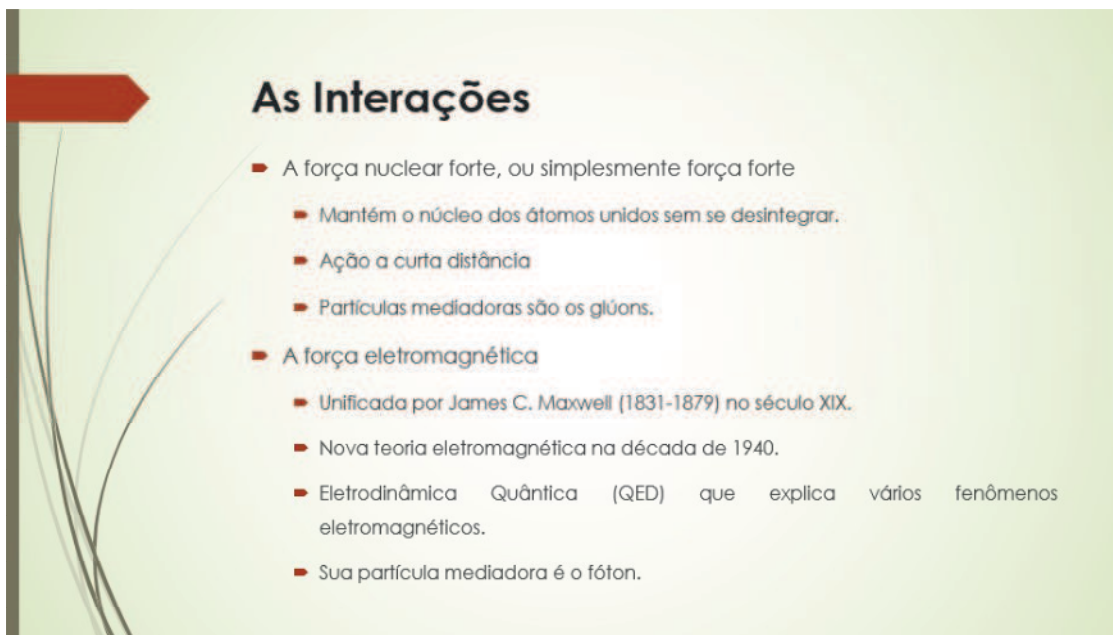
O Modelo Padrão

STANDARD MODEL OF ELEMENTARY PARTICLES

QUARKS	UP mass 2,3 MeV/c ² charge 2/3 spin 1/2	CHARM 1,275 GeV/c ² 2/3	TOP 173,07 GeV/c ² 2/3	GLUON 0 0 1	HIGGS BOSON 126 GeV/c ² 0 0
	DOWN 4,8 MeV/c ² -1/3	STRANGE 95 MeV/c ² -1/3	BOTTOM 4,18 GeV/c ² -1/3	PHOTON 0 0 1	GAUGE BOSONS
	ELECTRON 0,511 MeV/c ² -1 1/2	MUON 105,7 MeV/c ² -1 1/2	TAU 1,777 GeV/c ² -1 1/2	Z BOSON 91,2 GeV/c ² 0 1	
ELECTRON NEUTRINO <2,2 eV/c ² 0 1/2	MUON NEUTRINO <0,17 MeV/c ² 0 1/2	TAU NEUTRINO <13,5 MeV/c ² 0 1/2	W BOSON 80,4 GeV/c ² ±1 1		

Discuta agora o modelo padrão revendo todas as partículas estudadas.

Slide 81

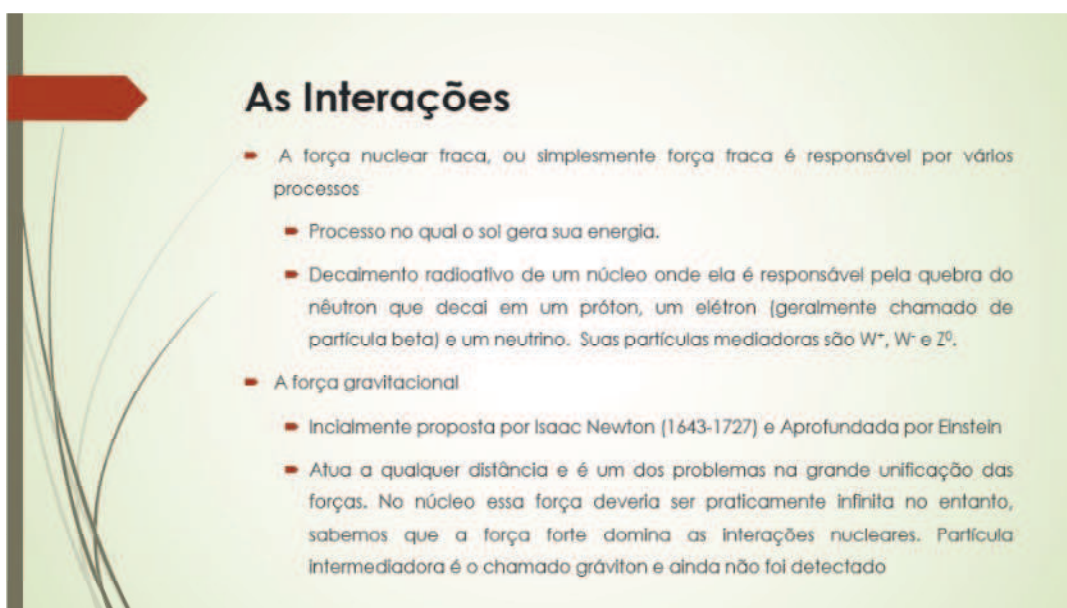


As Interações

- A força nuclear forte, ou simplesmente força forte
 - Mantém o núcleo dos átomos unidos sem se desintegrar.
 - Ação a curta distância
 - Partículas mediadoras são os glúons.
- A força eletromagnética
 - Unificada por James C. Maxwell (1831-1879) no século XIX.
 - Nova teoria eletromagnética na década de 1940.
 - Eletrodinâmica Quântica (QED) que explica vários fenômenos eletromagnéticos.
 - Sua partícula mediadora é o fóton.

Discuta as interações e onde ocorrem.

Slide 82



As Interações

- A força nuclear fraca, ou simplesmente força fraca é responsável por vários processos
 - Processo no qual o sol gera sua energia.
 - Decaiimento radioativo de um núcleo onde ela é responsável pela quebra do nêutron que decai em um próton, um elétron (geralmente chamado de partícula beta) e um neutrino. Suas partículas mediadoras são W^+ , W^- e Z^0 .
- A força gravitacional
 - Inicialmente proposta por Isaac Newton (1643-1727) e Aprofundada por Einstein
 - Atua a qualquer distância e é um dos problemas na grande unificação das forças. No núcleo essa força deveria ser praticamente infinita no entanto, sabemos que a força forte domina as Interações nucleares. Partícula intermediadora é o chamado gráviton e ainda não foi detectado

Discuta as interações e onde ocorrem.

Slide 83

AS GRANDES MÁQUINAS DA FÍSICA

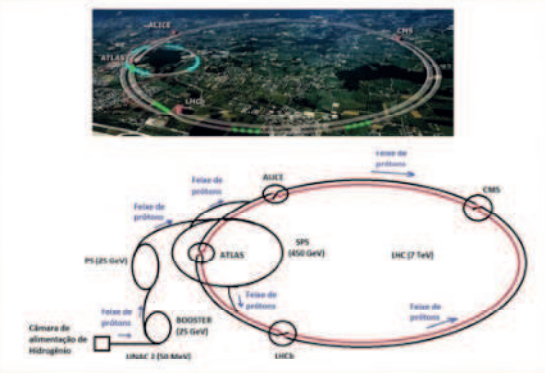
- Câmara de Nuvens
 - 1911, Charles Thomson Ress Wilson (1869-1959).
 - feixe de partículas atravess um vapor super-resfriado, este condensa em gotículas de líquido em torno das partículas. Prêmio Nobel de 1927.
- Câmara de Bolhas
 - Donald Arthur Glaser (1926-2013), começo da década de 50.
 - Quando se alivia bruscamente a pressão exercida sobre o líquido no limite de ebulição, forma-se um grande número de bolhas.
 - Quando as partículas atravessam o líquido há uma formação de bolhas ao longo da trajetória das partículas.
 - A vantagem da câmara de bolhas em relação a de Wilson é o aumento em cerca de mil vezes a densidade da câmara possibilitando assim um maior número de colisões

Apresente as máquinas produzidas para o estudo das partículas. Antes delas a única fonte para estudo eram os raios cósmicos.

Slide 84

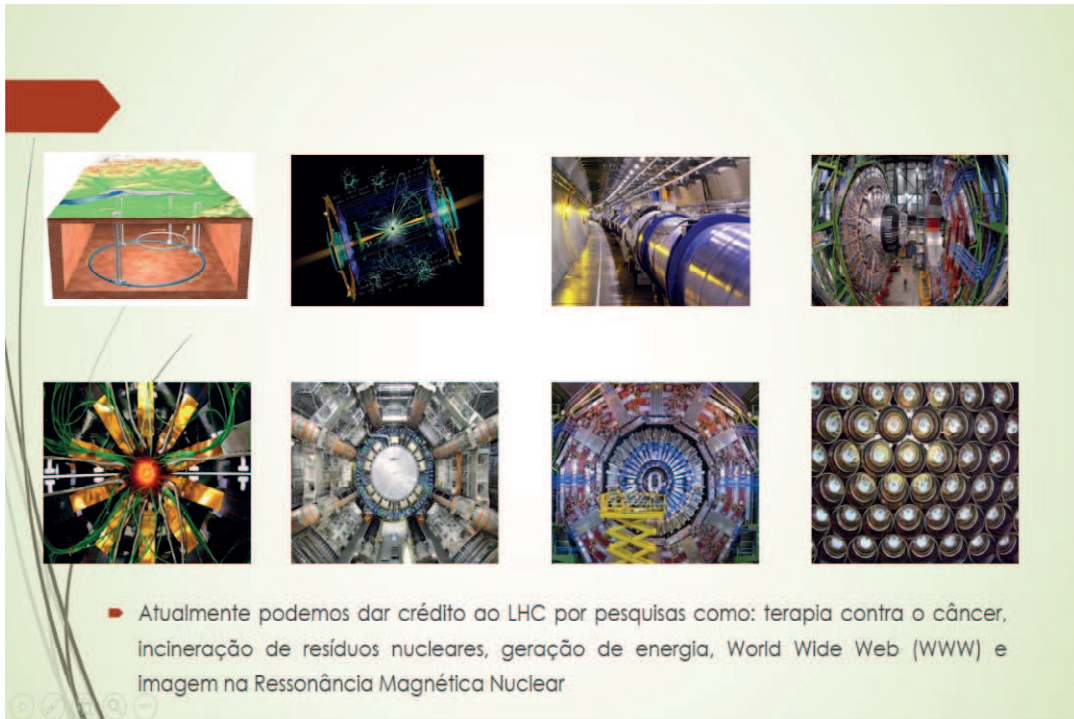
AS GRANDES MÁQUINAS DA FÍSICA

- Cerca de 30 mil aceleradores de partículas existem hoje no mundo, dentre eles, o maior atualmente é o Large Hadron Collider (LHC), do CERN



Apresente o LHC e sua capacidade energética.

Slide 85



- Atualmente podemos dar crédito ao LHC por pesquisas como: terapia contra o câncer, incineração de resíduos nucleares, geração de energia, World Wide Web (WWW) e imagem na Ressonância Magnética Nuclear

Fotos do LHC.

Slide 86



- Colisão próton-próton na experiência CMS produzindo quatro múons de alta energia (linhas vermelhas). O evento mostra as características esperadas do decaimento de um bóson de Higgs, mas também é consistente com os processos físicos padrão do Modelo de Fundo

Higgs

2. Montagem do vídeo

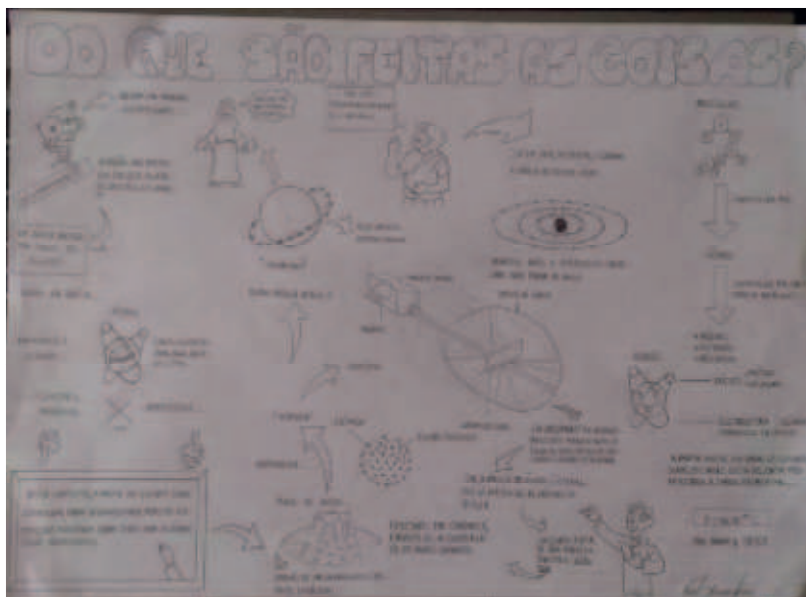
Após as aulas, transformaremos o conteúdo em um vídeo explicativo que será feita pelos alunos. De posse de todos os textos produzidos nos encontros podemos agora iniciar a montagem do roteiro que servirá de base. O processo de construção pode ser feito extraclasse, no entanto, devem-se ter objetivos e datas que deverão ser cumpridas por todas as partes. Abaixo temos uma sequência básica para nortear a construção do vídeo.

Divisão dos grupos de trabalho	Divisão das partes da animação – temas
Produção de um texto narrativo de suas respectivas partículas (Etapa 1).	Cada grupo deverá produzir seu próprio texto de acordo com a parte escolhida
Os textos deverão ser mandados para o professor para possíveis acertos e aprovação	
Produção do Storyboard (etapa 2).	Os grupos deverão pensar como seu texto poderá ser representado na animação quadro a quadro. Neste ponto deve-se imaginar a passagem do texto e os elementos que serão colocados na tela
Produção dos desenhos e personagens (Etapa 3).	Os grupos deverão pensar nos desenhos de sua parte
Gravação do áudio e edição (Etapa 4)	Para esta parte foi pedido para que todos os alunos lessem um parágrafo do texto para que fosse definido o narrador.
Gravação do vídeo (Etapa 5)	Todas as figuras devem ser colocadas em sequência para facilitar a apresentação das mesmas em sequência. Deve-se inicialmente discutir com o grupo que irá participar da gravação e ensaiar as entradas e saídas de figuras.
Finalização do vídeo (Etapa 6).	Edição – junção do vídeo e áudio.

Tabela 1 – Sequência de atividades para construção do vídeo.

Na produção dos textos os alunos podem utilizar os textos e mapas conceituais já produzidos nas aulas. Para um vídeo destes o ideal é que ele seja curto e que traga o conteúdo de forma divertida de forma a prender a atenção de quem assiste.

Figura 2 – Exemplos de mapas feitos pelos alunos



Fonte própria.

Como exemplo de storyboard no qual chamamos de “texto animado” temos:

Do que são formadas as coisas? **(Imagem da frase do que são formadas as coisas?)**

Durante toda história da humanidade sempre existiu a curiosidade para descobrir do que são formadas as coisas. Na Grécia antiga, Tales de Mileto **(entra a palavra Grécia e a estátua de Tales)** descobriu que, ao atritar o âmbar com a pele de carneiro **(entra imagem do âmbar e pele de um carneiro)**, ele passou a atrair outros materiais. Assim, deu-se origem a palavra eletricidade, pois em grego âmbar significa elektron. **(imagem: palavra âmbar = elektron)**

Ainda na Grécia, Leucipo e Demócrito **(entra imagens dos dois filósofos)** sugeriram que as coisas eram formadas por partes indivisíveis e eternas, chamadas de átomos. **(imagem de alguém quebrando uma pedra até pedaços bem pequenos)** Em contrapartida, Aristóteles propôs a formação deles através dos cinco elementos: terra, água, ar, fogo e éter. **(imagem de Aristóteles cercado pelos elementos)**

Note-se que as informações colocadas entre parênteses e negrito serviram de base para que os alunos desenhistas pudessem desenvolver o que se pretendia para a montagem do vídeo. A partir daí outro grupo de alunos assume o projeto produzindo os desenhos que entrarão no vídeo.

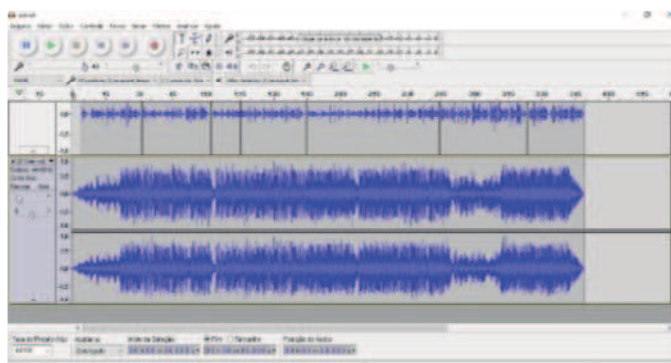
Figura 3 – Exemplos de desenhos produzidos pelos alunos para o vídeo



Fonte: arquivo próprio

Concomitantemente é possível fazer a gravação da narração. Para isso pede-se que todos os alunos gravem um áudio narrando um parágrafo do texto produzido para que possa ser escolhido o narrador oficial para o vídeo. Escolhido o narrador passa-se a gravação do áudio. Nesta etapa é interessante discutir com o aluno a dicção correta para determinados termos científicos como também, o nome de determinados cientistas. É bem possível que a gravação não seja feita integralmente sem erros e para isso indicamos o software Audacity²⁶ para a edição. O software é bem intuitivo e basicamente o que se tem que fazer é trazer o áudio para a área de trabalho e usar a ferramenta de corte para retirar trechos que não queremos que apareçam no áudio final. Atualmente vários alunos tem conhecimento destes programas.

Figura 4 – Programa de edição de áudio Audacity

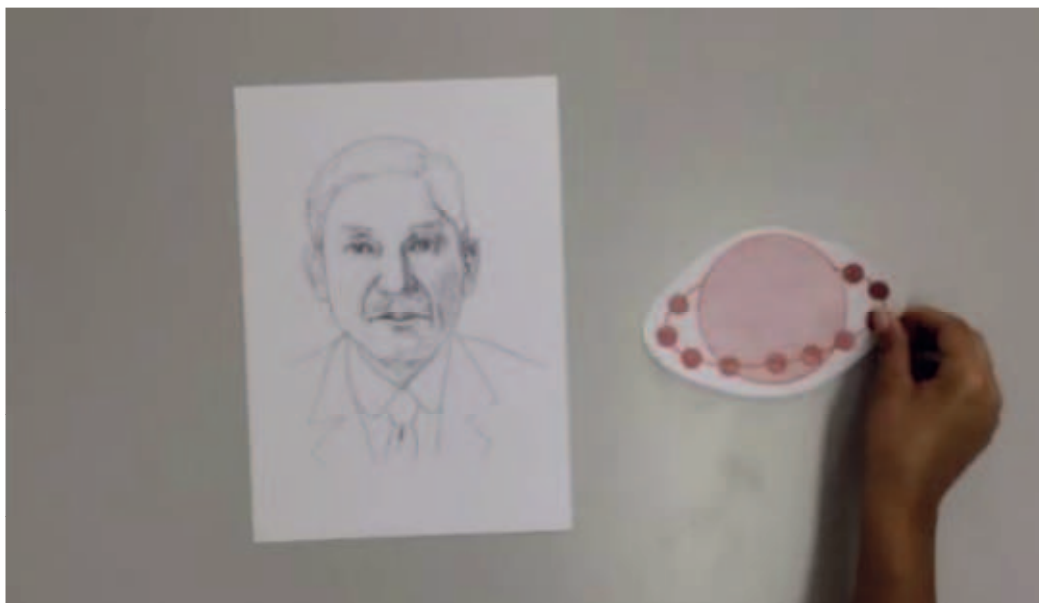


Fonte: Arquivo próprio

²⁶ Audacity – programa gratuito de fácil manipulação - <http://www.baixaki.com.br/download/audacity.htm>

Após o áudio concluído passa-se a filmagem do vídeo. A proposta é gravar um vídeo no qual somente as mãos dos alunos e as figuras apareçam na tela. Para isso deve ser montado um aparato para fixar um celular na parte de cima de forma a filmar uma região da mesa que pudesse comportar a troca de desenhos feitas pelos alunos de acordo com o áudio.

Figura 5 – Formato da gravação do vídeo explicativo



Fonte: Arquivo próprio

Aqui é necessária uma discussão de como será feita a disposição dos desenhos e um ensaio para que possa ser avaliado quando um desenho entra em cena e quando o mesmo sai de cena. Após o ensaio é hora de partir para a gravação. Como no áudio a gravação é feita em partes e depois utiliza-se o programa chamado Movavi Video Editor²⁷, para organizar o vídeo cortando as partes contendo erros e juntando as partes corretas para a formação do vídeo completo. A manipulação do programa é simples e intuitiva e é possível que algum aluno conheça esse ou outro editor de vídeos. Nele é possível cortar o áudio feito na gravação do vídeo onde normalmente é possível ouvir comentários durante a gravação e fazer a junção do áudio correto gravado separadamente. O projeto pode ser executado com qualquer parte do conteúdo bastando apenas a organização prévia e muito trabalho para execução da proposta.

²⁷ Movavi vídeo editor – download: <https://www.movavi.com/pt/videoeditor/>

APÊNCICE B – TEXTOS PRODUZIDOS PELOS ALUNOS

Do que são feitas as coisas?

Durante toda história da humanidade sempre existiu a curiosidade para descobrir do que são formadas as coisas. Na Grécia antiga, Tales de Mileto descobriu que, ao atritar o âmbar com a pele de carneiro, ele passou a atrair outros materiais. Assim, deu-se origem a palavra eletricidade, pois em grego âmbar significa elektron.

Ainda na Grécia, Leucipo e Demócrito sugeriram que as coisas eram formadas por partes indivisíveis e eternas, chamadas de átomos. Em contrapartida, Aristóteles propôs a formação deles através dos cinco elementos: terra, água, ar, fogo e éter.

Dessa forma, foram desenvolvidos modelos atômicos, que buscavam explicar o que eram os átomos e suas propriedades.

Thompson analisando um experimento com raios catódicos, sugeriu o modelo atômico “pudim de passas”, que considerava a existência de partes negativas, os elétrons, com massas e cargas iguais.

Outro modelo atômico foi o do cientista Nagaoka, conhecido como Modelo Saturniano, onde o átomo teria uma estrutura semelhante ao planeta Saturno. Ele propôs um modelo atômico onde havia um núcleo positivo massivo e, em torno dele, existiam elétrons girando, concluindo que o átomo era estável. Diferente do cientista Schott, que afirmava que o átomo era um sistema instável.

Ciente sobre as ideias de Nagaoka, Rutherford elaborou o modelo do sistema solar, em 1911, proposto após um experimento conhecido como folha de ouro, onde se observou que algumas partículas atravessavam a folha de ouro, outras retrocediam e outras desviavam o percurso.

Rutherford concluiu que o átomo tem um núcleo contendo partículas positivas chamadas de prótons, e possui elétrons ao seu redor. Tal como observou que o núcleo do átomo era estável, visto que as partículas de prótons não se repeliam. Assim, em 1920, ele propôs que deveria existir uma terceira partícula para que isso acontecesse: o nêutron. Mas tal partícula só foi detectada, em 1932, por Chadwick, através de um experimento de transmutação.

Conclui-se que toda matéria que conhecemos é formada por átomos. Sendo esses, composto de três tipos de partículas: prótons e nêutrons, localizados no núcleo, e os elétrons que orbitam na eletrosfera.

A partir de observações de como se comportavam as subpartículas dos átomos iniciaram-se os estudos sobre cargas elétricas. A partir disso, foi detectado o valor de carga elementar, que equivale a e . Essa constatação foi feita por Harvey Fletch, mas divulgada pelo físico Robert Millikan. Então, verificou-se que a quantidade de carga elétrica é igual a quantidade de cargas elementares multiplicada pelo valor da carga elementar. Em seguida, constatou-se que a quantidade de carga elétrica inicial é igual a quantidade de carga elétrica final. Assim sendo, observando como os corpos se comportam eletricamente, certificou-se que há dois tipos de corpos: condutores e isolantes.

Atração ou repulsão?

No contexto sobre o estudo da eletricidade, no século XVIII, o francês Charles Du Fay observou que eletricidades de mesma natureza se repelem e eletricidades de naturezas opostas se atraem. Nesse sentido, ele detectou a existência de dois tipos de eletricidades, as quais denominou de “vítrea” e “resinosa”. Mais tarde, Benjamim Franklin utilizou as palavras carga “positiva” para se referir a eletricidade “vítrea” e carga “negativa” para a eletricidade “resinosa”.

Sabemos hoje que existem três processos para eletrizar um corpo. Os quais são: contato, atrito e indução. A eletrização por contato ocorre quando dois corpos condutores, sendo pelo menos um deles eletrizado, são postos em contato, e suas cargas elétricas são redistribuídas entre os dois, fazendo com que ambos tenham a mesma carga, inclusive com o mesmo sinal.

A eletrização por atrito ocorre quando dois corpos neutros, feitos de materiais diferentes, são atritados entre si. Após o atrito um deles fica eletrizado positivamente e o outro negativamente. Logo, quando há eletrização por atrito, os dois corpos ficam com cargas de módulos iguais, porém com sinais opostos.

A outra forma de eletrizar um corpo é por indução, que ocorre baseada na atração e repulsão das cargas, e acontece quando um corpo eletrizado, chamado de indutor, é aproximado de um corpo neutro, chamado de induzido. No meio do processo é necessário a inserção e posterior retirada de um fio terra e ao final do processo, o induzido estará eletrizado com sinal oposto à carga do indutor. Passemos agora a estudar sobre a Força Elétrica.

Diante dos estudos sobre cargas elétricas, em 1784, o físico francês Charles Augustin Coulomb, utilizando uma balança de torção de extrema sensibilidade, obteve experimentalmente a relação da força de interação entre duas cargas, chamada de força

elétrica. Esta relação conhecida como Lei de Coulomb, estabelece que: “A intensidade da força de interação elétrica entre duas cargas é diretamente proporcional ao produto dos módulos das cargas e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre elas”. Isso quer dizer que para distâncias menores há um grande aumento na força entre as partículas.

Caso tenhamos mais de duas cargas relacionando-se entre si, a força elétrica é calculada através do Princípio da Superposição. Tal Princípio baseia-se na soma vetorial de todas as forças sentidas por uma carga de prova.

Campos invisíveis

No século XIX, à medida que novas descobertas experimentais sobre eletricidade e magnetismo foram sendo feitas, novos conceitos foram sendo desenvolvidos pelos físicos e matemáticos para descrever esses fenômenos. É nessa época que, na Inglaterra, surgem conceitos de linhas de força, proposto por Michael Faraday e de campo (elétrico e magnético), proposto por James Clerk Maxwell.

Nesse contexto, para eles a ação de um corpo com carga elétrica sobre outro também carregado só pode existir se houver um agente físico (linhas de força, para Faraday, e campo, para Maxwell) entre eles para mediar essa ação.

Hoje sabe-se que uma certa carga geradora Q (positiva ou negativa) produz um campo elétrico estabelecido em todas os pontos ao seu redor. De forma que qualquer carga de prova de intensidade q fica sujeita a uma força de interação (repulsão ou atração) quando se coloca em qualquer ponto do campo elétrico, que é representado por linhas de força.

Dessa forma, o vetor campo elétrico é calculado como sendo: $E = KQ/d^2$ ou $F=qE$. Sendo a unidade de Campo Elétrico N/C.

Quando se tem um campo elétrico de várias cargas pontuais, a forma de calculá-lo é através da soma vetorial pelo princípio da superposição, que gerará um campo resultante.

O fato do campo elétrico no interior de um condutor em equilíbrio ser nulo pode ser usado para evitar ação de campos elétricos numa determinada região. Isso pode ser feito por meio de uma blindagem eletrostática em um corpo constituído por material condutor. Como observou Michael Faraday, ao realizar um experimento, o qual entrou numa gaiola, em formato de cubo, feita de grades metálicas. O cubo foi eletrizado a tal ponto que saíam faíscas de sua superfície. E, mesmo assim, Faraday não conseguiu detectar a presença de campo elétrico no interior do cubo.

O campo elétrico é uniforme quando numa região suas linhas de força são paralelas e igualmente espaçadas umas das outras o que implica que seu vetor campo elétrico nessa região tem em todos os pontos, mesma intensidade, direção e sentido.

O estudo do campo eletromagnético, se faz necessário entender sua partícula de interação: o fóton.

Assim, Einstein explicou que o efeito fotoelétrico, que é utilizado em diversos objetos e sistemas, como as TVs de plasma e LCD, sistemas de alarmes e painéis solares, ocorre quando há uma emissão de elétrons de determinado material, sendo que, para que isto aconteça, a energia dos fótons deve ser maior que a das ligações dos elétrons, que é conhecida como energia mínima. A energia máxima é dada pela fórmula:

$$E_{\max} = h\nu - w_0$$

Einstein propõe que os efeitos luminosos são como pequenas partículas de energia eletromagnética, enquanto, na época, eram considerados fenômenos ondulatórios. Ele conjecturou ainda que, dependendo do tipo de luz, haverá uma quantidade de energia diferente.

Em 1915, Millikan publicou um trabalho onde comprovou que a equação de Einstein se ajustava aos experimentos, contudo, o conceito de fóton só foi aceito somente cerca de 5 anos depois.

No ano de 1956, Robert Hanbury Brown e Richard Quertin Twiss desenvolveram métodos (Experimento HBT) para determinar o diâmetro angular de objetos que emitiam na faixa das ondas de rádio e esperavam que os fótons individuais chegassem até espelhos semitransparentes e até detectores de forma não simultânea, o que não acontecia.

Em 1963, Roy Glauber descreveu o campo elétrico através da aniquilação e da criação, que podem modificar o campo, aumentando ou diminuindo um fóton singular. Ao explicar o experimento HBT com laser, salientou que a luz utilizada não produzia a coerência de segunda ordem, diferentemente, se o laser fosse introduzido, não se observaria correlações significativas entre fótons, já que ela é coerente em todas as ordens.

Dessa forma, o fóton passou a ser definido como um grau de agitação do estado do campo eletromagnético.

Energia

Para que seja realizado trabalho é necessário haja transformação de energia. Uma maçã apoiada numa mesa possui energia potencial gravitacional e, caso sofra uma queda, tal energia é convertida em energia cinética.

Processo semelhante ocorre com a energia potencial elétrica. Uma carga, colocada entre duas placas paralelas que produzem um campo elétrico uniforme, vai de um ponto A para um ponto B sob a influência da força elétrica. Em A, a carga conserva energia potencial elétrica em relação a B. Durante a trajetória até B, a carga ganha velocidade e a energia é convertida em energia cinética.

A energia potencial elétrica é conservativa e não depende da trajetória da partícula, apenas da posição inicial e final. O trabalho realizado é igual a energia potencial inicial menos a final.

O potencial elétrico, uma grandeza escalar, cuja unidade é volt, está associado com o nível de energia potencial de um ponto de um campo elétrico, havendo diferença de potencial entre dois pontos, chamada de diferença de potencial elétrico, tensão elétrica ou voltagem, que é igual ao trabalho necessário para deslocar uma carga entre dois pontos do campo.

Assim como podemos usar linhas para representar o campo, podemos utilizá-las para representar o potencial de uma carga, caso uma das superfícies representem pontos onde o potencial tem o mesmo valor chamamos de superfícies equipotenciais, e são perpendiculares às linhas do campo.

O cientista Yukawa, após fazer considerações na equação de Klein-Gordon, postulou a existência de uma nova partícula, o que gerou uma explosão de descobrimentos de partículas. Em 1937 foi detectado o méson, que depois seria chamado de méson. Os cientistas acreditavam que essa era a partícula indicada por Yukawa, contudo, foi verificado que os múons, obtidos a partir do decaimento de píons, era a partícula. Cesar Lattes, físico brasileiro, teve participação importante para o descobrimento do pión.

Entretanto, havia um problema: certos núcleos têm decaimento radioativo do tipo beta que emitem um elétron, e em cada emissão, os elétrons tinham energias diferentes, mas o estado inicial e final do núcleo eram os mesmos. O núcleo, mais pesado que o elétron, praticamente não se movia, então a energia disponível no decaimento beta deveria servir ao elétron como energia cinética, mas não era esse o valor encontrado.

Para resolver tal problema, Pauli, em 1930, sugeriu que no decaimento beta uma segunda partícula era emitida e a chamou de “nêutron”, que ficou conhecida depois como “neutrino” por causa de sua massa praticamente nula. Sendo assim a soma das energias do elétron e do “nêutron” deveria ser constante no problema.