

MNPEF

Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino De Física



**AVENTURAS EM QUANTÓPOLIS: ELABORAÇÃO E UTILIZAÇÃO DE LIVRO
PARADIDÁTICO PARA ABORDAGEM CONCEITUAL DO MODELO PADRÃO DE
FÍSICA DE PARTÍCULAS EM TURMAS DO ENSINO MÉDIO**

FRANCISCO LEVI PEREIRA BRAGA

Dissertação de Mestrado apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), no Curso de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientadora: Profa. Dra. Luciana Angelica da Silva Nunes – UFERSA

Mossoró

2018

AVENTURAS EM QUANTÓPOLIS: ELABORAÇÃO E UTILIZAÇÃO DE LIVRO
PARADIDÁTICO PARA ABORDAGEM CONCEITUAL DO MODELO PADRÃO DE
FÍSICA DE PARTÍCULAS EM TURMAS DO ENSINO MÉDIO

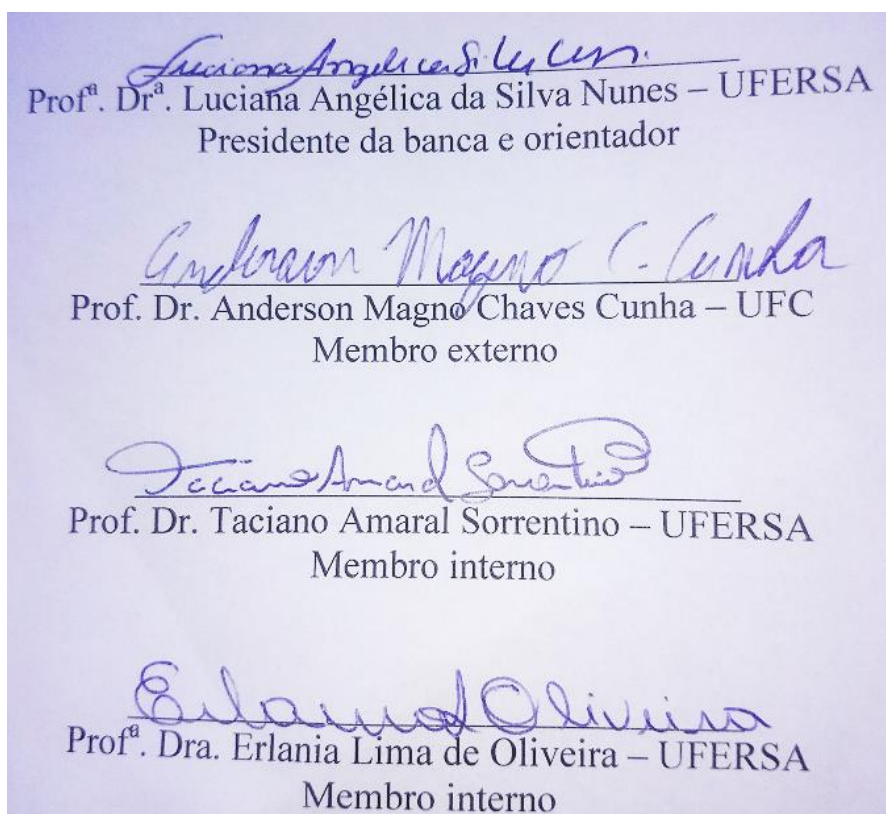
FRANCISCO LEVI PEREIRA BRAGA

Orientadora:

Profa. Dra. Luciana Angelica da Silva Nunes

Dissertação de Mestrado apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), no Curso de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Aprovada em 26 de janeiro de 2018 por:



Luciana Angelica da Silva Nunes
Prof.^a. Dr.^a. Luciana Angélica da Silva Nunes – UFERSA
Presidente da banca e orientador

Anderson Magno Chaves Cunha
Prof. Dr. Anderson Magno Chaves Cunha – UFC
Membro externo

Taciano Amaral Sorrentino
Prof. Dr. Taciano Amaral Sorrentino – UFERSA
Membro interno

Erlania Lima de Oliveira
Prof.^a. Dra. Erlania Lima de Oliveira – UFERSA
Membro interno

Mossoró

2018

©Todos os direitos estão reservados à Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996, e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tornar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata, exceto as pesquisas que estejam vinculadas ao processo de patenteamento. Esta investigação será base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) seja devidamente citado e mencionado os seus créditos bibliográficos.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca Central Orlando Teixeira (BCOT)
Setor de Informação e Referência (SIR)

B813a BRAGA, FRANCISCO LEVI PEREIRA .
AVENTURAS EM QUANTÓPOLIS: ELABORAÇÃO E
UTILIZAÇÃO DE LIVRO PARADIDÁTICO PARA ABORDAGEM
CONCEITUAL DO MODELO PADRÃO DE FÍSICA DE
PARTÍCULAS EM TURMAS DO ENSINO MÉDIO / FRANCISCO
LEVI PEREIRA BRAGA. - 2018.
116 f. : il.

Orientadora: Luciana Angelica da Silva NUNES.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Programa de Pós-graduação em
Ambiente, Tecnologia e Sociedade, 2018.

1. Modelo padrão. 2. Física de Partículas. 3.
Livro paradidático. I. NUNES, Luciana Angelica da
Silva , orient. II. Título.

AGRADECIMENTOS

A Deus, que me permitiu ingressar em um curso de mestrado e frequentar as aulas com assiduidade mesmo morando em outro estado, e que também emprestou o talento de ser professor, uma profissão maravilhosa.

À minha mãe Maria de Fátima e meu pai Francisco Juvenal que apesar de todas as dificuldades enfrentadas durante a vida, priorizaram minha educação dentro dos seus limites. Fica aqui a minha humilde e mais profunda gratidão, seus nomes e seus feitos serão lembrados durante toda existência de meus futuros descendentes. Se pudesse fazê-los eternos, eternos os faria.

À minha esposa Renata Braga pelo apoio durante todo o curso e compreensão do quanto ele foi árduo. Que nossa família se fortaleça e possamos crescer cada vez mais rumo à felicidade. Amo você de maneira incondicional.

À minha sogra Maria José que muitas vezes em conversas que duravam horas, aconselhava-me através de sua larga experiência, e mostrava que a gratidão e humildade são fatores indispensáveis para o sucesso. Nunca vou esquecê-la.

Aos meus irmãos Laires e Laércio que sempre estiveram presentes em minha vida. Tenho certeza que o amor que nos une se expande além do laço sanguíneo.

Aos meus amigos de mestrado Adalberto, Alexandre, Sergilânio, David, Nila, Tiago, Samara e em especial Frederico Moura e José Alisson que compartilharam comigo os mais de trinta mil quilômetros rodados dentro de um carro conversando sobre Física e coisas afins. Nesses dois anos a aprendizagem ultrapassou as paredes da universidade, e vivenciamos momentos de alegria, raiva e outros sentimentos que nos tornam humanos.

Ao Programa Nacional de Mestrado Profissional em Ensino de Física, SBF e CAPES por terem me dado a oportunidade de ser selecionado para um curso de mestrado, que por alguns momentos de minha vida parecia ser um sonho inatingível.

À Universidade Federal Rural do Semi-Árido, juntamente com o coordenador do mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, professor Dr. Geovani Ferreira Barbosa, que sempre esteve à frente em nossa defesa, e nos momentos certos proporcionou conversas descontraídas e frutíferas.

A todos os professores da UFERSA que de maneira simples e humilde nos repassaram uma parcela ínfima dos seus vastos conhecimentos e experiências.

A meu amigo Roterdan Fernandes que nos momentos em que me vi com dificuldade, me auxiliou nos cálculos de níveis elevados, sempre se mostrando prestativo não importando à hora da noite.

A minha Orientadora e agora amiga professora Dra. Luciana Angélica que com uma paciência imensurável conseguiu me provar que era capaz de realizar este trabalho, simplificando ao máximo, mas sem perder o rigor e qualidade, as etapas de uma dissertação de mestrado.

Ao meu amigo professor Me. Paulo Roberto que emprestou um pouco do seu dom artístico nos desenhos dos personagens do produto educacional, sempre traduzindo através da arte o que eu queria repassar no meu produto educacional.

A todos que direta ou indiretamente, sejam da família ou não, me ajudaram nesta caminhada árdua e gratificante.

A professora Dra Carolla Dobrigkeit Chinellato pelas orientações das minhas dúvidas em Física nuclear, através de trocas de e-mail.

E claro, aos meus alunos que com todas as suas insuficiências me mostraram que ainda tenho muito que aprender, e o pouco que sei, foi aprimorado com suas dificuldades e carências. Observando suas trajetórias de vida, pude perceber que o estudo é o melhor caminho para se destacar em um país com tantas desigualdades.

“O esforço para compreender o universo é uma das poucas coisas que eleva a vida humana acima da comédia e lhe confere um pouco de dignidade da tragédia”.

Stephen Weinberg

Dedico este trabalho a toda minha família que sempre me apoiou em todos os momentos e sempre se fizeram presente quando mais precisava.

DEDICO

RESUMO

AVENTURAS EM QUANTÓPOLIS: ELABORAÇÃO E UTILIZAÇÃO DE LIVRO PARADIDÁTICO PARA ABORDAGEM CONCEITUAL DO MODELO PADRÃO DE FÍSICA DE PARTÍCULAS EM TURMAS DO ENSINO MÉDIO

FRANCISCO LEVI PEREIRA BRAGA

Orientadora:

Profa. Dra. Luciana Angelica da Silva Nunes

O último século foi de extremo desenvolvimento para a ciência. As descobertas de novas partículas jamais imaginadas sacudiram o sentimento de conforto sobre os conhecimentos do mundo subatômico, mostrando que ainda existe muito a ser estudado. Uma vez professor de Física no Ensino Médio, começamos a vislumbrar como tratar tais novidades dentro de um currículo que trabalha de modo mais enfático os fenômenos que ocorrem a baixas velocidades e grandes dimensões. Nesta perspectiva, foi elaborado um livro paradidático que conta a história de um estudante que durante uma aula se vê curioso com a existência de um mundo microscópico e que durante um sonho tem a oportunidade de conhecer as mais diversas partículas constituintes da matéria que o cerca, assim como suas interações, aprendendo conceitos físicos da mecânica quântica, sem ater-se ao seu rigor matemático. A fim de verificar a aplicabilidade e aceitação do material, o mesmo foi utilizado junto a turmas do 3º Ano do ensino médio da Escola de Ensino Médio e Tempo Integral José de Borba Vasconcelos no município de Maracanaú-Ceará. Dentre as ações para aplicação do produto, além da sua leitura, podemos citar em especial a montagem de peças teatrais, as quais proporcionaram momentos lúdicos de grande envolvimento dentre estudantes. Verificou-se com a iniciativa que o rendimento das turmas que tiveram acesso ao material teve uma melhora significativa em comparação ao rendimento dos que tiveram acesso ao método tradicional de aplicação dos conteúdos, evidenciando que práticas inovadoras de ensino, tanto no que tange novos materiais como novas condutas pedagógicas, visando uma participação efetiva na construção do saber, podem contribuir com um maior sucesso no processo de ensino-aprendizagem.

PALAVRAS – CHAVE: Modelo Padrão, Física de Partículas, Livro paradidático.

Mossoró

2018

ABSTRACT

ADVENTURES IN QUANTOPOLIS: DEVELOPMENT AND USE OF PARADIDATIONAL BOOK FOR CONCEPTUAL APPROACH OF THE STANDARD MODEL OF PARTICLE PHYSICS IN HIGH SCHOOL

FRANCISCO LEVI PEREIRA BRAGA

Supervisor:

Profa. Dra. Luciana Angelica da Silva Nunes

The last century was much developed to Science. The discoveries of the new particles which never were imagined they shook the comfortable feeling about the subatomic world's knowledge, showing which still there is much things to studying about it. Once physics teacher in high school, we start to catch sight how to treating these new things into a curriculum that works of emphatic way the phenomenon that occur to low speeds and large dimensions. Thus, it was prepared an educational book which tells a student's history that in class he was very curious about the existence of a microscopic world and during a dream he has the opportunity to knowing the most diverse particles made of substance that surround him, As well as its alterations, learning quantum mechanics' physical concept, without sticking its mathematical rigor. To verifying the acceptable of material, this was used to the 3rd grade of high school and integral time José de Borba Vasconcelos in Maracanaú-Ceará. Among the actions to applicate the product, besides its reading we can mention like special the assembly of plays which provide playful moments of great involvement among the students. This verified itself with the initiative that the school rooms' development which had access the material they improved very much comparing with the school rooms' development that had access the traditional method of application of content, evidencing which the new practices of teaching both about the new materials like new pedagogies too, it aiming a effective participation in the knowledge construction and all this can contribute to a greater success in the process of teaching and learning.

KEYWORDS: Standard Model, Particle Physics, Educational Book.

Mossoró

2018

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Notação atômica usada por Dalton.....	18
Figura 2 - Modelo atômico de Thomson conhecido como "pudim de passas"	20
Figura 3 - Experimento de Rutherford	21
Figura 4 - Átomo de Rutherford.....	21
Figura 5 - Representação do átomo de Nagaoka.....	22
Figura 6 - Séries espectrais do átomo de hidrogênio.....	24
Figura 7 - Modelo de Bohr para o átomo de hidrogênio	25
Figura 8 - Átomo de hidrogênio.....	27
Figura 9 - Ilustração do efeito fotoelétrico.....	28
Figura 10 - Experimento de Anderson para detectar o pósitron.....	31
Figura 11 - Decaimento do tau negativo	33
Figura 12 - Imagem da trajetória de vários tipos de partículas, entre elas o Píon positivo.	35
Figura 13 - Esquema que representar as cores e anticores dos quarks.....	40
Figura 14 - Diagrama de Feynman para o decaimento do neutron.	41
Figura 15 - Levi (personagem principal) e Professora Lu.....	51
Figura 16 - Encontro de Levi com Nêutron (a), com Próton (b) e com Quarks (c).	51
Figura 17 - Representação dos Glúons.....	51
Figura 18 - Representação de dois elétrons no mesmo nível de energia.....	52
Figura 19 - Representação do fóton, partícula mediadora da força eletromagnética	52
Figura 20 - Partícula W^- (azul) e antineutrino do elétron (verde)	53
Figura 21 - Visita de Levi e Lu ao Booster	53
Figura 22 - Ensaio teatral do livro Aventuras em Quantópolis	54

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Acertos da pergunta 1	57
Gráfico 2 - Acertos da pergunta 2	58
Gráfico 3 - Acertos da pergunta 3	59
Gráfico 4 - Acertos da pergunta 4	59
Gráfico 5 - Acertos da pergunta 5	60
Gráfico 6 - Acertos da pergunta 6	61
Gráfico 7 - Acertos da pergunta 7	61
Gráfico 8 - Acertos da pergunta 8	62
Gráfico 9 - Acertos da pergunta 9	63
Gráfico 10 - Acertos da pergunta 10	64
Gráfico 11 - Acertos da pergunta 11	64
Gráfico 12 - Acertos da pergunta 12	65
Gráfico 13 - Acertos da pergunta 13	66
Gráfico 14 - Médias bimestrais do 3ºA.....	66
Gráfico 15 - Médias bimestrais do 3ºB.....	67
Gráfico 16 - Médias bimestrais do 3ºC.....	67
Gráfico 17 - Médias bimestrais do 3ºC.....	68

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Famílias dos quarks.....	36
Tabela 2 - Família dos léptons	37
Tabela 3 - família dos antiléptons	37
Tabela 4 - Características do Fóton.....	39
Tabela 5 - Características do Glúon	40
Tabela 6 - Características dos bósons mediadores da força fraca	41

SUMÁRIO

Capítulo 1 INTRODUÇÃO.....	14
Capítulo 2 MUNDO DAS PARTÍCULAS ELEMENTARES.....	17
2.1. OS GREGOS E O ATOMISMO.....	17
2.2. DESCOBERTA DO ELÉTRON E O MODELO DE THOMSON	19
2.3. MODELO DE RUTHERFORD.....	20
2.4. MODELO DE NAGAOKA	21
2.5. POSTULADOS DE BOHR	22
2.6. PRINCÍPIO DA INCERTEZA E O MODELO ATÔMICO ATUAL	25
2.7. PARTICULAS ELEMENTARES	27
2.7.1. A descoberta do fóton	27
2.7.2. A descoberta do nêutron n e do neutrino ν	29
2.7.3. A descoberta do anti-elétron e^+ (<i>Pósitron</i>)	29
2.7.4. A descoberta do múon μ e seu neutrino ($\nu\mu$)	31
2.7.5. A Descoberta do tau τ e seu neutrino $\nu\tau$	32
2.7.6. A descoberta do pión (π)	33
2.8. MODELO PADRÃO	35
2.9. O BÓSON DE HIGGS.....	42
Capítulo 3 REFERÊNCIAS PEDAGÓGICAS	43
Capítulo 4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	50
4.1. PRODUÇÃO DO LIVRO E SEUS PERSONAGENS	50
4.2. PROCEDIMENTOS DE APLICAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL.....	54
Capítulo 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	56
5.1. ANÁLISE DO QUESTIONÁRIO SOBRE FÍSICA DE PARTÍCULAS E O MODELO PADRÃO	56
5.2. ANÁLISE DAS MÉDIAS DAS AVALIAÇÕES BIMESTRAIS	66
Considerações Finais.....	68
Referências.....	70
APÊNDICE A: AVENTURAS EM QUANTÓPOLIS	75
APÊNDICE B: AVALIAÇÃO PÓS-APLICAÇÃO DO PRODUTO.....	113

Capítulo 1

INTRODUÇÃO

Neste capítulo abordamos uma discussão que coloca em confronto o ensino de Física sob duas maneiras: uma tradicional em que se abordam conteúdos antes do século XIX e outra em que a Física Moderna de partículas mostra todo seu encanto e fascínio.

Os avanços tecnológicos proporcionam à sociedade as mais variadas formas de interação. Atualmente uma parcela esmagadora das pessoas possui, por exemplo, um aparelho que permite acesso direto à internet e, conseqüentemente, com o mundo e as pessoas que o habitam. Isso tudo se iniciou com pesquisas realizadas por estudiosos que empenharam tempo na tentativa de desvendar os mistérios que circunscrevem os aspectos mais fundamentais da matéria, porém poucos são os estudantes que se perguntam ou que são indagados sobre essa questão.

A ciência Física abordada em boa parte das escolas, empenha-se em discutir os assuntos que foram desenvolvidos antes da metade do século XIX, que têm uma importância fundamental no entendimento da natureza, porém está defasada em relação às descobertas que surgiram a partir do final do século referido, e em vários casos não servem para explicar vários fenômenos de Física Moderna e Contemporânea (FMC).

Este trabalho tem como foco ajudar na inserção do assunto de Física de Partículas (FP) em turmas do ensino médio, visto que grande parte dos estudantes deste nível sequer ouviram falar em Modelo Padrão das Partículas Elementares (MP). Não se restringe essa realidade ao corpo discente, os próprios docentes tiveram uma formação acadêmica com conteúdo tradicional, sem o devido preparo para inserção da Física moderna na sala de aula. Posso me incluir nesta parcela dos professores que desconheciam tais conteúdos, conheci de maneira mais substancial o MP somente quando já era aluno do Mestrado Nacional e Profissional em Ensino de Física (MNPEF), tornando-me um apaixonado pela temática. Com isso fiquei muito motivado para pensar como poderia apresentar a FP no ensino médio a partir de uma metodologia lúdica e atrativa.

É impossível falar de Física de partículas sem remeter ao atomismo abordado na Química, desde as interações existentes entre os elementos químicos até o resgate histórico da evolução atômica, que sempre foi um tema de fascínio entre os cientistas. Nesta direção é

difícil conceber que as disciplinas de Física e Química sejam tratadas de maneira independente e não interdisciplinar. Uma descrição sucinta da evolução da teoria atômica até a descoberta do Modelo Padrão é objeto do capítulo 2 deste trabalho.

Uma vez cercada de matemática muito elaborada para ser abordado no ensino médio, o assunto de FP é muitas vezes desprezado no currículo do ensino médio. Contudo, com a quantidade de informações exibida da mídia acreditamos ser fundamental um mínimo de conhecimento sobre os fenômenos que cercam os avanços tecnológicos atuais. Por exemplo, há pouco tempo os noticiários veicularam muitas notícias relacionadas ao Grande Colisor de Hádrons (LHC) e isso despertou a curiosidade das pessoas sobre o que ocorreria dentro desse acelerador de partículas (Galileu, 2017). Moreira (2011) ressalta em um de seus livros:

“Estamos em Pleno século XXI, mas a Física ensinada na escola é a do século XIX. Um verdadeiro absurdo. Por mais importante que seja a Mecânica Newtoniana dentro da Física, começar por ela o ensino de Física, e dentro uma perspectiva formulista, tem sido um grande fracasso. Só não reconhece quem não quer”.

Assim, realizar transposição didática de conteúdos que ainda oferecem resistência a serem inseridos efetivamente nos currículos do Ensino Médio é um desafio para o docente, que como já citado muitas vezes não teve acesso a certos conteúdos em sua formação curricular (MARTIN e BATISTA, 2004). Outro embate também será conseguir ministrar mais conteúdos com a carga horária semanal reservada para Física, certamente esse quantitativo interfere na realização de um trabalho mais adequado.

No presente trabalho foi elaborado um livro paradidático com diversas ilustrações, que podem ajudar o trabalho no professor no ensino de Física de partículas, facilitando a compreensão de seus alunos nos conceitos básicos que envolvem o modelo padrão atual. A ideia da elaboração de um paradidático sobre o assunto surgiu no decorrer do curso do mestrado, principalmente durante as aulas de Física Moderna e Contemporânea. Acreditamos que este livro cumpra o papel de produto educacional exigido para obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

O livro foi aplicado nas turmas do terceiro ano do Ensino Médio da escola pública, que recentemente tornou-se uma escola de tempo integral, ETI José de Borba Vasconcelos que fica localizada no bairro Conjunto Industrial no município de Maracanaú-CE. As turmas em que se trabalhou o produto educacional foram as B e C, enquanto as turmas A e D tiveram a oportunidade de estudar o assunto envolvido da maneira tradicional.

No capítulo 2 teremos fundamentação teórica, que descreve as principais ideias dos primeiros modelos atômicos até as teorias mais recentes do comportamento das partículas elementares. O capítulo 3 nos dá um pouco da base legal e as motivações pedagógicas para o uso de material lúdico como alternativa para ensino de Física no ensino médio. O capítulo 4 descreve todo o procedimento de aplicação do produto educacional e discrimina os personagens do livro. No capítulo 5 estão os resultados e discussão comparando os resultados obtidos nas turmas que leram o paradidático em confronto com as turmas que tiveram apenas aulas tradicionais sobre o assunto de Física de Partículas.

Não há neste trabalho a intenção de apontar culpados por essa exclusividade da Física Clássica na educação básica, nem tampouco apresentar uma solução milagrosa para essa falha, mas sim oferecer uma maneira mais dinâmica, lúdica e sutil de correlacionar a FMC com toda a nossa história, assim como mostrar que é um assunto atual e que a disciplina de Física pode, e deve, ser vista não somente como um conjunto de equações matemáticas.

Capítulo 2

MUNDO DAS PARTÍCULAS ELEMENTARES

A partir da análise do movimento dos corpos começou-se a investigar os porquês sobre a constituição da matéria e a elaborar teorias para explicar a natureza das partículas. Assim, a fim de entender o mundo subatômico é importante a realização de um retrospecto da evolução de pensamentos que motivaram e permearam as descobertas científicas relacionadas composição da matéria.

2.1. OS GREGOS E O ATOMISMO

Tales de Mileto (624-558 a.C.) foi um filósofo, matemático e astrônomo grego que defendeu a ideia de que a natureza e o universo teriam uma essência comum: a água. Não existia nenhum embasamento teórico para a afirmação de Mileto, mas pode-se afirmar que ela iria de encontro às ideias da época, que se firmavam na religiosidade, e que pensamentos nesta direção impulsionaram os processos de investigação científica (FRANCISCO, 2017).

Aproximadamente em 478 a.C. em Abdera, também localizada na Grécia, Leucipo teoriza que tudo era constituído de minúsculos elementos indivisíveis e o vazio; e que caso esses elementos se unissem ocorreria uma produção de matéria assim como, se eles se separassem acarretaria sua destruição. As reflexões de Leucipo foram estudadas e ampliadas por seu pupilo Demócrito (460-370 a.C.) afirmando que a partícula mais fundamental que está presente na matéria não podia ser fracionada, denominando-a de átomo. Alguns filósofos apoiavam essas ideias de Leucipo-Demócrito, mas outros se opunham em conceber o fato de que existe algo indivisível (ÓTON e FERNANDES, 2006).

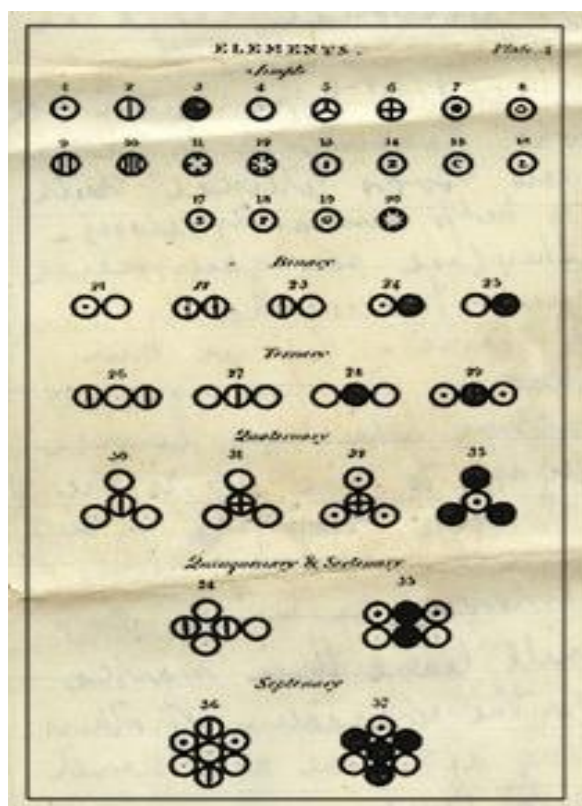
Possivelmente o mais famoso destes fosse Aristóteles (384-322 a.C.) ao defender a continuidade da matéria, ou seja, sua divisibilidade. Rene Descartes (1596-1650) também participou dessa discussão, ele não aceitava a ideia do vazio, defendia que a matéria estava presente em todo espaço e que a tratando como contínua ela era infinitamente divisível. Por menor que a matéria pudesse ser, em pensamento, ela pode ser dividida em duas ou mais partes menores, seria próprio da natureza (Descartes, 1968).

A partir do século XVII foram realizados experimentos que utilizavam métodos e materiais diferentes. Observando-se os resultados dessas experiências, a vertente que defendia a matéria como contínua começava a ser descartada, consolidando o atomismo.

Nesta direção Dalton (1766-1844) forneceu uma importante contribuição para o atomismo. Apoiado ainda nas ideias de Leucipo e Demócrito ele teve sua teoria atômica inicialmente comunicada no dia 21 de outubro de 1803 ao publicar o trabalho *Absorption of Gases by Water and Other Liquids* (Absorção de gases pela água e outros líquidos), no qual ele delineou os princípios de seu modelo.

Em sua obra, ele confrontou os pesos das unidades substanciais dos elementos químicos com as diversas combinações que estes apresentavam em seus compostos, porém, considerou as partículas que os constituíam, iguais em peso, tamanho e forma (MARTINS, 2001). Para Dalton, os átomos eram pequenas esferas densas, indestrutíveis e impenetráveis, ficando conhecido como o “modelo da bola de bilhar”, inclusive ele criou símbolos que representavam os átomos de sua teoria, como pode ser observado na Figura 1.

Figura 1 - Notação atômica usada por Dalton



Fonte: <http://brasilecola.uol.com.br/upload/conteudo/images/notacao-usada-por-dalton.jpg>.

Acesso em fevereiro de 2017

Iniciava-se uma nova era na Ciência onde alguns defendiam e procuravam mostrar que a matéria era constituída por átomos e outros que acreditavam que os átomos eram compostos por partículas ainda menores (FARIAS, 2008).

2.2. DESCOBERTA DO ELÉTRON E O MODELO DE THOMSON

A primeira evidência sobre a divisibilidade do átomo foi obtida em 1834, pelo físico e químico inglês Michael Faraday (1791 – 1867), que observou o aparecimento de manchas fosforescentes ao aplicar descargas elétricas em gases rarefeitos, dentro de um recipiente de vidro, experimento esse que definia os raios catódicos. Por sua vez, Julius Plücker (1801 – 1868), em meados de 1858, ao aproximar um ímã de um experimento similar ao realizado por Faraday percebeu um deslocamento das manchas fosforescentes, elas se afastavam das paredes de vidro, com isso ele pode perceber que os raios eram formados por partículas carregadas.

Outra análise aos trabalhos de Faraday foi realizada por George Johnstone Stoney (1826 – 1911) em meados de 1874. De acordo com ele, o fenômeno elétrico observado por Faraday estava associado à constituição da matéria e então sugeriu que esta seria constituída de partículas negativas. Ele ainda propôs o nome de elétron para designar estas partículas portadoras de eletricidade (SILVA, 2011).

Em paralelo, J.J. Thomson (1856-1940) também vinha trabalhando com raios catódicos e observara que eles sofriam uma deflexão quando eram submetidos a um campo magnético, porém não desviava quando se tratava de um campo elétrico. Thomson foi primordial em observar esse desvio sofrido pelos raios na presença de um campo elétrico. Ele justificava inicialmente a não observação dessas deflexões pelo fato da má qualidade do vácuo que existiam nos tubos dos experimentos. Contudo, a real natureza dos raios catódicos foi descoberta quando Thomson mediu a sua razão carga-massa daquelas, até então desconhecidas, partículas que as conduziam (THOMSON, 1897).

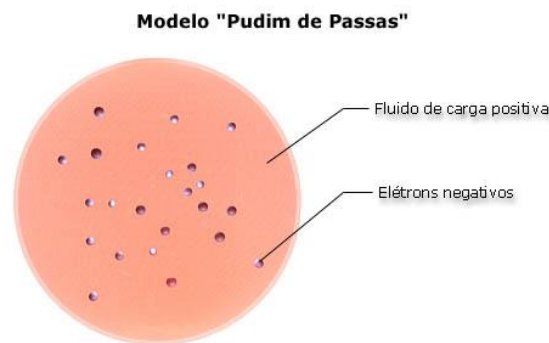
Thomson ainda sugeriu que se os raios catódicos têm carga negativa eles sofreriam um desvio similar ao que ocorre quando submetidos a um campo magnético quando próximo a um campo elétrico. Inicialmente nada foi observado, e isso se deve pelo fato de que quando os raios atravessam o tubo de vidro que possuem uma quantidade de gás, o mesmo se torna condutor de eletricidade, fazendo com que os raios fiquem com um condutor ao seu redor, e isso blindava os efeitos eletrostáticos.

Para diminuir esses efeitos, a quantidade de gás teria que ser mínima dentro do tubo, e foi isso que Thomson fez, obtendo o desvio previsto, e foi mais longe ao perceber que esta deflexão era tal que indicava que a carga elétrica do componente dos raios catódicos devia ser negativa. Estava então descoberto o elétron, que tem papel fundamental no atual modelo padrão das partículas elementares.

Com a descoberta do elétron, Thomson também se aventurou na construção de um modelo atômico onde afirmava que elétrons circulavam em anéis no mesmo plano circunscrito em uma esfera uniforme carregada positivamente. Contudo, seu modelo não explicava os componentes positivos do átomo (LOPES E MARTINS, 2009).

Podemos observar o modelo atômico proposto por Thomson na Figura 2, ele ficou conhecido como “modelo do pudim de passas ou pudim de ameixa”¹.

Figura 2 - Modelo atômico de Thomson conhecido como "pudim de passas"



Fonte: http://mesonpi.cat.cbpf.br/fisMod/O_atomo/pudim1_legenda.jpg
Acesso em fevereiro de 2017.

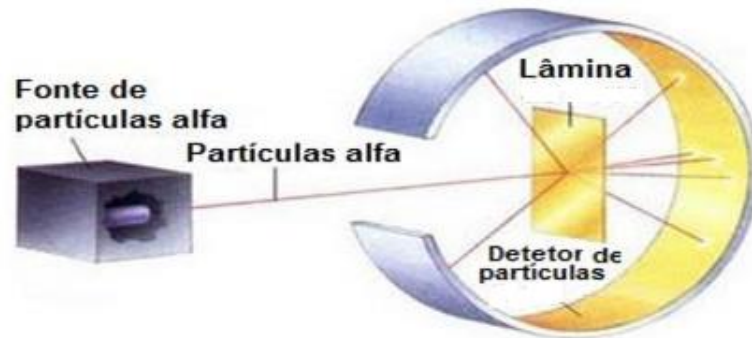
2.3. MODELO DE RUTHERFORD

Ernest Rutherford (1871-1937), juntamente com seus alunos Hans Geiger (1882-1945) e Ernest Marsden (1889-1970), publicava um trabalho no qual descreve que a radioatividade contém, pelo menos, as partículas alfa e beta, emitidas por elementos radioativos. Os experimentos realizados consistiam em bombardear feixes de partículas alfa sobre lâminas de diversos materiais a fim de analisar se essas partículas iriam atravessar o material ou seriam retidas por ele. Eles obtiveram como resultado de suas observações que a maioria das

¹Este nome é em razão de uma sobremesa chama de *plum-pudding*.

partículas alfa atravessava as lâminas e somente um pequeno quantitativo sofria desvio em suas trajetórias (Figura 3), o que apontava para que o átomo não fosse uma estrutura maciça (Santos, 2008).

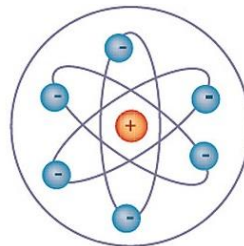
Figura 3 - Experimento de Rutherford



Fonte: http://alunosonline.uol.com.br/upload/conteudo_legenda/e42ff28604b7de9f8134af9376c40435.jpg
Acesso em outubro de 2017.

Nesta direção, Rutherford propôs um modelo de átomo que possuía um núcleo maciço e compacto, onde se concentrariam as partículas positivas. Ao redor deste núcleo elétrons ficariam circulando em grandes órbitas de modo que a força centrípeta devido a este movimento os impediria de colapsarem ao núcleo (ÓTON e FERNANDES, 2006). O modelo atômico de Rutherford () ficou conhecido também como modelo planetário, onde o núcleo formado por cargas positivas seria o sol e os elétrons que orbitavam em torno deste os planetas.

Figura 4 - Átomo de Rutherford



Fonte: <http://espetacularquimica.blogspot.com.br/2013/02/modelo-atômico-de-rutherford.html>
Acesso em outubro de 2017.

2.4. MODELO DE NAGAOKA

Trata-se de um modelo atômico não muito conhecido, o também chamado “modelo atômico de saturno” elaborado pelo físico japonês Hantaro Nagaoka (1865-1950) e apresentado em 1903 em Tóquio. Tal modelo objetivava explicar os espectros de linhas e bandas, e consistia em um grande número de partículas, todas com a mesma massa, ordenado em um círculo (ver Figura 5), repelindo-se com força inversamente proporcional ao quadrado da distância. No centro existia uma partícula com uma grande massa que atraía todas as outras de acordo com a lei da força gravitacional. Caso essas partículas, que orbitavam o núcleo massivo tivessem a mesma velocidade ele permaneceria estável (Fiolhais e Ruivo, 1996).

Figura 5 - Representação do átomo de Nagaoka



Fonte: <https://www.slideshare.net/newtondasilva/aula-3-concepes-cientificas-do-tomo-ii>
Acesso em novembro de 2017.

Apesar de interessantes, os modelos atômicos de Rutherford e Nagaoka apresentavam inconsistências. A mais significativa era a questão da estabilidade do átomo, ou a instabilidade eletromagnética, que só foi resolvida com o modelo atômico de Niels Bohr (1885-1962).

2.5. POSTULADOS DE BOHR

O teorema de Larmor (1857-1942) prevê que os modelos atômicos de Thomson, Nagaoka e Rutherford, da maneira em que dispunha as cargas positivas e negativas não são instáveis segundo a teoria eletromagnética clássica. Esse teorema expressa que uma partícula carregada e também dotada de aceleração emite uma determinada quantidade de energia eletromagnética pelo tempo, e isso acarretaria uma futura colisão com o núcleo (Parente, Santos e Tort, 2013).

Parente também afirma que o átomo de Bohr resolve a problemática da estabilidade do átomo. Ao mesmo tempo bate de frente com conceitos clássicos da época, introduzindo novas

ideias observadas no problema da radiação do corpo negro, como a quantização de energia. De acordo com Bohr:

- A mecânica clássica é capaz de explicar eficientemente o equilíbrio dinâmico das configurações atômicas em estados estacionários, porém falha em explicar as transições entre os diferentes estados estacionários².
- Quando ocorre a transição entre os estados estacionários, uma radiação eletromagnética com uma frequência bem definida é emitida. A frequência e a energia emitida são dadas pela teoria de Max Planck (1858-1947).

Cada elemento tem um conjunto de estados característicos, este é também conhecido como seu espectro. Podemos melhor entender esses postulados através dos resultados para o átomo de hidrogênio, o qual quando submetido a baixas pressões e perpassado por uma corrente elétrica emitia quatro espectros na região do visível. A partir dessa observação, Balmer (1825-1898) deduziu uma equação (1) para calcular o comprimento de onda das raias espectrais:

$$\frac{1}{\lambda_n} = C \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad (1)$$

Onde λ é o comprimento de onda da raia de número n , C é uma constante cujo valor é $3,29 \times 10^{15} \text{ Hz}$ e n é um número inteiro igual ou maior que 3.

Contudo, percebeu-se que a equação de Balmer também poderia identificar as raias não só da região do visível e em 1890 Rydberg propôs a seguinte generalização (2), que ficou conhecida como equação de Rydberg:

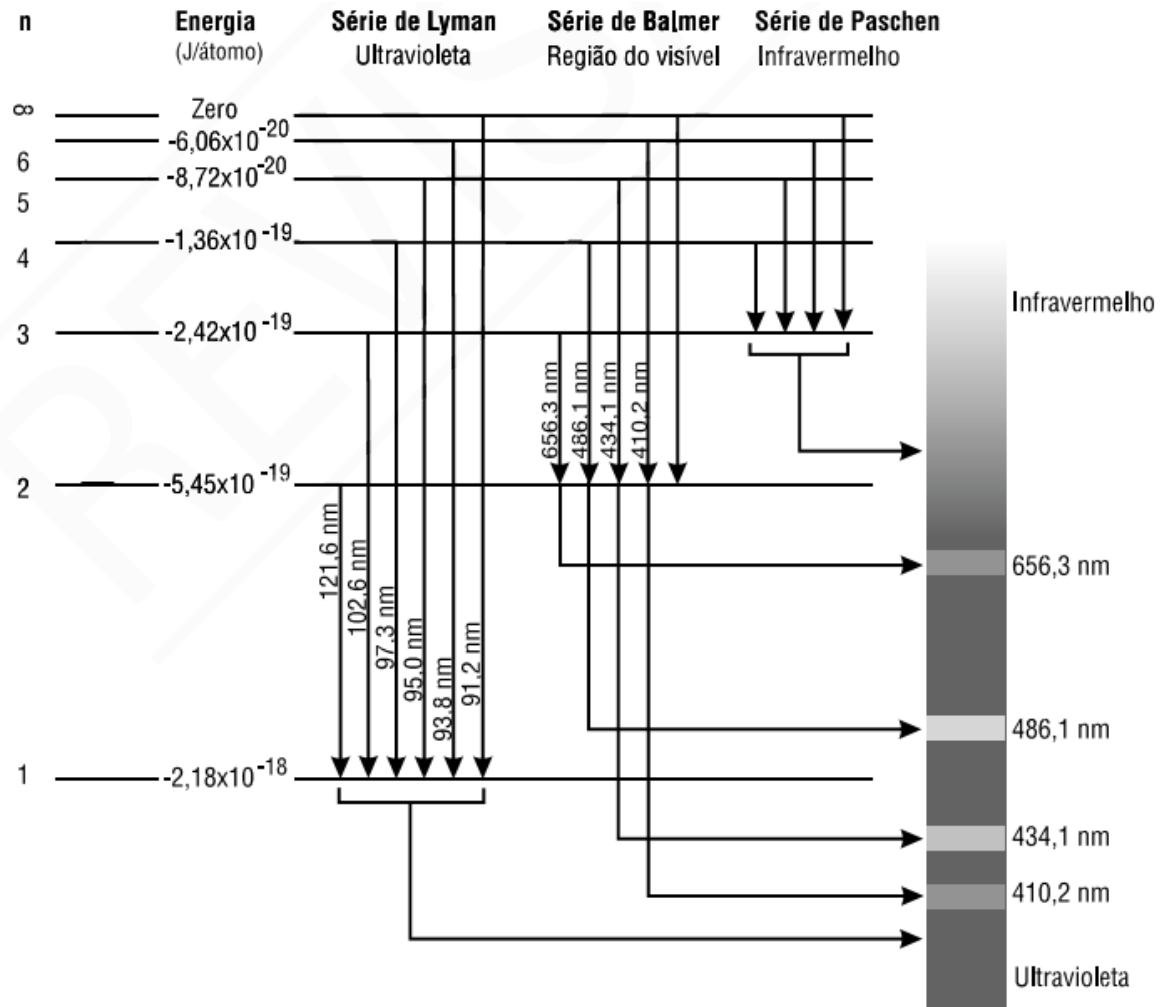
$$\frac{1}{\lambda_n} = R \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right) \quad (2)$$

Aqui n_1 e n_2 são números inteiros maiores que 1 e $n_2 > n_1$. Já R é uma constante empírica conhecida como constante de Rydberg, $R = 1,097 \times 10^7 \text{ m}^{-1}$.

A partir desta generalização podemos classificar o conjunto de raias observadas na região do visível como série de Balmer, na região do ultravioleta a série de Lyman e ainda as séries de Paschen, Brackett e Pfund na região do infravermelho, como mostra a Figura 6.

² Estados estacionários são órbitas estáveis onde os elétrons podem se mover sem irradiar energia.

Figura 6 - Séries espectrais do átomo de hidrogênio



Fonte: ÓTON e FERNANDES, 2006

Bohr, através da equação de Rydberg, conseguiu justificar o motivo pelo qual o átomo de hidrogênio se limitava a quatro espectros, e o porquê de ele não absorver ou emitir qualquer comprimento de onda. Sugeriu então que o elétron girava em torno do núcleo descrevendo uma órbita circular e que o módulo do momento angular (L) é calculado pela equação:

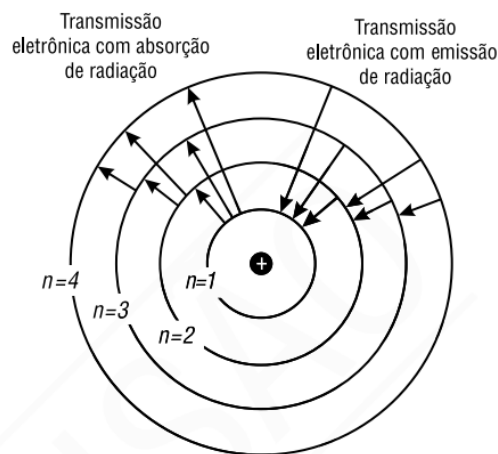
$$L = n\hbar, \quad (3)$$

onde h é a constante de Planck e $\hbar = h/2\pi$.

Assim, podemos melhor colocar os postulados de Bohr da seguinte maneira:

- ✓ Só é permitido ao elétron ocupar certos estados estacionários no átomo e em cada um desses estados a energia é quantizada;
- ✓ Elétrons orbitam ao redor do núcleo quando está ocupando um desses estados estacionários;
- ✓ O momento angular é quantizado para os estados permitidos e seu módulo é um múltiplo da constante de Planck;
- ✓ Um elétron ao passar de um estado estacionário para outro emite ou absorve um quantum de energia $h\nu$, (Oton e Fernandes, 2006) correspondente à diferença de energia entre esses dois estados, que podemos visualizar na Figura 7.

Figura 7 - Modelo de Bohr para o átomo de hidrogênio



Fonte: ÓTON e FERNANDES, 2006

Com base nesses postulados, foram deduzidas equações que possibilitam o cálculo do raio das órbitas, da energia e da velocidade dos elétrons. O modelo do Bohr, apesar de não conseguir explicar átomos mais complexos que o hidrogênio, foi o primeiro a relacionar a hipótese de quantização da energia ao comportamento do elétron no átomo. Chegou mais uma vez a hora de se propor um novo modelo atômico.

2.6. PRINCÍPIO DA INCERTEZA E O MODELO ATÔMICO ATUAL

Uma vez que o modelo de Bohr não era suficiente para explicar outros átomos a não ser o de hidrogênio, chegava a hora de se propor um novo modelo atômico. Nessa direção, a contribuição de de Broglie sobre comportamento dual (onda-partícula) da matéria foi fundamental. Além disso, Heisenberg nos trouxe, em seu princípio da incerteza, que não é

permitido medir simultaneamente variáveis conjugadas com precisão em um único experimento. Ele mensurou essa incerteza através da equação (4),

$$\delta x \delta p \geq \frac{\hbar}{2\pi}. \quad (4)$$

Onde δx é a incerteza na posição da partícula e δp a incerteza no momento da partícula. Essa relação ficou conhecida como princípio da incerteza de Heisenberg. Podemos então perceber que a mecânica conhecida classicamente não era capaz de explicar essas descobertas e então entra em cena uma nova mecânica. Agora era necessário descrever o movimento de partículas muito pequenas e que se movimentavam muito rápido, eis a Mecânica Quântica.

Na mecânica quântica algumas expressões tais como “trajetória de um elétron” deve ser substituída por “região onde é maior a probabilidade de se encontrar um elétron”, em outras palavras o caráter passa de discreto para probabilístico. Erwin Schrödinger (1887-1961) deduz sua equação (5) descrevendo o comportamento de sistemas microscópicos para cada estado permitido,

$$\frac{\partial^2 \Psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Psi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \Psi}{\partial z^2} + \frac{8\pi^2 m}{h^2} (E - V) \Psi = 0, \quad (5)$$

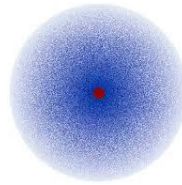
Ψ é a função de onda associada à partícula de massa m , E é a energia total do sistema e V a energia potencial da partícula.

É importante mencionar que a função de onda pode assumir qualquer valor, mas só valores reais e positivos descrevem sistemas reais. Desse modo, Max Born (1882-1970) interpretou a função de onda em termos de uma densidade de probabilidade P de se encontrar o elétron nas vizinhanças de um dado ponto, num volume infinitesimal dv , a qual pode ser definida pela equação (6),

$$P = |\Psi|^2 \cdot dv. \quad (6)$$

Como exemplo, podemos ver na Figura 8 a representação do átomo de hidrogênio segundo essa nova formulação de modelo atômico. O núcleo é representado pelo ponto em vermelho e a região com o azul mais forte é a que tem maior probabilidade de se encontrar o elétron.

Figura 8 - Átomo de hidrogênio.



Fonte: https://encrypted-tbn1.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcQP5vUJ03_4Eo9r-d1LaVgGcsxjN0n-c42hn6hzTuoK-LMOpNkY
Acesso em maio de 2017

2.7. PARTICULAS ELEMENTARES

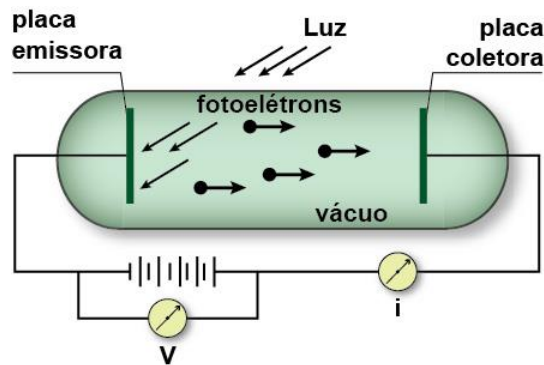
A definição do conceito de partícula elementar pode ser ao mesmo tempo muito fácil e intuitivo, como também pode ser complexo do ponto de vista teórico e matemático. No século XIX chegou-se à ideia do diâmetro de um átomo, sendo esse o limite possível para se alcançar em experimentos. Importante mencionar que até esse momento, o átomo era considerado elementar, pois não se conhecia a sua estrutura interna, tornando-o então, indivisível. De modo simplificado, uma partícula elementar seria aquela em que não se pode fracionar. Teoricamente, o comportamento dessas partículas era descrito por funções de ondas, que no caso das elementares, não podem ser expressas de maneira simplificada a de outras partículas (ABDALLA, 2016).

Contudo, novas partículas começaram a ser descobertas e definir partícula indivisível como a estrutura atômica até então vigente ficou inviável. Apresentaremos algumas partículas descobertas e que podem ser descritas pelo MP.

2.7.1. A descoberta do fóton

Ao investigar a natureza eletromagnética da luz, Hertz (1857 – 1894) percebeu a produção de descargas elétricas entre duas superfícies metálicas submetidas a uma diferença de potencial ao observar que uma faísca gerada por uma superfície ocasionava uma faísca na outra como observado na figura 9. Contudo, ele acredita que esse fenômeno era restrito a incidência de luz ultravioleta.

Figura 9 - Ilustração do efeito fotoelétrico



Fonte: <http://www.ifi.unicamp.br/~fauth/1OrigensMecanicaQuantica/1Oquantumdeluz/Oquantumdeluz.html>
Acesso em março de 2017

Para explicar o fenômeno, Lenard e Wolf foram testar o que aconteceria quando a luz incidente era um arco de carbono. Neste experimento eles conseguiram verificar que a energia das partículas emitidas era independente da intensidade da luz que era incidida. Tudo isso serviu de base para que Thompson postulasse que as partículas emitidas eram elétrons, estava descoberto o efeito fotoelétrico (SANTOS, 2002).

A partir da descoberta do efeito fotoelétrico, coube a Albert Einstein (1879-1955) uma teoria que poderia explicar quantitativamente o fenômeno observado. Nesta direção ele propõe a ideia do quantum de luz, e em 1926 foi denominado de fóton por Gilbert Newton Lewis (1875-1946).

“... na propagação de um raio de luz emitido por uma fonte pontual, a energia consiste em um número finito de quanta (plural de quantum) de energia localizados em pontos do espaço que se movem integralmente e só podem ser absorvidos ou gerados em quantidade bem definidas. Ou seja, esses “pontos do espaço” são como partículas newtonianas, uma espécie de bolinha de gude se deslocando no ar” (SANTOS, 2017).

Considerando que um elétron ejetado do interior do corpo perde energia até atingir a superfície, sua equação relaciona a energia do elétron ejetado (E) na superfície, à frequência da luz incidente (ν) e à função trabalho do metal (W), que é a energia necessária para escapar do material

$$E = h\nu - W \quad (7)$$

A equação (7) é conhecida como Equação de Einstein.

2.7.2. A descoberta do nêutron (n) e do neutrino (ν)

Rutherford propôs a existência de uma partícula formada por um próton e um elétron dentro do núcleo, ou seja, uma partícula sem carga que seria chamada de nêutron. Isso explicaria a existência do elétron que surge no decaimento β . Porém a mecânica quântica contradizia essa proposta, no que diz a respeito do princípio da incerteza. Até que em 1931 James Chadwick (1891-1974) refazendo um experimento do casal Joliot-Curie consegue descobrir a existência do nêutron.

Por outro lado, um fato intrigante rodeava os cientistas no final de 1920, tal fato ocorria nos decaimentos tipo β^- , em que elétrons são emitidos pelo núcleo. O problema consistia na conservação de energia desse elétron quando era emitido. O núcleo por ser mais pesado, praticamente ficava imóvel, induzindo a pensar que toda a energia era concedida para este elétron em forma de energia cinética quando acontecia a emissão da partícula β^- . Mas, ao analisar os resultados dos experimentos verificava-se que essa energia variava de forma contínua para cada decaimento.

Wolfgang Pauli (1900-1958) propôs uma solução para o enigma: outra partícula era emitida juntamente com o elétron no decaimento, essa partícula “misteriosa” teria que ter carga neutra por não ter sido, até então, detectada. Com isso a energia era distribuída entre ela e o elétron, conservando assim a energia total do sistema (SANTOS, 2003). Enrico Fermi (1901-1954) chamou essa partícula de Pauli de Neutrino (pequeno nêutron) e considerando que deveria existir uma força capaz fazer com que o nêutron pudesse decair em um próton emitindo um elétron e o neutrino, essa seria a chamada *força fraca* (ABDALLA, 2016).

2.7.3. A descoberta do anti-elétron e^+ (Pósitron)

James Clerk Maxwell (1831-1879) comprova sua teoria experimentalmente na observação de ondas eletromagnéticas em um experimento de Hertz, unificando a eletricidade, magnetismo e a óptica. Com isso a luz passa a ser entendida como um fenômeno ondulatório. Todavia com a descoberta do efeito fotoelétrico por Einstein, e o surgimento da

ideia do fóton, assim como o efeito Compton, a luz demonstrava sua característica corpuscular, sendo entendida a partir disso como dual, ou seja, onda-partícula.

Louis de Broglie (1892-1987) postulou que para cada partícula livre, que pode ser descrita por campos, está associada uma onda, desempenhando um papel de piloto dessa partícula. Implicando que a dualidade onda-partícula também podia ser associada à matéria e à luz. Tal fato encontrava dificuldades quando esta onda sofria dispersão, mesmo que no vácuo, pois mostrava falhas na ideia de servir como piloto; outro problema era como se poderia descrever essa dinâmica microscópica a partir de suas ideias (CARUSO, 1997).

De acordo ainda com Caruso, a formalização de uma equação que poderia descrever a onda de de Broglie, foi feita por Schrödinger, como pode ser vista na equação 8,

$$i\hbar \frac{\partial \Psi}{\partial t} = -\frac{\hbar^2}{2m} \frac{\partial^2 \Psi}{\partial x^2} + V\Psi. \quad (8)$$

Já Dirac (1902-1984) é o responsável pela equação relativística 9 que descreve o comportamento de um elétron:

$$\left\{ i\hbar \left(\frac{\partial}{c\partial t} + \alpha_1 \frac{\partial}{\partial x} + \alpha_2 \frac{\partial}{\partial y} + \alpha_3 \frac{\partial}{\partial z} \right) + \alpha_4 mc \right\} \Psi(\bar{x}, t) = 0. \quad (9)$$

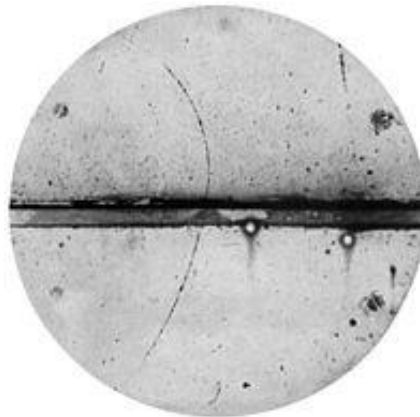
Os coeficientes α da equação 9 são matrizes, e as soluções para Ψ , envolvem quatro componentes que admitem valores de energia negativos. Como resultados de energias negativas não seriam de fácil aceitação e compreensão, Dirac resolve repensar no conceito de vácuo, admitindo-o como “*o estado de todos os níveis de energia negativa ocupados pelos elétrons*”, batizados como mar de elétrons, possibilitando uma energia total negativa e infinita.

Fazendo uma analogia com o preenchimento das camadas dos estados fechados de um átomo, um elétron de energia positiva não poderia realizar uma transição para um estado de energia negativa, pois este estaria todo ocupado, como nos diz o princípio da exclusão de Pauli. Entretanto, um elétron localizado no vácuo, poderia receber energia o suficiente para “pular” a um estado de energia positiva, deixando para trás um *buraco* que seria, segundo a interpretação de Dirac, uma partícula com energia positiva assim como sua carga. Além disso, esses buracos teriam massa idêntica à do elétron, porém carga elétrica oposta: “um elétron positivo” ou anti-elétron (CARUSO, 1997).

A procura por novas partículas continuava a todo vapor. Em 1933, Carl David Anderson (1905-1991) estudando os rastros deixados por raios cósmicos, consegue observar em uma câmara de nuvens que dentre os 1300 observados, existiam 15 traços que sua trajetória indicando tratar-se de uma partícula com carga igual ao do próton, mas devido à ionização provocada por essa partícula, a massa era muito próxima à do elétron (ABDALLA, 2016).

Em seu experimento, Anderson colocou uma placa de chumbo de 6 mm na câmara de nuvens e percebeu que as partículas ao atravessar essa placa, perdiam energia. E como observando na figura 10, o raio de curvatura depois de atravessar a placa de chumbo torna-se maior.

Figura 10 - Experimento de Anderson para detectar o pósitron



Fonte: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/6/69/PositronDiscovery.jpg/200px-PositronDiscovery.jpg>

Acesso em abril de 2017

O poder de ionização do próton é cerca de duas vezes o observado na figura 10, sendo que sua massa é aproximadamente 2000 vezes a do elétron. A curvatura é dada na equação 10,

$$Curvatura = \frac{1}{R} = \left(\frac{q}{m}\right) \left(\frac{B}{v}\right). \quad (10)$$

Pode ver que ela é inversamente proporcional a massa, deixando claro que se o próton pudesse atravessar o obstáculo de chumbo, praticamente não deixaria rastro na câmara de nuvens. Estava descoberto o pósitron.

2.7.4. A descoberta do múon (μ) e seu neutrino (ν_{μ})

Sob um olhar mais cuidadoso, poderíamos perceber que se em um núcleo de um átomo existem prótons e nêutrons, que se os nêutrons são desprovidos de carga elétrica e os prótons têm carga positiva, as forças de repulsão entre eles deveriam fazer com que o núcleo “explodisse”. Logo existia a indagação de o porquê de tal fato não ocorrer.

O físico Hildeki Yukawa (1907-1981) propôs que os prótons e nêutrons se mantinham coesos no núcleo em razão de uma troca de partículas que seriam mediadoras dessa força nuclear. A denominação dessa partícula foi a de méson π ou pión, e tal partícula deveria ter uma massa intermediária entre o elétron e o próton. Logo, se usasse uma câmara de bolhas provida de um campo magnético, seria observado uma trajetória mais curvada que a do próton e menos curva que a do elétron, o que foi constatado por Anderson e Seth Neddermeyer em 1936 e essa partícula foi batizada de múon (MOREIRA,2007).

O múon tem uma forte semelhança com o elétron, mas se diferenciava por ser cerca de 200 vezes mais pesada. Ele provinha da de radiação cósmica, e que quando interagia com a matéria presente na atmosfera, antes de decair, descrevia uma órbita por um intervalo de tempo de alguns segundos ao redor do núcleo do átomo com o qual interagiu, assemelhando-se com o próprio elétron (ABDALLA, 2016).

Ainda de acordo com Abdalla (2016), em 1962 Leon Lederman, Melvin Schwartz e Jack Steinberger conseguiram descobrir o neutrino do múon e um dos mais avançados aceleradores era o AGS (Alternating Gradient Synchrotron). Neste acelerador um feixe de prótons com muita energia produziram um chuveiro de mésons π , que alcançaram uma distância de mais de 20 metros de uma parede com massa 5000 toneladas de aço. Durante o percurso os mésons decaíram em múons inclusive os neutrinos, e foram estes neutrinos que atravessaram toda a parede e colidiram com o detector câmara spark. Nele, os neutrinos ao se chocarem, produziam trajetórias do múon que depois de fotografados comprovaram que estes eram do tipo muônico.

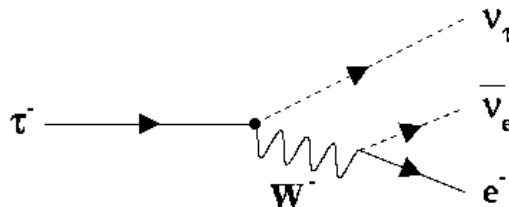
2.7.5. A Descoberta do tau (τ) e seu neutrino (ν_τ)

Era 1975, em Stanford EUA, onde Martin Lewis Perl (1927-2014) estuda o processo em que elétron e prótons se aniquilam, aparece uma nova partícula que apresentava massa quase que duas vezes maior que próton, ela foi batizada de **tau** que vem do grego *triton*

significando terceiro. O seu neutrino, i.e, o **neutrino do tau**, só foi descoberto no ano de 2000 no acelerador Tevatron do Fermilab ao ser analisado um feixe de neutrinos.

Tendo como barreira placas de ferro de 15 m de comprimento e algumas emulsões adequadas para se detectar essa partícula. Este detector foi chamado de DONUT (Direct Observation of the Nu Tau), do feixe de neutrinos que a atravessavam, apenas um interagiu com o núcleo de ferro decaindo em um *tau*, apesar de vigorar por um intervalo de tempo muito curto, estava comprovada a sua existência. A figura 11 mostra o decaimento do tau negativo em um antineutrino do elétron + um elétron + o neutrino do tau, nessa transformação uma partícula W^- é emitida.

Figura 11 - Decaimento do tau negativo



Fonte: http://physicsmasterclasses.org/exercises/manchester/rs/feynman_tautoe.gif
Acesso em abril de 2017

2.7.6. A descoberta do pión (π)

A interação nuclear diferenciava-se da eletromagnética principalmente pelo seu alcance, enquanto a segunda tinha um alcance infinito, a primeira é de ordem $10^{-15}m$. Yukawa propôs que essas forças no núcleo fossem descritas por um campo escalar U que pudesse satisfazer uma equação parecida com a do campo eletromagnético no vácuo, conforme um adicional que está exposto na expressão (11),

$$\left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2}{\partial t^2} - k^2 \right) U = 0. \quad (11)$$

Onde k é uma constante que tem dimensão de inverso de comprimento, e o potencial estático entre os prótons e nêutrons, ou seja, os nucleons, a uma determinada distancia r é proporcional a $\exp(-kr)/r$ e a força com alcance de $1/r$ (DOBRIGKEIT,1997).

Segundo Yukawa, os mésons poderiam apresentar estados de carga elétrica $+e$ e $-e$ para obter em forças de trocas: um méson positivo seria emitido quando um próton passasse a

ser um nêutron e um méson negativo é emitido quando se tem um nêutron virando um próton. Desta maneira poderia ocorrer uma interação entre o próton e o nêutron através da troca de mésons.

Em 1942, Tanikawa e Sakata levantaram uma nova hipótese que considerava que o méson constituinte da radiação cósmica ao nível do mar não era diretamente ligado às forças nucleares, mas sim ocasionados pelo decaimento de outros mais pesados que, esses sim, interagem muito forte com os nucleons. Um determinado tipo de emulsão fotográfica, feita de uma gelatina com grãos de brometo de prata, servia como detector de partículas. Quando revelada, ocorria uma oxi-redução fazendo que a prata ionizada se tornasse metálica e o trajeto deixado pela partícula carregada ficasse pelos grãos da prata metálica. Cecil Frank Powell (1903-1969) utilizava essas emulsões fotográficas e, desde 1935, estudava as colisões nucleares na Universidade de Bristol na Inglaterra.

O grupo de Powell teve uma valorosa contribuição de dois cientistas, o italiano Giuseppe Occhialini (1907-1993) e o brasileiro Cesare Mansueto Giulio Lattes (1924-2005), mais conhecido como César Lattes. Lattes levou algumas emulsões com Tetraborato de sódio hidratado, também conhecido como Bórax ($Na_2B_4O_7 - 10H_2O$) à Bristol, e encarregou a Occhialini que as levasse consigo para o Pic du Midi ao sul da França a 2800 m de altitude. Depois de reveladas, as chapas que continha o Bórax detectaram a partícula π^- penetrando na emulsão, em decorrência do aumento da ionização em por causa da diminuição da velocidade. A carga dela é negativa em detrimento de a mesma entrar no núcleo e transformar massa em energia.

“Os eventos normais vistos nas placas eram de um tipo que justificava colocar todo o esforço do laboratório no estudo dos eventos normais de raios cósmicos de baixa energia. Depois de alguns poucos dias de varredura, Marietta Kurz, uma jovem, encontrou um evento não usual: um méson que parava e, saindo de sua extremidade, um novo méson com alcance de cerca de 600μ , todo contido na emulsão. Devo adicionar que os mésons são facilmente discerníveis de prótons na emulsão que usamos por causa de seu espalhamento muito maior e sua variação de densidade de grãos com o alcance” (LATTES, 1984).

Mas ainda não era o suficiente para Lattes, ele resolve levar emulsões similares para Chacaltaya, na Bolívia, à aproximadamente 5500 m acima do nível do mar. Em 1947 em Berkeley, Califórnia, existia um acelerador capaz de acelerar partículas alfa a 380 Mev, Lattes

queria produzir nele os méson pesados, sem embargo o momento não era propício para uma simples autorização de trabalhar no sincrocíclotron. Posteriormente, em uma viagem ao Rio de Janeiro, César juntamente com Leite Lopes (1918-2006) resolveram falar com o Almirante Álvaro Alberto da Mota e Silva, que era representante do Brasil na Comissão de Energia Atômica das Nações Unidas, para conseguir a permissão de realizar seus experimentos no acelerador.

Apesar de saber que partículas alfa de 380 Mev não eram suficientes para a produção de méson pi, Lattes contou com a energia de Fermi dos nêutrons e prótons para lograr êxito na produção de suas partículas, até que em 1948, juntamente com Eugene Gardner (1901-1986), produziu os primeiros pi negativos artificialmente (BASSALO, 1990). Diante da dificuldade, o pión neutro foi detectado em 1950 através da discriminação de partículas produzidas em seu decaimento. A teoria de Yukawa estava comprovada com a descoberta do π^+ , π^- e π^0 , sendo que o π^- é a antipartícula do π^+ assim como ao contrário, e o π^0 é sua própria antipartícula (ABDALLA, 2016). Na Figura 11 observamos a trajetória do Píon positivo, entre outras.

Figura 12 - Imagem da trajetória de vários tipos de partículas, entre elas o Píon positivo.



Fonte: http://www.ifi.unicamp.br/~fauth/3RadioatividadeeParticulas/2QuarksLeptonseMediadoras/figs2/FI_D8_T3_I16.jpg
Acesso em abril de 2017

2.8. MODELO PADRÃO

A matéria não pode ser resumida ao nível macroscópico, ela no seu estado mais fundamental, é constituída de moléculas que por sua vez são agrupadas por átomos. Até o

início da década de 1930, a estrutura atômica estava muito bem definida com o que se conhecia até então: elétrons, prótons, nêutrons e neutrinos, mas algumas partículas, que eram consideradas fundamentais, apresentavam uma estrutura interna, isto é, eram formadas por outras, essas sim, fundamentais (MOREIRA, 2011).

Prótons e Nêutrons são formados pelos quarks, que por sua vez podem se apresentar em seis sabores: *u* (up), *d* (down), *c* (charm), *s* (strange), *b* (bottom) e o *t* (top). Cada quark pode apresentar-se em três edições chamadas de cores: vermelho, azul e verde, o conceito de cor foi proposto por Nambu e Han em 1964, e serviu para explicar como algumas pareciam violar o princípio da exclusão de Pauli. Com isso, existiriam 18 possibilidades de quarks, mas como para cada um existiria sua antipartícula, totalizava uma família de 36 quarks. Os de sabores *u*, *c* e *t* tem carga elétrica $+\frac{2}{3}e$, e $-\frac{1}{3}e$ para os *b*, *s* e *d*.

Os quarks podem ser divididos em três famílias, em que os membros de cada família mantêm certas relações entre si, a divisão da família dos quarks se da seguinte forma apresentada na tabela 1 (CARUSO et al, 2012).

Tabela 1 - Famílias dos quarks

Família 1	Família 2	Família 3
U	c	T
D	S	B

Fonte: Autoria própria (2017)

Os quarks não são detectados isolados, sempre estão confinados em estruturas chamadas *hádrons*, que por sua vez podem ser de dois tipos: *bárions*, formados por três quarks ou três antiquarks e os *mésons* que são formados por um quark e um antiquark. Os bárions tem spin semi-inteiro ($1/2, 3/2, \dots$) e obedecem ao Princípio da Exclusão de Pauli, enquanto os mésons têm spin inteiro ($0, 1, 2, \dots$) e não obedecem a este princípio. Um termo genérico para as partículas de spin semi-inteiro é o *férmion* e para as partículas de spin inteiro é o *bóson*.

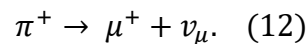
Os *léptons* constituem outra família não tão numerosa, são partículas de spin fracionado e que aparentemente não apresentam uma estrutura interna, i.e, são partículas fundamentais, seus integrantes com seus respectivos símbolos e massas estão descritos na tabela 2.

Tabela 2 - Família dos léptons

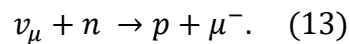
elétron	e^-	0,511 Mev	neutrino do elétron	ν_e
Múon	μ^-	106,66 Mev	neutrino do múon	ν_μ
Tau	τ^-	1776,99 Mev	neutrino do tau	ν_τ

Fonte: Autoria própria (2017)

Observando a tabela 2, cada neutrino é associado ao seu respectivo lépton, nunca aos outros (CARUSO et al, 2012). Logo quando ocorre uma interação em que aparece um múon e um neutrino, este é com certeza o neutrino muônico. Detecta-se isso, por exemplo, no decaimento do π^+ visto em (12):



Nesse decaimento o píon positivo, desintegrou-se em um múon positivo mais um neutrino do múon. Para se chegar a hipótese de seletividade do neutrino, primeiro obteve-se o ν_μ com o decaimento do π^+ depois disso o ν_μ foi colidido com um nêutron, representada na equação 13, e na observação final obteve-se um múon:



Como para cada partícula existe sua respectiva antipartícula, para cada léptons existe um antilépton (tabela 3), as massas são as mesmas encontradas na tabela 2.

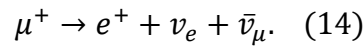
Tabela 3 - família dos antiléptons

pósitron	e^+	antineutrino do elétron	$\bar{\nu}_e$
múons positivos	μ^+	antineutrino do múon	$\bar{\nu}_\mu$
tau positivo	τ^+	antineutrino do tau	$\bar{\nu}_\tau$

Fonte: Autoria própria (2017)

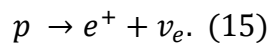
Observando os experimentos, são conservados três números quânticos nas interações, esses são conhecidos como números leptônicos: l_e , l_μ e l_τ , ou seja, existe uma lei de conservação desses números leptônicos. No caso do elétron e seu neutrino temos $l_e = +1$, valor - 1 para as suas antipartículas e 0 para todas as outras. Para o múon e o seu neutrino,

tem-se $l_\mu = +1$, e -1 para as respectivas antipartículas e 0 para as demais. E, finalmente, temos $l_\tau = +1$ para a partícula tau e o neutrino tauonico, suas antipartículas tem valor -1 e 0 para os outros léptons (HALLIDAY e RESNICK, 2009). Podemos citar o decaimento mostrado na equação 14, nele um antimúon decai em um pósitron um neutrino no elétron mais um antineutrino do múon.



Perceba que o μ^+ tem número leptônico -1 por ser uma antipartícula, enquanto o e^+ e o ν_e tem valor 0 por não pertencerem à família do múon. Já o antineutrino do múon também é uma antipartícula, logo seu número leptônico é -1 , comprovando a conservação.

Os Hádrons são os que experimentam, principalmente, a força forte. Alguns tipos de decaimentos nunca são observados, podemos citar, por exemplo, a estabilidade do próton. Ela se explica com o conceito de número bariônico B e sua conservação. Para os bárions o número bariônico tem valor $+1$, para o antibárions tem-se o valor -1 e para as outras partículas o valor é 0 . Uma reação só é possível quando o número bariônico se conserva. Para isto, suponha a equação 15 mostrada a seguir



Neste caso um próton, que tem número bariônico $+1$ está decaindo em um pósitron e um neutrino do elétron quem tem $B = 0$, não ocorrendo uma conservação do número bariônico, em outras palavras, tal decaimento não ocorre.

Além da descrição das partículas fundamentais, o Modelo Padrão trata das interações entre elas. Quando observamos o movimento dos planetas ou a atração e repulsão entre duas cargas elétricas, podemos observar corpos exercendo uma influencia entre outros corpos, produzindo campos de força entre si. Na natureza podemos considerar quatro forças fundamentais: Força Eletromagnética, Força Forte, Força Fraca e a Força gravitacional. Para cada uma delas existe uma partícula mediadora da sua respectiva força. Essas partículas podem ter um caráter real ou virtual.

Quando falamos de uma partícula que pode se deslocar de um ponto a outro e podem ser detectadas, ela é dita real, caso contrário ela é virtual. Segundo o princípio da incerteza de Heisenberg, podem existir pequenas violações no princípio da conservação de energia, observa-se isso quando uma partícula livre emite, por exemplo, um fóton. Quanto maior for a

energia dele mais rápido ele deve ser absorvido por outra partícula, no intuito de restabelecer o equilíbrio energético (Moreira 2011).

Elétrons podem mudar seus níveis de energia estimulados por fótons, caso ele o absorva é excitado para um nível mais alto, e se houver disponibilidade em um nível mais inferior, ele pode decair mesmo que aparentemente não existam fótons presentes. Isso é chamado de decaimento espontâneo, que é causado por um tipo diferente de fóton, é o fóton virtual. Eles são criados através de flutuações quânticas do vácuo, ou seja, literalmente aparecem e desaparecem do nada, apresentando uma imprecisão no tempo e energia (GILMORE, 1998). Com isso podemos afirmar que o fóton (tabela 4) é a partícula mediadora da força eletromagnética, ela tem massa de repouso zero podendo ser real, apresentando um alcance infinito ou virtual com alcance muito curto levando a informação da força entre as partículas.

Tabela 4 - Características do Fóton

Interação Forte	Partícula	Carga	Antipartícula	Massa
ELETROMAGNÉTICA	FÓTON	0	ELA PRÓPRIA	0

Fonte: Autoria própria (2017)

Mas não somente a força eletromagnética possui seu bóson intermediário, ou bóson de calibre. A força forte é a responsável em manter o núcleo coeso, e os fenômenos nucleares foram explicados com a Cromodinâmica Quântica – QCD. Essa teoria nos fornece a ideia das cores dos quarks e da partícula mediadora da força entre eles: O *Glúon*³ (cola) que são partículas de carga elétrica neutra sem massa e spin 1. A força forte existente entre os quarks, tem sua origem na cor, que é como o conceito de carga elétrica. Cada glúon traz consigo uma cor que pode ser o vermelho, azul e verde, e uma anticor que são o antivermelho, antiazul e antiverde, como foi mencionado por Okun (1987).

“...O ponto é que há oito cores de espécies de glúons. Cada glúon carrega duas cargas: uma carga de cor e uma carga anticor. No total, nove combinações de pares podem ser formadas a partir das três cores e três anticor”.

Okun afirma também que com isso haveria nove possibilidades de glúons, mas a CQD nos diz que poderia ocorrer uma combinação linear entre pares azul-antiazul, verde-antiverde

³ Em 1979 no anel de colisão e^+e^- no PETRA – Pósitron-Electron-Speicher-Ring houve a descoberta do primeiro evento dos *3-jets*, este acontecimento evidencia diretamente a existência dos glúons.

e vermelho-antivermelho, com isso uma seria incolor, logo existe oito glúons e não nove. Os valores de carga, antipartícula e massa estão expressos na tabela 5.

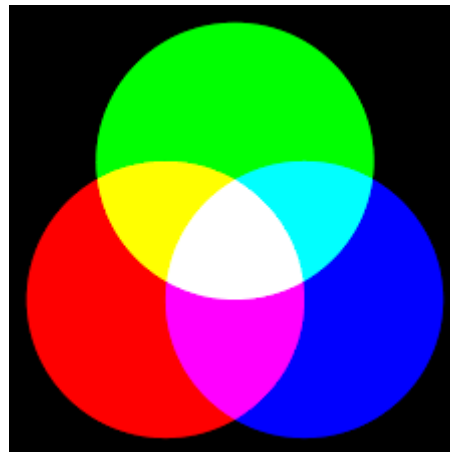
Tabela 5 - Características do Glúon

Interação Forte	Partícula	Carga	Antipartícula	Massa
FORTE	GLÚON	0	ELA PRÓPRIA	0

Fonte: Autoria própria (2017)

Uma forma bem simples de representar as cores e anticores está exposta na figura 12, onde as anticores são representadas pelo ciano (anticor do vermelho), o magenta (anticor do verde) e o amarelo (anticor do azul).

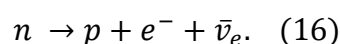
Figura 13 - Esquema que representar as cores e anticores dos quarks



Fonte: <http://4.bp.blogspot.com/-CNSLvsNPj6U/UM9INgVIFeI/AAAAAAAAAL2M/gIaaVvRAYZg/s1600/aditiva.jpg>

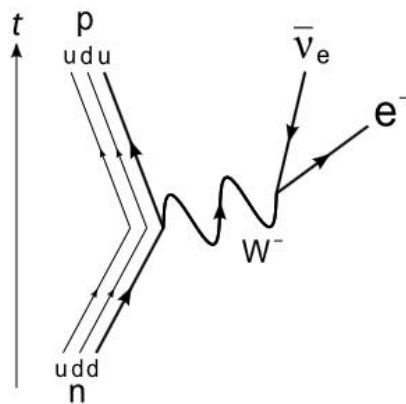
Acesso em maio de 2017.

Já a força fraca tem como partículas mediadoras os bósons W^+ , W^- e Z^0 (W vem de weak = fraco) eles foram propostos por Steven Weinberg na década de 60, tendo como pano de fundo uma teoria que unifica a força eletromagnética e a força fraca. Mas somente no final de 1982 as partículas W^+ e W^- foram detectados experimentalmente através de colisões próton e antipróton, o Z^0 foi descoberto em 1983. Esses bósons mediadores da força fraca estão presentes nos processos de desintegração ou decaimento nuclear. Podemos exemplificar com o decaimento beta na equação VI, nele um nêutron se desintegra em um próton, um elétron e um antineutrino eletrônico.



Uma maneira de representar o decaimento do nêutron é através de um diagrama de Feynman exposto na figura 14, nele um quark **d** (carga $-\frac{1}{3}e$) do nêutron se transforma em quark **u** (carga $+\frac{2}{3}e$), de modo que a primeira formação era **udd** e passa a ser **uud**, que é justamente a composição do próton (CARUSO et al, 2012). Neste momento é emitido uma partícula W^- (carga -1), com isso podemos considerar que $-1 + \frac{2}{3} = -\frac{1}{3}$ ou seja, a carga elétrica é conservada.

Figura 14 - Diagrama de Feynman para o decaimento do nêutron.



Fonte: <https://pequenoplanetaazul.files.wordpress.com/2011/10/untitled-2.jpg>
Acesso em maio de 2017

A tabela 6 mostra os valores de alguns dados das partículas mediadoras da força fraca.

Tabela 6 - Características dos bósons mediadores da força fraca

Interação	Partículas	Carga	Antipartícula	Massa (Gev)
FRACA	W^+	+1	ela mesma	80,4
	W^-	-1	ela mesma	80,4
	Z^0	0	ela mesma	91,2

Fonte: Autoria própria (2017)

A força gravitacional está presente em toda a matéria, pois ela está atuando sobre a massa e energia dos corpos, já que existe uma relação de equivalência entre essas duas grandezas, sua partícula mediadora seria o *gráviton*, mas a sua existência ainda é teórica, pois ainda não foi detectada. Ao nível subatômico a força gravitacional tem valores muito

pequenos quando comparamos a força da gravidade entre dois prótons, ela fica abaixo da eletromagnética por um fator de 10^{36} (GILMORE, 2002).

Assim, podemos considerar o modelo padrão como um referencial teórico em que está incluso a Cromodinâmica Quântica, a força fraca e a eletromagnética. Contudo, esse modelo ainda não inclui a gravitação, não permitindo que seja considerado um modelo definitivo.

2.9. O BÓSON DE HIGGS

Em 1964 Peter Higgs propôs a existência de uma partícula elementar de spin inteiro que seria responsável em dar a massa a todas as outras partículas, seria o *Bóson de Higgs*. Em mecânica quântica cada partícula está associada a um campo, logo o campo de Higgs está presente em todo o universo, e quando ele recebe energia excitando-o, cria-se a partícula Higgs que por sua vez quando interage com outras (quarks, léptons...) transfere energia sob a forma de massa do campo para a referida partícula. Existe então, uma relação entre a intensidade em que as partículas interagem com campo de Higgs, determinando a quantidade de massa fornecida (PIMENTA et al, 2013).

Historicamente Glashow defendeu uma teoria que unificava a força eletromagnética e a fraca, ela seria chamada de força eletrofraca. Em razão do curto alcance da interação fraca, os seus bósons mediadores deveriam ser providos de muita massa logo as partículas W^+ , W^- e Z^0 adquiriam suas massas devido ao campo bosônico de Higgs, popularmente é essa partícula é conhecida como partícula de Deus. Ainda segundo Pimenta e seus colaboradores, a ideia do campo de Higgs já era defendida por outras teorias como a BCS e a do emparelhamento nuclear, que explicava o fenômeno da criação de massa pela quebra de simetria. Em 4 de julho de 2012, nas dependências do A Toroidal LHC Apparatus (ATLAS) e o Compact Muon Solenoid (CMS) foi detectada uma partícula com massa entre 125 e 126 GeV e com características similares a do bóson de Higgs.

Capítulo 3

REFERÊNCIAS PEDAGÓGICAS

Falar em desenvolvimento econômico e social do mundo é perceber que eles dependem do desenvolvimento da ciência e tecnologia. Desse modo, esperava-se ser inevitável o crescimento da importância do ensino de ciências na educação básica. O interesse pelo ensino de ciência também foi impulsionado pelo desenvolvimento tecnológico, problemas sociais como a questão ambiental e energética viraram tema de debates éticos sobre seus efeitos e aplicações influenciando também a construção do currículo de ciências (BALTHAZAR e OLIVEIRA, 2010). Nesta direção os documentos oficiais fornecem princípios norteadores a fim de que seja proporcionado um ensino contextualizado e próximo da realidade discente (BRASIL, 1996 – 1998).

Na década de 90 do século passado, ocorreu um movimento para revisar o currículo de Física no intuito de inserir a FMC. No Brasil, após uma pesquisa em que participaram professores do ensino médio, cientistas pesquisadores em ensino de Física, levantaram-se tópicos que poderiam ser introduzidos no currículo de Física: o átomo de Bohr, o efeito fotoelétrico, leis da conservação, dualidade onda-partícula, raios X e claro, partículas elementares (OSTERMAN e CAVALCANTE, 1999). Contudo, não é incomum encontrarmos resistência a essas atualizações no currículo tradicional, mesmo essas mudanças já estando previstas na legislação vigente.

E um fato que talvez agrave um pouco é que o ensino de Física ainda é aquela no século XIX, ou seja, a mecânica newtoniana. Não que ela não tenha papel fundamental na observação do mundo das baixas velocidades, mas sua exclusividade não se encaixa tão bem perante as tecnologias acessíveis atualmente. Os próprios PCNs orientam uma reformulação no conteúdo das disciplinas de ciências:

[...] para o Ensino Médio meramente propedêutico atual, disciplinas científicas, como a Física, têm omitido os desenvolvimentos realizados durante o século XX e tratam de maneira enciclopédica e excessivamente dedutiva os conteúdos

tradicionais. Para uma educação com o sentido que se deseja imprimir, só uma permanente revisão do que será tratado nas disciplinas garantirá atualização com o avanço do conhecimento científico e, em parte, com sua incorporação tecnológica. Como cada ciência, que dá nome a cada disciplina, deve também tratar das dimensões tecnológicas a ela correlatas, isso exigirá uma atualização de conteúdos ainda mais ágil, pois as aplicações práticas têm um ritmo de transformação ainda maior que o da produção científica.

Nunca é demais insistir que não se trata de se incorporar elementos da ciência contemporânea simplesmente por conta de sua importância instrumental utilitária. Trata-se, isso sim, de se prover os alunos de condições para desenvolver uma visão de mundo atualizada, o que inclui uma compreensão mínima das técnicas e dos princípios científicos em que se baseiam [...] (Brasil, 2012)

De forma mais específica de acordo com o tema principal deste trabalho, que é a Física sob um olhar mais elementar, i.e., um aspecto quântico, pode-se citar o tema estruturador 5: Matéria e Radiação dos PCNEM+ (BRASIL, 2006):

[...] uma vez que a maior parte dos fenômenos envolvidos depende da interação da radiação com a matéria, será adequado um duplo enfoque: por um lado, discutindo os modelos de constituição da matéria, incluindo o núcleo atômico e seus constituintes; e por outro, caracterizando as radiações que compõem o espectro eletromagnético, através de suas diferentes formas de interagir com a matéria. Essa compreensão das interações e da matéria, agora em nível microscópico, permite um novo olhar sobre algumas propriedades trabalhadas no ensino médio, tais como condutividade e transparência, mas permite também promover, como síntese, uma concepção mais abrangente do universo físico.

Aqui fica clara a necessidade da inclusão dos assuntos de FMC no ensino de Física atual, resgatando o aprendizado do aluno para que ele possa se situar no desenvolvimento tecnológico e mundo em que ele vive. Entretanto não podemos esquecer a dificuldade de métodos de uma transposição didática eficiente destes temas, em especial devido às dificuldades experimentais e do formalismo matemático muito mais complexo que o usado para Física Clássica (PINTO e ZANETIC, 1999).

A disciplina de Física requer uma organização de modo a formar “uma cultura científica efetiva, que permita ao indivíduo a interpretação dos fatos, fenômenos e processos naturais, situando e dimensionando a interação do ser humano com a natureza como parte da própria natureza em transformação”. Isso é o que nos fornece os Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio, logo não é prudente abordá-la de forma isolada deve existir

uma interdisciplinaridade. Isso mostra que as “Competências em Física para a vida se constroem em um presente contextualizado, em articulação com competências de outras áreas, impregnadas de outros conhecimentos” (BRASIL, 2002, p.59).

Logo para que ocorra uma reflexão por parte dos alunos, um fator muito importante não pode ser esquecido: a leitura.

Dentre as leis da LDB, a de número 9.394 (Brasil, 1996, p.15) artigo 36 remete a essa ideia exposta, no parágrafo anterior, onde nos diz que o currículo do ensino médio :

I - destacará a educação tecnológica básica, a compreensão do significado da ciência, das letras e das artes; o processo histórico de transformação da sociedade e da cultura; a língua portuguesa como instrumento de comunicação, acesso ao conhecimento e exercício da cidadania;

II - adotará metodologias de ensino e de avaliação que estimulem a iniciativa dos estudantes; [...]

Segundo Almeida e Sopreso (2011) quando se tem, por exemplo, dois textos com assuntos científicos de mesmo tema, um de divulgação e outro periódico, as suas escritas evidenciam ideias distintas. Tendo em vista quem em um periódico existe todo rigor linguístico próprio da área enquanto num texto de divulgação redigido por um jornalista a linguagem tem se destinar a um público leigo. E isso pode ser muito bem observado quando um aluno não consegue ter um interesse pelo livro didático carregado de informações formais no tocante a linguagem matemática e física, mas em contrapartida ler os mais variados materiais de caráter lúdico, como artigos científicos encontrados em revistas.

Tais textos de divulgação científica tem como caráter comum “fugir dos textos carregados de informações formais” (Almeida e Queiroz, 1997 apud Assis, 2005) e esses autores defendem a ideia de que esses textos despertem interesse na leitura, leitura esse que brota satisfação ao leitor. Isso mostra a necessidade de que os conhecimentos do professor estejam além do domínio do assunto abordado, ele deve procurar métodos pedagógicos que forneça uma participação mais efetiva de seus alunos. E uma opção é a utilização de textos que possam dá um suporte para a contextualização do saber científico, tecnológico, social e ambiental (Assis, 2005).

Um ensino de Física centrado, única e exclusivamente, no formalismo matemático, vem mostrando sinais de fracasso no tocante desempenho e aprendizagem dos alunos. Faz-se então necessário uma busca por inovações pedagógicas que fujam um pouco dessa

exclusividade que acaba tornando a disciplina de Física tão “temida” entre os discentes. Essa pedagogia mecanicista, que resume as disciplinas de ciências a expressões matemáticas é rebatida nos próprios PCNs, onde fala que:

“(…) Na prática é comum a resolução de problemas utilizando expressões matemáticas dos princípios físicos e ao modelo utilizado. Isso se deve em parte ao fato já mencionado de que esses problemas são de tal modo idealizados que podem ser resolvidos com a mera aplicação de fórmulas, bastando ao aluno saber qual expressão usar e substituir os dados presentes no enunciado do problema.” E prosseguem, alertando que “essas práticas não asseguram a competência investigativa, visto que não promovem a reflexão e a construção do conhecimento. Ou seja, dessa forma ensina-se mal e aprende-se pior”.

Em 1937 através do Decreto-Lei N° 93 cria o Programa Nacional do Livro Didático (PNLD) que é o primeiro programa que visa a distribuição de livros didáticos para estudantes de escolas públicas. Com o decorrer dos anos ele foi se aperfeiçoando e atualmente está voltado para toda educação básica brasileira excetuando a educação infantil. Em 2012 ocorreu uma parceria entre o FNDE e as instituições interessadas para elaboração e uma organização de serviços que contemplem mídias digitais, além do papel impresso. Esses materiais digitais englobam jogos educativos, simuladores e infográficos animados. Além disso, os livros didáticos vêm acompanhados de endereços eletrônicos para o aluno ter um acesso online complementando os estudos em sala de aula (FNDE, 2012).

Beneti (2008) remete-nos a pensar na seguinte questão: Mas por que os livros didáticos, em geral, podem não atender as expectativas da sala de aula? Uma das respostas para tal indagação, talvez seja a de que os mesmos fornecem as informações já definidas, isso não estimula o desenvolvimento das ideias do conhecimento acarretando uma dificuldade na formação de alunos que possam ser criativos e curiosos, comprometendo o aprendizado real onde pessoas são capazes, por si só, de encontrar soluções para os problemas enfrentados na sociedade. Para agravar essa situação, muitas vezes o professor utiliza este único recurso em suas aulas tornando a aprendizagem mecânica e muitas vezes desatualizadas.

Segundo Megid Neto & Fracalanza (2003, apud Benite,2008) a utilização do livro didático falha quando:

“configura erroneamente o conhecimento científico como produto acabado, elaborado por mentes privilegiadas, desprovidas de interesses político-econômicos e ideológicos, ou seja, que apresenta o conhecimento sempre como verdade absoluta, desvinculado do contexto histórico e sociocultural”.

Segundo Moraes (2009) o professor ainda torna o ensino de Física na sala de aula voltado para apenas os aspectos matemáticos, e isso pode ser encontrado também em boa parte dos livros didáticos, isso acarreta prejuízos a partir do momento em que o aluno confunde a Física com a matemática e nem se que consegue discernir o próprio papel da matemática na Física.

Os próprios PCN+ de Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias, afirmam que várias escolas espalhadas pelo Brasil, apresentam bons resultados quando utilizam projetos pedagógicos quem tem como foco o incentivo à leitura e discussões que complementam as aulas tradicionais. Além disso, fornece-nos opções leituras de jornais, quadrinhos, que podem ajudar na interpretação de situações-problema. A leitura e criação de materiais como manuais de instrução ou textos com linguagens textuais e gráficas podem promover um melhor resultado no sentido cultural e prático da aprendizagem. (Rodrigues, 2015)

Menezes (2001) fala que paradidáticos são livros utilizados para fim didáticos mesmo não os sendo, eles têm uma importância por apresentar ideias de forma mais divertida que os próprios livros didáticos, isso acarreta uma eficiência pedagógica bastante significativa. Eles são utilizados de forma complementar aos materiais convencionais não tendo pretensão de substituí-los. Quando a LDB estabeleceu parâmetros na década de 90 ocasionou um aumento a importância da utilização de livros paradidáticos, e isso teve como consequência um aumento na produção das mais variadas obras que tratavam de temas como ética, cultura, consumo, saúde e a sexualidade.

Logo uma boa opção é a utilização de paradidáticos, eles fornecem a possibilidade de uma participação mais consistente dos alunos no processo ensino-aprendizagem. A partir desse material é possível uma observação do caráter “suscitador de uma metalinguagem favorecedora da compreensão do conteúdo e do entendimento de formas de expressão do conhecimento científico” (PFEIFFER, 2001, apud Zen e Pereira, 2013)

Com isso esses materiais são opções para instigar o leitor a curiosidade e a indagação, dessa maneira pode-se manifestar o gosto pela leitura ocasionando uma meditação sobre suas questões. E a escola não pode ficar fora dessa realidade, ela também tem seu papel crucial para estimulação da prática da leitura, pois através dela que se tem uma compreensão do mundo fazendo com que quem ler tenha envolvimento real e serio com o texto em questão (Souza e Neves, 2016). Podemos considerar o livro paradidático como sendo um produto

comercial sem a necessidade do rigor científico, que objetiva trazer de forma lúdica teorias científicas. Mas no aspecto formal, ou seja, acadêmico a definição de livro paradidático pode ser dada como:

“(…) (livros que vão além ou, não sendo especificamente didáticos, que se prestam ao didatismo) como um dos recursos onde podemos encontrar temas com abordagens contextualizadas, motivando desta forma o aluno para o hábito da leitura (TONI; FICAGNA, 2006, apud Beneti, 2008).

Paradidáticos podem auxiliar nas aulas de Física, em especial FMC, contribuindo no ensino da disciplina. Segundo Rodrigues (2015), eles ajudam o aluno a compreender os conceitos físicos apresentados em uma aula servindo como ferramenta didática. Possibilitando uma interação social crítica e reflexiva perante o meio social observando e vivendo sua cidadania. Corroborando com essas ideias, Assis e Teixeira (2005) ressaltam a importância dos textos informativos como ferramenta para potencializar o entendimento do aluno dos conceitos expostos, e defende a utilização de paradidáticos para manter uma relação de diálogo tornando a aprendizagem significativa, mas ao mesmo tempo o professor deve rever suas práticas, mudando o comportamento de extrema autoridade como ocorrem nas aulas tradicionais.

Uma consequência da utilização de livros paradidáticos nas aulas de Física, é segundo (Rodrigues, 2015) “facilitar a produção escrita” e concomitante com esse fato, é que quando o professor orienta adequadamente seus alunos, estes passam a ter reflexões mais “profundas e significativas”. O fato de aqui a disciplina abordada ser a de Física, não ocasiona sua exclusividade no tocante a leitura, isto é, esta deve ser estimulada nas outras disciplinas. Quando se estuda trabalhos de terceiros uma reflexão crítica sobre eles pode acarretar uma melhoria dos seus próprios trabalhos, afinal a ciência não é absoluta ela sempre está imersa em uma realidade dinâmica, logo observações pertinentes de seus pares podem fornecer uma construção científica.

Em um trabalho de conclusão de curso (Maia, 2011), afirma que quando se usa uma boa metodologia para se ensinar um assunto que sofre aversão dos alunos, os mesmos passam a ter uma menor resistência de ideias complexas, como é o caso da Física de partículas. Mas essa boa metodologia às vezes falha em razão da formação deficiente dos docentes nos cursos de licenciaturas, porém isso não pode impossibilitar o professor de se manter dinâmico no sentido de renovar suas práticas pedagógicas, ele não pode parar no tempo.

Para o desenvolvimento deste trabalho, dois livros paradigmáticos tiveram papel importante: “Alice no País do Quantum”(Gilmore, 2002) e “O Mágico dos Quarks” (Gilmore, 2002), ambos do autor Robert Gilmore.

O livro “Alice no País do Quantum: A Física Quântica ao Alcance de Todos” é uma espécie de releitura da história “Alice no País das Maravilhas” do autor Charles Lutwidge Dodgson. Nele uma Alice tem a oportunidade de vivenciar os mais variados conceitos da mecânica quântica, como o princípio da incerteza de Heisenberg e o princípio de Pauli. De forma lúdica o leitor é incentivado a despertar a imaginação aprendendo alguns conceitos que, formalmente, são bastante complexos.

Ele é dividido em 10 capítulos: Cap 1: No País do Quantum / Cap 2: O Banco Heisenberg / Cap 3: O Instituto de Mecânica / Cap 4: A Escola de Copenhague / Cap 5: A Academia Fermi-Bose / Cap 6: Realidade Virtual / Cap 7: Átomos no Vácuo / Cap 8: O Castelo Rutherford / Cap 9: O Baile de Mascarados das partículas / Cap 10: A Pheira Phantástica da Física Experimental.

O livro “ O Mágico dos Quarks: A Física de Partículas ao Alcance de Todos” também pode ser considerado uma releitura, mas agora do clássico “O Mágico de Oz” do autor L. Frank Baum. Aqui *Dorothy* tem a oportunidade de se relacionar com vários tipos de personagens, aprendendo, de forma mais específica, sobre o mundo da Física de Partículas, tais como os próprios quarks ou então sobre o Centro Europeu Para Pesquisas Nucleares (CERN), as interações das forças fraca, forte, eletromagnética e gravitacional e o próprio bóson de Higgs dentre outras coisas.

O livro tem 13 capítulos: Cap 1: A Bruxa da Massa / Cap 2: O Espantalho Observador / Cap 3: O Sabichão de Lata / Cap 4: O Leão Confiante / Cap 5: O Jardim Atômico / Cap 6: A Semente no Coração do Mundo / Cap 7 : o Reino do CERN / Cap 8: O Campo da Trama de Luz / Cap 9: O Mágico dos Quarks / Cap10: A Praça dos imortais / Cap 11: Uma Velha Fraca / Cap 12: O Higgs de Masskervilles / Cap 13: Através do Grande Deserto Experimental.

Capítulo 4

MATERIAIS E MÉTODOS

No presente capítulo serão abordados os procedimentos de elaboração do livro paradidático *Aventuras em quantópolis* e a sua aplicação em turmas do terceiro ano do ensino médio de uma escola pública em Fortaleza – Ceará.

4.1. PRODUÇÃO DO LIVRO E SEUS PERSONAGENS

Segundo Menezes (2001), podemos entender o livro paradidático como aquele que, sem necessariamente ser didático, é utilizado como ferramenta de exposição de conteúdos na escola. O paradidático ganha destaque por ter componentes mais lúdicos que o didático propriamente dito, podendo apresentar uma melhor eficiência pedagógica. Tem esse nome pelo motivo de serem utilizados de forma paralela ao demais, sem necessariamente, substituí-los.

Durante a elaboração do livro existiu a preocupação de se manter uma linguagem mais simples e acessível durante o diálogo dos personagens, de modo que os discentes pudessem compreender os conceitos físicos que envolvem o assunto de Física de Partículas. Não foi dada ênfase aos cálculos matemáticos devido a sua complexidade e por acreditar que, a priori, estes não são necessários para a compreensão dos conteúdos a serem abordados.

No intuito de tornar a leitura mais lúdica e atrativa, junto ao autor dos desenhos, que cada personagem, apesar de não representar a realidade, ajudasse na compreensão da ideia principal que estava sendo apresentada. O livro foi dividido em nove capítulos, iniciando com uma breve introdução que justifica o porquê da obra e orienta para uma melhor condução da leitura.

O capítulo 1 é a *Descoberta de um novo mundo*. Ele acontece na escola e em uma aula de Física. O professor foi chamado de *Bohr* e é ele que “planta” a semente da ideia do mundo subatômico no personagem principal chamado de *Levi*. Aqui *Levi* começa a conhecer o mundo das subpartículas juntamente com outro personagem, a professora *Lu* (Figura 15).

Figura 15 - Levi (personagem principal) e Professora Lu



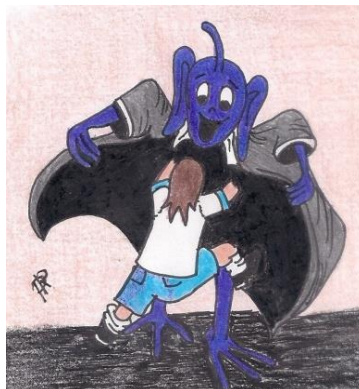
Fonte: [Própria \(2016\)](#)

O capítulo 2 foi chamado de *Por dentro do átomo*, nele *Levi* começa sua viagem dentro do núcleo atômico, e quem o recebe é o *Nêutron*. A partir disso, ele conhece a estrutura interna dos nucleons que são os *quarks*, e através de diálogos são apresentados os conceitos de sabores, Hádrons, Bárions, mésons e antipartícula. Podemos ver o encontro de Levi com essas estruturas na Figura 16.

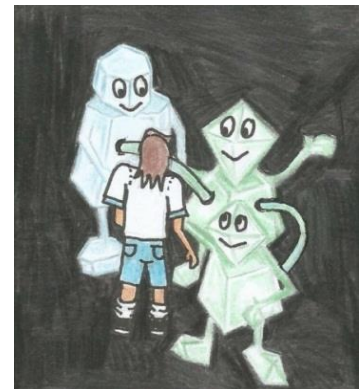
Figura 16 - Encontro de Levi com Nêutron (a), com Próton (b) e com Quarks (c).



(a)



(b)

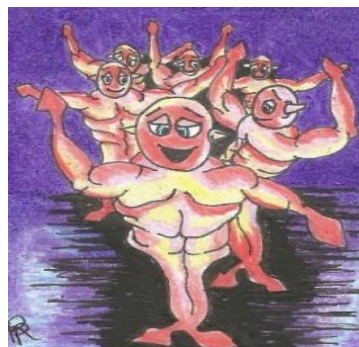


(c)

Fonte: [Própria \(2016\)](#)

Ainda neste capítulo é abordada uma das quatro forças fundamentais: a força forte. Entra em cena então o Glúon (Figura 17), o responsável por esta interação.

Figura 17 - Representação dos Glúons



Fonte: [Própria \(2016\)](#)

O título do capítulo 3 é *O Sr. Elétron e seu amigo Fóton*. Nele Levi conhece um pouco do elétron e o princípio da incerteza de Heisenberg. Outro personagem que aparece neste momento é o fóton, e sua interação com o elétron fazendo-o mudar seus níveis de energia. Já no capítulo 4, *Pauli: O Exclusivo*, é tratado o princípio da exclusão de Pauli, que não permite que dois elétrons ocupem o mesmo estado quântico, num mesmo nível de energia (Figura 18).

Figura 18 - Representação de dois elétrons no mesmo nível de energia



Fonte: Própria (2016)

O capítulo 5 chama-se *Mais Fótons* e é aqui que Levi conhece a segunda força fundamental: a força eletromagnética e sua partícula mediadora que é o fóton (Figura 19); explana também a definição de Bóson e Férmion, e define os integrantes da família dos Léptons.

Figura 19 - Representação do fóton, partícula mediadora da força eletromagnética



Fonte: Própria (2016)

Falar dos Léptons é falar dos neutrinos, no capítulo 6 - *Onde os Fracos têm Vez* - a professora Lu leva seu aluno para observar o decaimento do Nêutron, e conseqüentemente conhecer o W^- que é uma das partículas mediadoras da terceira força fundamental: Força Fraca. É comentado, também, sobre as partículas W^+ , Z^0 e o antineutrino do elétron,

sutilmente é comentado sobre o efeito fotoelétrico. Podemos ver na (Figura 20) a representação da partícula W^- e o antineutrino do elétron.

Figura 20 - Partícula W^- (azul) e antineutrino do elétron (verde)



Fonte: Própria (2016)

O capítulo 7 apresenta um dos mais importantes laboratórios da atualidade o LHC, o título é *O Misterioso e Fantástico Mundo das Altas Energias*, nele Levi juntamente com Lu podem acompanhar o funcionamento dos equipamentos e como se comportam os feixes de partículas dentro deles. Os dois têm a oportunidade de observar o Booster (Figura 21a) e o Síncrotron de Prótons (Figura 21b) que são equipamentos que compõem o LHC.

Figura 21 - Visita de Levi e Lu ao Booster



(a)



(b)

Fonte: Própria (2016)

O penúltimo capítulo é *Peter Higgs e a Terra do Sempre*, este título faz uma suave analogia ao título da obra Peter Pan e a Terra do nunca. Nele a professora explica, mesmo que superficialmente, qual a função do bóson de Higgs.

Ainda temos o capítulo intitulado *Uma Interação Poderosamente Fraca*, nele comenta-se sobre a última das quatro forças fundamentais, a força gravitacional, assim como a provável partícula responsável por sua interação: O gráviton.

A trama encerra quando Levi, depois desse sonho que lhe possibilitou conhecer o mundo subatômico, chega no outro dia para assistir suas aulas. Ele percebe uma estranha movimentação em frente sua escola, tratava-se de uma greve dos professores, ficando uma crítica sobre a desvalorização da profissão assim como os cortes de gastos na área.

4.2. PROCEDIMENTOS DE APLICAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL

Nos turnos manhã e tarde da Escola de Ensino Médio e Integral José de Borba Vasconcelos, durante o ano de 2016, existiam quatro terceiros anos do ensino médio: 3ºA (30 discentes), 3ºB (33 discentes), 3ºC (32 discentes) e 3ºD (44 discentes). Em todas essas turmas, o tema de Física de Partículas e o Modelo padrão foi ministrado através de aulas tradicionais e com auxílio de vídeos relacionados ao assunto. Dentre esses vídeos trabalhados, vale ressaltar *O Discreto Charme das Partículas Elementares*, que foi uma produção da TV Cultura baseado em um livro de mesmo título da professora Dra. Maria Cristina Batoni Abdalla. O 3º A e 3º D ficaram limitados apenas às aulas tradicionais e os vídeos lúdicos.

Os terceiros anos que tiveram a oportunidade de trabalhar o livro “Aventuras em Quantópolis” foram os B e C. Além da leitura coletiva dos capítulos em sala de aula e em suas casas, fora realizado, exclusivamente no 3ºB, uma peça teatral, onde os personagens do livro seriam interpretados pelos próprios alunos, como mostra a Figura 22.

Figura 22 - Ensaio teatral do livro Aventuras em Quantópolis



Fonte: Própria (2016)

Após todo o conteúdo ser ministrado, foi aplicado em todas as turmas um questionário de 13 questões que abordam diretamente tópicos relevantes do assunto. No próximo capítulo faremos uma melhor análise dos resultados encontrados.

Capítulo 5

RESULTADOS E DISCUSSÕES

No presente capítulo vamos analisar os resultados quantitativos relacionados ao desempenho das turmas que tiveram aulas exclusivamente tradicionais (A e D) e as que, além disso, tiveram a oportunidade de ter acesso ao livro paradidático (B e C).

5.1. ANÁLISE DO QUESTIONÁRIO SOBRE FÍSICA DE PARTÍCULAS E O MODELO PADRÃO

Para tal análise trabalhamos com os acertos de cada pergunta do questionário aplicado após a explanação do assunto. Identificamos neste ponto também o objetivo de cada questão apresentada no questionário.

Questão 1: Verificar aprendizagem no tocante às interações fundamentais, os resultados podem ser observados no gráfico 1.

1. O LHC (“LargeHadronCollider”), maior acelerador de partículas do mundo, foi inaugurado em setembro de 2008, após 20 anos de intenso trabalho. Sua função é acelerar feixes de partículas, de tal forma que estes atinjam uma velocidade estimada em cerca de 99,99% da velocidade da luz. A colisão entre prótons será tão violenta que a expectativa é de se obterem condições próximas àquelas que existiram logo após o Big Bang.



“A primeira missão desse novo acelerador é estudar partículas indivisíveis (elementares) e as forças (interações) que agem sobre elas. Quanto às forças, há quatro delas no universo a:

- I) _____, responsável por manter o núcleo atômico coeso;
- II) _____, que age quando uma partícula se transforma em outra;
- III) _____, que atua quando cargas elétricas estão envolvidas;
- IV) _____, a primeira conhecida pelo ser humano.

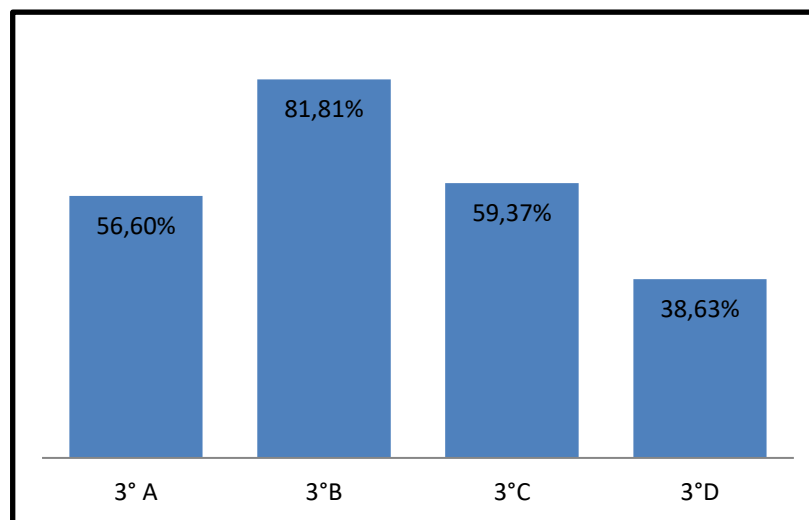
(Adaptado: BEDIAGA, I. LHC: o colosso criador e esmagador de matéria. “Ciência Hoje”. n. 247, v. 42. Abr. 2008. p. 40)

No texto, foram omitidas as expressões correspondentes às nomenclaturas das quatro forças fundamentais da natureza em acordo com a teoria mais aceita no meio científico hoje. Assinale a alternativa que apresenta, correta e respectivamente, os nomes dessas forças.

- a) força gravitacional, força nuclear fraca, força eletromagnética, força nuclear forte.
 - b) força nuclear forte, força eletromagnética, força nuclear fraca, força gravitacional.
 - c) força nuclear forte, força nuclear fraca, força eletromagnética, força gravitacional.
 - d) força gravitacional, força nuclear forte, força eletromagnética, força nuclear fraca.
- força nuclear fraca, força gravitacional, força nuclear forte, força eletromagnética.

Aqui observamos um número maior de acertos nas turmas B e C, ou seja, as que leram o livro. Podemos começar a acreditar na eficiência do produto educacional.

Gráfico 1 - Acertos da pergunta 1



Fonte: Própria (2016)

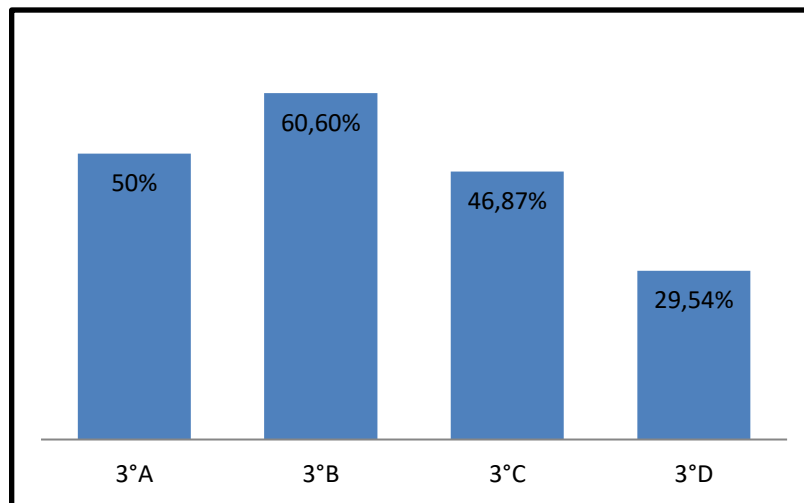
Questão 2: Verificar a aprendizagem sobre a estrutura interna de prótons e nêutrons, os resultados podem ser observados no gráfico 2.

2. Considere as seguintes informações do Modelo Padrão da Física de Partículas:
 - i. Prótons e nêutrons são constituídos por três quarks dos tipos up (u) e down (d);
 - ii. O quark u tem carga elétrica positiva igual a $2/3$ do módulo da carga do elétron;

iii. Um próton p é constituído por dois quarks u e um quark d , ou seja, $p = uud$.
 Determine o número de quarks u e o número de quarks d que constituem um nêutron n .

A turma 3ºB realizou os ensaios teatrais sobre o paradidático e teve destaque perante as outras no número de acertos. Assim, acreditamos que o método de aplicação do material pode ser diferencial no resultado da avaliação de aprendizagem.

Gráfico 2 - Acertos da pergunta 2



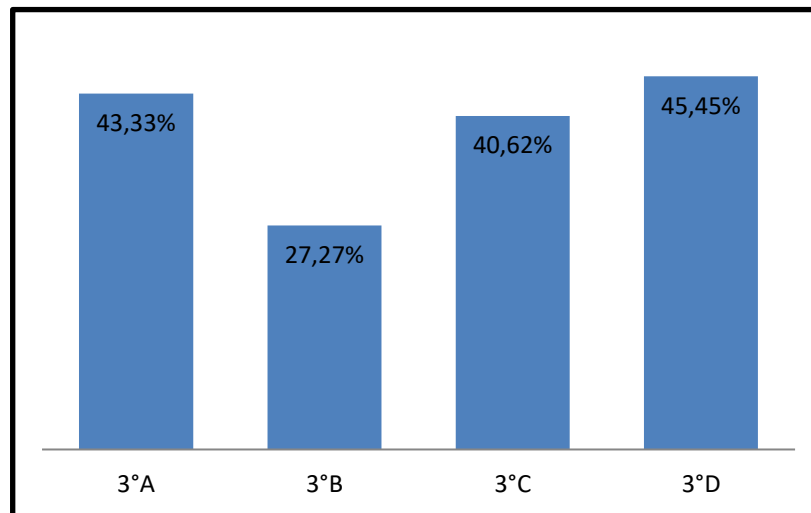
Fonte: Própria (2016)

Questão 3: Verificar aprendizagem sobre as forças que os hádrons experimentam, os resultados podem ser observados gráfico 3.

3. Das características seguintes, qual se refere aos hádrons?
- São partículas elementares, ou seja, **não** são constituídas por outras partículas.
 - Experimentam a força forte.
 - São partículas radioativas.
 - São partículas virtuais.

Esta pergunta exige uma atenção especial, pode-se constatar que justamente as turmas que não utilizaram o livro obtiveram um maior número de acertos. Apesar da importância do lúdico nas aulas de Física, a aula expositiva tem seu aspecto fundamental. Logo devemos refletir sobre a forma de utilização do material para este ponto. Não descartando também a possibilidade de modificação no material. E deve-se levar em conta que a questão se trata de múltipla escolha, logo existe o fator “sorte”.

Gráfico 3 - Acertos da pergunta 3



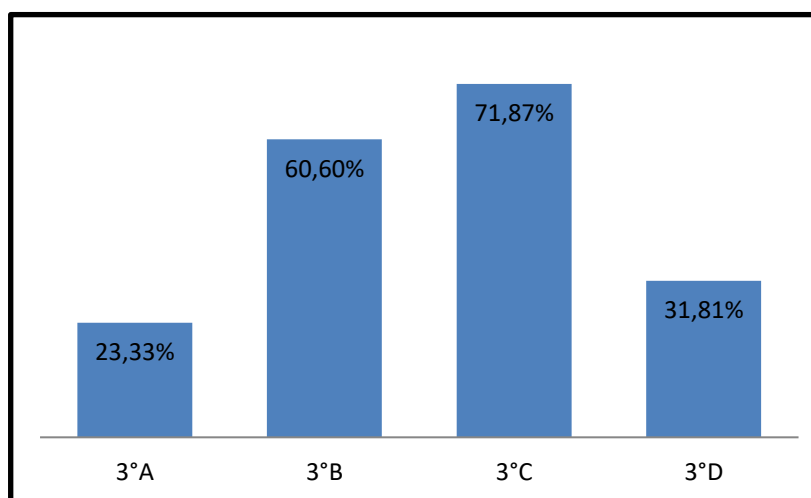
Fonte: Própria (2016)

Questão 4: Verificar aprendizagem sobre as famílias de quarks, os resultados podem ser observados gráfico 4.

4. Quais os seis sabores de quarks?

Apesar da simplicidade da questão, o livro logrou um êxito muito significativo nos acertos das respectivas turmas em que foi trabalhado, mostrando um índice satisfatório do aprendizado.

Gráfico 4 - Acertos da pergunta 4



Fonte: Própria (2016)

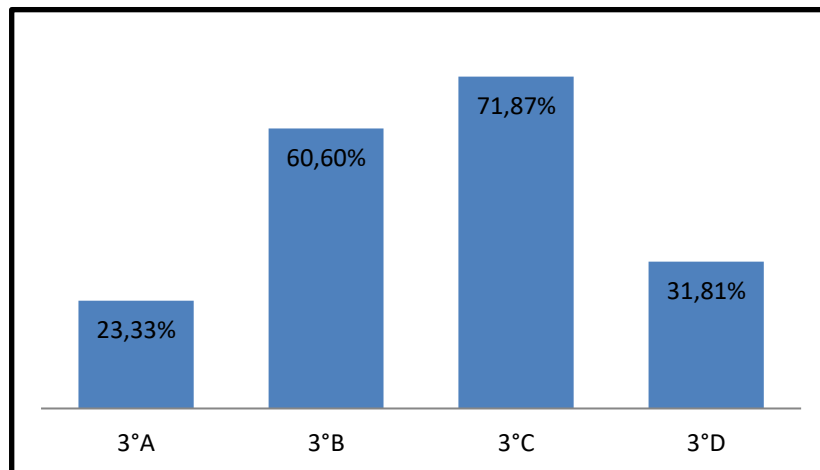
Questão 5: Verificar aprendizagem sobre formação de bárions, os resultados podem ser observados gráfico 5.

5. Qual a composição dos Bárions?

- a) Um quark ou um antiquark;
- b) Um próton e um nêutron;
- c) Três quarks ou três antiquarks;
- d) Apenas um quark;
- e) Apenas um antiquark.

Novamente observamos que os discentes que tiveram acesso ao livro paradidático obtiveram melhores resultados comparados aos que o conteúdo foi apresentado com metodologia expositiva tradicional.

Gráfico 5 - Acertos da pergunta 5



Fonte: Própria (2016)

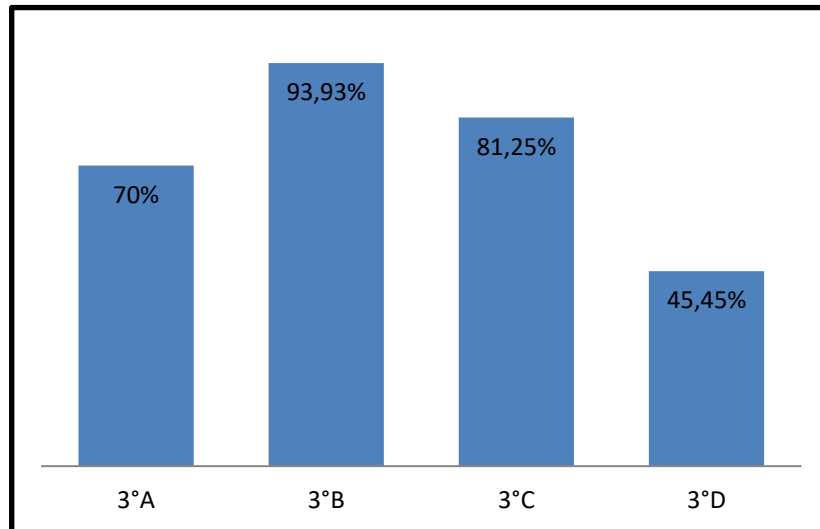
Questão 6: Verificar aprendizagem de outro tipo de hádron, agora queremos saber se eles reconhecem os mésons, os resultados podem ser observados gráfico 6.

6. Qual a composição dos Mésons?

- a) Três quarks;
- b) Três antiquarks;
- c) Um quark;
- d) Um antiquark;
- e) Um quark e um antiquark.

Continuamos a observar que as turmas B e C apresentam os melhores resultados frente aos questionamentos sobre a temática de partículas elementares.

Gráfico 6 - Acertos da pergunta 6



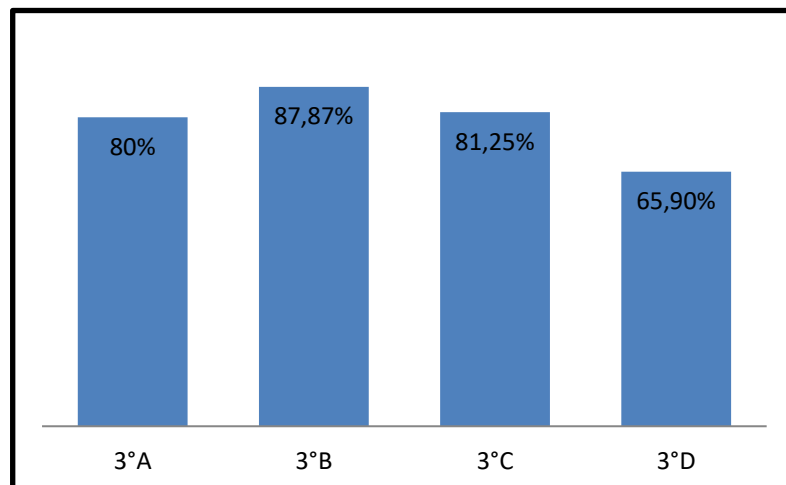
Fonte: Própria (2016)

Questão 7: Verificar aprendizagem sobre quais os tipos de forças fundamentais na natureza, os resultados podem ser observados gráfico 7.

7. Quais as 4 forças fundamentais da natureza?

Mesmo com elevado nível de acerto em todas as turmas, as turmas que tiveram acesso ao material tiveram ainda melhor rendimento.

Gráfico 7 - Acertos da pergunta 7



Fonte: Própria (2016)

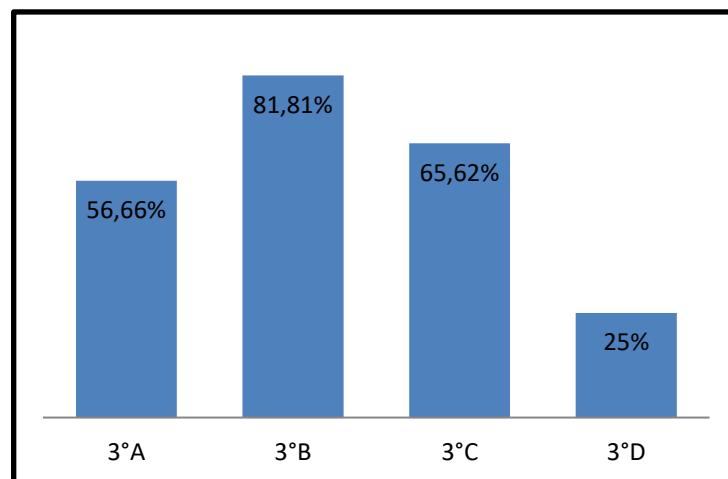
Questão 8: Verificar aprendizagem sobre partículas mediadoras, em especial na força forte, os resultados podem ser observados gráfico 8.

8. Assinale a alternativa que representa o bóson (partícula) mediadora da força forte.

- a) Fótons;
- b) W^+ ;
- c) Gráviton;
- d) Z^0 ;
- e) Glúons

Novamente as turmas que obtiveram um número maior de acertos foram as que tiveram contato com o livro paradidático.

Gráfico 8 - Acertos da pergunta 8



Fonte: Própria (2016)

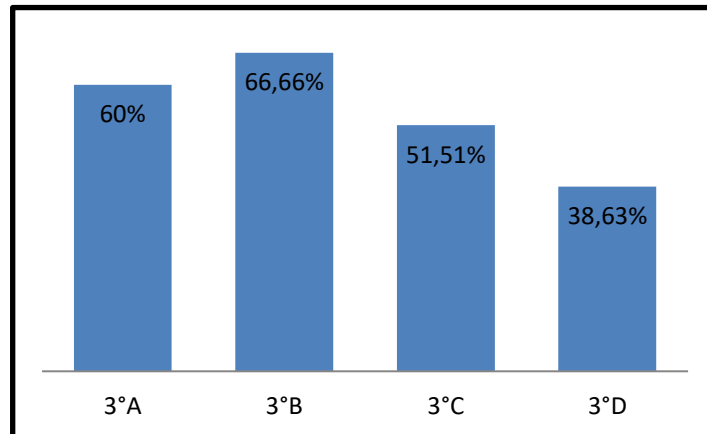
Questão 9: Verificar aprendizagem sobre partículas mediadoras, em especial na força fraca, os resultados podem ser observados gráfico 9.

9. Assinale a alternativa que representa(m) o(os) bóson(ons), partícula mediadora da força fraca.

- a) W^+ , W^- e Z^0 ;
- b) Glúons;
- c) Fótons;
- d) Gráviton;
- e) Elétron.

Podemos observar que a turma B vem apresentando o melhor rendimento na fase de avaliação de aprendizagem, se comparada com as outras turmas, inclusive com a turma C que assim como ela teve acesso ao produto educacional.

Gráfico 9 - Acertos da pergunta 9



Fonte: Própria (2016)

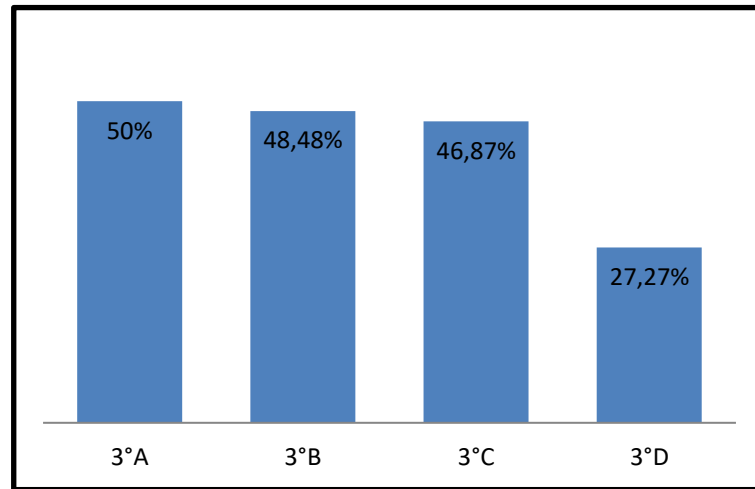
Questão 10: Verificar aprendizagem sobre partículas mediadoras, em especial na força eletromagnética, os resultados podem ser observados gráfico 10.

10. Assinale a alternativa que representa(m)o(os) bóson(ons), partícula mediadora da força eletromagnética.

- a) W^+ , W^- e Z^0 ;
- b) Glúons;
- c) Fótons;
- d) Gráviton;
- e) Elétron.

A turma A, que não teve acesso ao livro paradidático, teve um melhor rendimento médio. É importante perceber que a metodologia tradicional não deve ser descartada e sim aliada às novas metodologias uma vez que ela também tem seus aspectos positivos.

Gráfico 10 - Acertos da pergunta 10

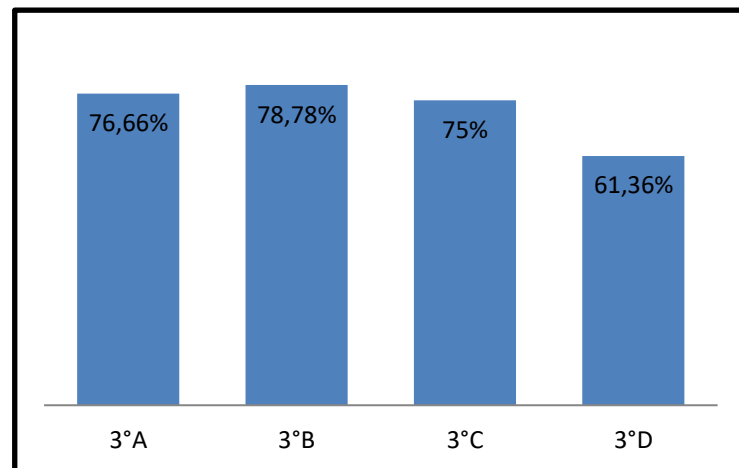


Fonte: Própria (2016)

Questão 11: Verificar aprendizagem sobre quarks e suas possibilidades de cores, os resultados podem ser observados gráfico 11.

11. Quais as cores que podem constituir os quarks?

Gráfico 11 - Acertos da pergunta 11



Fonte: Própria (2016)

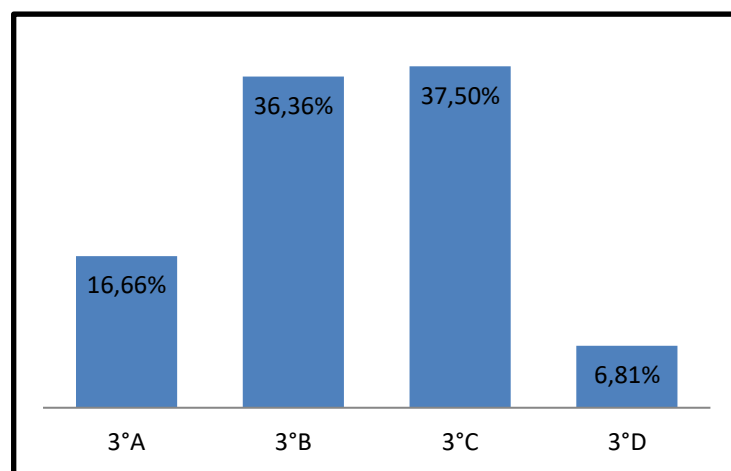
Nesta questão o discente precisaria saber das possibilidades das cores que um quark pode ter, mas com a ressalva de que essa propriedade não tem nada a ver com a da cor que usamos no sentido convencional, como por exemplo, na óptica geométrica. Um bom nível de acerto nas turmas com o menor percentual alcançado em turma que não teve acesso ao produto educacional.

Questão 12: Verificar aprendizagem sobre o princípio da incerteza de Heisenberg, os resultados podem ser observados gráfico 12.

12. Descreva o que estabelece o princípio da incerteza.

A questão era discursiva e muitos discentes deixaram em branco. Dentre os que responderam o maior percentual continuou sendo dos que tiveram aulas com uso do livro paradidático.

Gráfico 12 - Acertos da pergunta 12

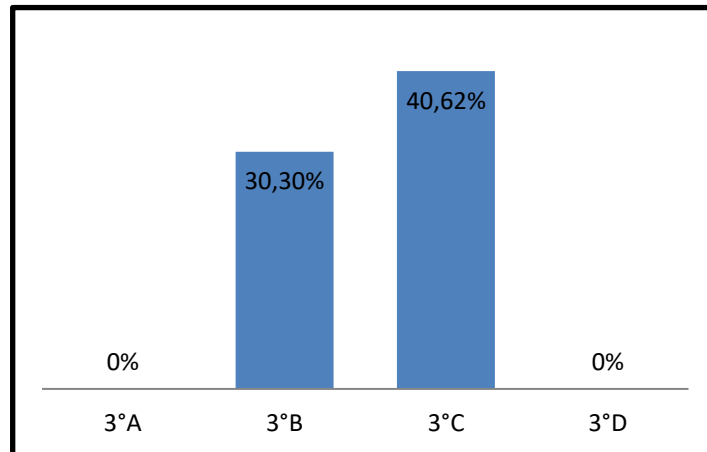


Fonte: Própria (2016)

Questão 13: Verificar aprendizagem sobre o princípio da exclusão de Pauli, os resultados podem ser observados gráfico 13.

13. O que diz o princípio da exclusão de Pauli?

Gráfico 13 - Acertos da pergunta 13



Fonte: Própria (2016)

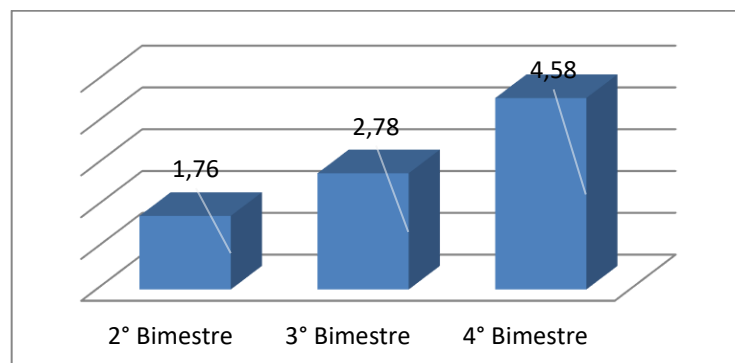
Apenas os discentes que tiveram acesso ao livro paradidático obtiveram acerto na questão, a mesma era discursiva. Reiteramos que o conteúdo foi ministrado em todas as turmas e que possivelmente o modo como ele foi abordado em sala de aula.

5.2. ANÁLISE DAS MÉDIAS DAS AVALIAÇÕES BIMESTRAIS

Aqui vamos observar o que ocorreu com a média dos últimos três bimestres das avaliações bimestrais. Ressaltando que a nota do 4º bimestre contempla o conteúdo de Física de Partículas, enquanto os bimestres anteriores foi abordado a Física clássica.

A evolução das médias dos discentes do 3ºA pode ser vista no Gráfico 14. Apesar de não ter sido trabalhado o livro nesta turma, os números aparentam um maior interesse da turma com a inserção do conteúdo de Física de Partículas.

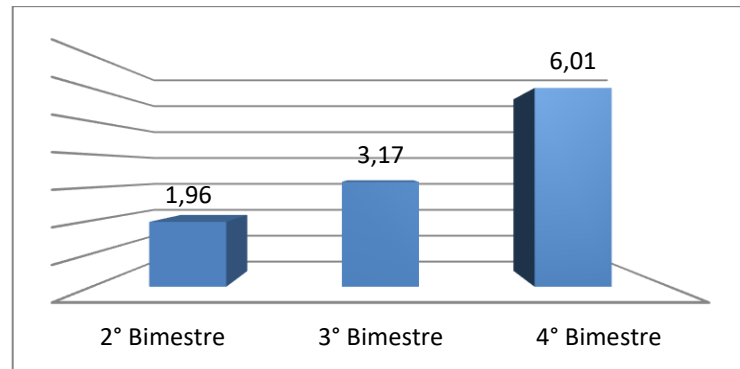
Gráfico 14 - Médias bimestrais do 3ºA



Fonte: Própria

Já para o 3ºB a evolução pode ser vista no Gráfico 14.

Gráfico 15 - Médias bimestrais do 3ºB



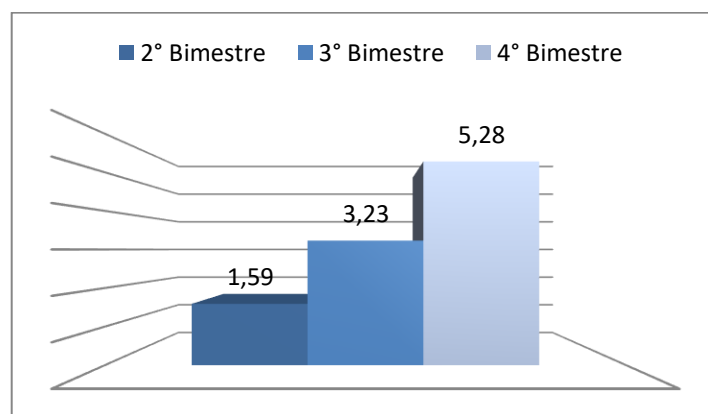
Fonte: Própria

Aqui temos uma melhora satisfatória do valor da média no 4º bimestre em comparação aos dois últimos. Como essa turma teve um diferencial que foi a peça teatral sobre o livro, percebe-se que é importante inovar os métodos de ensinar.

Aqui temos uma melhora satisfatória do valor da média no 4º bimestre em comparação aos dois últimos. Como essa turma teve um diferencial que foi a peça teatral sobre o livro, percebe-se que é importante inovar os métodos de ensinar.

O desempenho das médias das avaliações bimestrais da turma do 3º C encontra-se no gráfico 16.

Gráfico 16 - Médias bimestrais do 3ºC

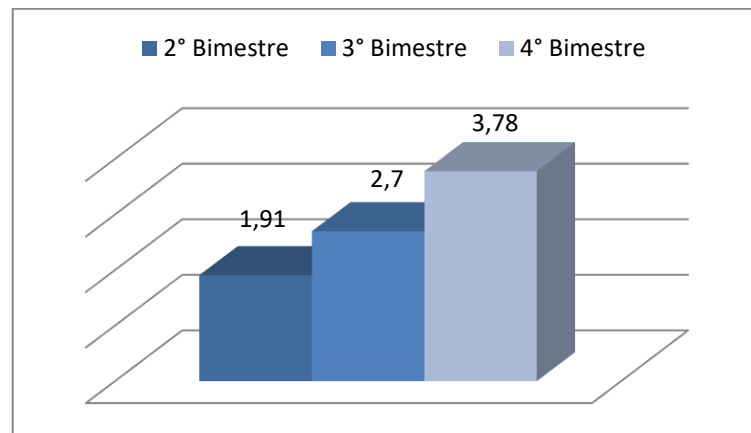


Fonte: Própria

Por se tratar de uma turma que exige maior atenção pelas dificuldades diárias, o livro mostrou-se eficiente para potencializar o aprendizado melhorando o valor da média no bimestre em que ele foi trabalhado.

A turma 3^oD apresentou o desempenho mostrado no gráfico 17.

Gráfico 17 - Médias bimestrais do 3^oD



Fonte: Própria

Semelhante ao 3^oA houve uma melhora razoável na nota, mas mesmo assim a média da turma ainda está aquém da média escolar, que é seis.

Considerações Finais

Apresentamos um trabalho que, antes de tudo, tenta inovar a metodologia de aplicação de conteúdos de Física em turmas do ensino médio, trazendo estes conceitos de uma maneira mais simples ao deixar um pouco de lado as equações matemáticas, que, apesar de fundamental importância, podem por enquanto ficar em segundo plano.

Para tal pensamos e idealizamos um livro com caráter paradidático que pudesse tornar o ensino da Física de partículas mais lúdico ao fazer uso de diálogos entre os personagens envolvidos. As turmas escolhidas para aplicação foram as dos terceiros anos do ensino médio

Percebemos ao analisar os resultados que o *Aventuras em Quantópolis* funcionou como uma ferramenta pedagógica que ajudou bastante na melhoria do processo ensino aprendizagem, podendo servir como opção para o professor que sente a necessidade da inserção de um assunto tão interessante e atual da Física. Os discentes envolvidos sentiram-se mais motivados e foi despertado nestes o interesse em conhecer mais sobre um mundo que não é visível aos nossos olhos e as interações existentes nele

Não se pretende reformular o ensino de Física, nem tampouco abandonar a Física clássica que tem importância fundamental na formação dos estudantes do ensino médio. Propõe-se somente

possibilitar uma melhor compreensão do mundo que vivemos e a ciência envolvida por trás de tudo isso, inclusive em nosso papel na sociedade. Nesta direção, a produção de material lúdico pode ser uma alternativa a ser considerada para um avanço no processo de ensino-aprendizagem.

Referências

ABDALLA, Maria Cristina Batoni – O discreto Charme das Partículas Elementares / Ilustrações de Sergio Kon. – 2 ed. – São Paulo: Editora Livraria da Física, 2016.

ALMEIDA, M.J.P.M.; QUEIROZ, E.C.L. Divulgação científica e conhecimento escolar: um ensaio com alunos adultos. Caderno CEDES: ensino de ciência, leitura e literatura. Ano XVIII, n. 41, p.62-68, jul. 1997.

ASSIS, A.; TEIXEIRA, O. P. B. Análise de um episódio de ensino envolvendo o uso de um texto paradidático em aulas de Física em uma sala de educação de jovens e adultos. In: ENCoNTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 5., 2005, Bauru. Atas... Disponível em: <http://www.nutes.ufrj.br/abrapec/venpec/conteudo/artigos/3/pdf/p45.pdf>

BALTHAZAR, W.F.; OLIVEIRA, A. L. de – Partículas elementares no ensino médio: uma abordagem a partir do LHC / São Paulo: Editora Livraria da Física: Rio de Janeiro: CBPF – Centro brasileiro de Pesquisas Físicas, 2010 – (Coleção tópicos de física).

BASSALO, José Maria Filardo – César Lattes: um dos descobridores do então méson pi. Departamento de Física – UFPA, Belém PA. Cad. Cat. Ens. Fís. , Florianópolis, 7(2): 133-148: ago. 1990

Beneti, Alysson Cristiano. TEXTOS PARADIDÁTICOS E O ENSINO DE FÍSICA: UMA ANÁLISE DAS AÇÕES DO PROFESSOR NO ÂMBITO DA SALA DE AULA, 2008. Disponível em: https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/90924/beneti_ac_me_bauru.pdf?sequence=1&fileDownload=y Acesso em dezembro de 2017.

BRASIL. Diretrizes Curriculares Nacionais para o Ensino Médio, resolução CEB no. 3 e no. 15 de 26 de junho de 1998.

BRASIL. Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional. Lei no.9.394, de 20 de dezembro de 1996.

BRASIL. Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio. Ministério da educação. Secretária da Educação Média e Tecnológica. Brasília: MEC, 1999.

BRASIL. Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN+). Ciências da Natureza e Matemática e suas tecnologias. Brasília: MEC, 2006.

CARUSO, Francisco – o milho e a pérola a descoberta do anti-elétron, a confirmação da teoria quântica do elétron e a moral da fábula. Centro brasileiro de pesquisas físicas – CBPF. Rio de Janeiro 1997

CARUSO, F.; OGURI, V.; SANTORO, A. – O que são quarks, glúons, bósons de Higgs, buracos negros e outras coisas estranhas? – São Paulo: Editora Livraria da Física, 2012.

DESCARTES, R. Princípios da Filosofia. São Paulo: Hemus, 1968.

DE SOUZA, Aguinaldo Robinson; NEVES, Laura Aparecida dos Santos. O livro paradidático no ensino de Física: uma análise fabular, científica e metafórica da obra Alice no País do Quantum: A Física Quântica ao alcance de todos. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 33, n. 3, p. 1145-1160, dez. 2016. ISSN 2175-7941. Disponível em: <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2016v33n3p1145>>. Acesso em: 13 dez. 2017. doi:<http://dx.doi.org/10.5007/2175-7941.2016v33n3p1145>.

DOBRIGKEIT, Carolla – Os cinquenta anos da descoberta do pion. Departamento de raios cósmicos e cronologia, instituto de Física “Gleb Wataghin” – 1997.

FARIAS, R. F. de. Para gostar de ler a história da Química III. Vol. 3. 2. ed. Campinas: Átomo, 2008.

FIOLHAIS, M.; RUIVO, M. da C. – O modelo atômico saturniano de Nagaoka – 1996 gazeta de física vol 19 fasc1.

FNDE, Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação. Disponível em: <http://www.fnde.gov.br/programas/programas-do-livro/livro-didatico/historico> Acesso em dezembro de 2017.

FRANCISCO, L. V. Tales de Mileto: Tudo Começa na Água; *Brasil Escola*. Disponível em <<http://brasilecola.uol.com.br/filosofia/tales-mileto.htm>>. Acesso em 19 de novembro de 2017.

GALILEU, Revista. Disponível em <http://revistagalileu.globo.com/Ciencia/noticia/2017/07/cientistas-do-cern-descobrem-nova-particula-de-materia.html> Acesso em 19 de novembro de 2017.

GILMORE, R. – O Mágico dos Quarks: a física de partículas ao alcance de todos / tradução Maria Luiza X. de A. Borges – Rio de Janeiro: Zahar. 2002.

LOPES, C.V.M. ; MARTINS, R. de A. – J.J. Thomson e o Uso de Analogias Para Explicar os Modelos Atômicos: “O Pudim de Passas” nos Livros Texto. VII Enpec, Florianópolis 2009.

MAIA, M. C. Uma abordagem do modelo padrão da Física de partículas acessível a alunos do ensino médio. 2011. 70 f. Dissertação (Mestrado Profissional no Ensino de Ciências e Matemática) – Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2011. Disponível em: http://www.repositorio.ufc.br:8080/ri/bitstream/123456789/1452/1/2011_dis_mcmaia.PDF. Acesso em dezembro de 2017.

MARTIN, G.F.S; BATISTA, I.L. O ensino de Física de Partículas Elementares nas Licenciaturas em Física. IX EPEF, 2005

MARTINS, J. B. A história do átomo: de Demócrito aos quarks. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2001.

MENEZES, Ebenezer Takuno de; SANTOS, Thais Helena dos. Verbetes paradigmáticos. *Dicionário Interativo da Educação Brasileira - Educabrazil*. São Paulo: Midiamix, 2001. Disponível em: <<http://www.educabrazil.com.br/paradidaticos/>>. Acesso em: 13 de dez. 2017.

Ministério da Educação. Matriz de referência para o Enem 2009. Brasília, 2009. Disponível em: http://portal.mec.gov.br/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=841&Itemid

MOREIRA, M.A. – A Física dos quarks e a epistemologia. Revista brasileira de ensino de física 29(2): 161-173, 2007

MOREIRA, I. de C. Conferência Nobel de Thomson sobre a Descoberta do Elétron Tradução e notas - Revista Brasileira de Ensino de Física, vol. 19, no.3, setembro, 1997

MOREIRA, Marco Antonio – Física de Partículas: uma abordagem conceitual & epistemológica / São Paulo: Editora Livraria da Física, 2011.

OSTERMANN, F.; CAVALCANTE, C.J.H. – Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio: elaboração de material didático, em forma de pôster, sobre partículas elementares e interações fundamentais. Caderno Catarinense de Ensino de Física, vol.16, n. 3, p. 267-286, 1999.

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

Parâmetros curriculares nacionais: ensino médio: bases legais. Brasília, 2000. Disponível em: <<http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/blegais.pdf>

PARENTE, F.A.G.; SANTOS, A.C.F. dos; TORT, A.C. O Átomo de Bohr no Ensino Médio - Revista Brasileira de Ensino de Física, v.36, n.1, 1502, 2014.

PCN + ensino médio: orientações educacionais complementares aos parâmetros curriculares nacionais. Ciências da natureza, matemática e suas tecnologias. Brasília, [2002]. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/CienciasNatureza.pdf> Acesso em dezembro de 2017.

PIMENTA J.J. M.; BELUSSI L.F.B.; NATTI E.R.T.; NATTI P.L. – O bóson de Higgs, Revista Brasileira de Ensino de Física, V.35, n.2, 2306. 2013

PINTO, A.C.; ZANETIC, J. – É possível levar a Física Quântica para o ensino médio? Caderno Catarinense de Ensino de Física, Florianópolis, vol.16, n.1, p.7-34, abr. 1999.

SANTOS, C. A. A descoberta do Efeito Fotoelétrico <<http://www.if.ufrgs.br/einstein/efeitofotoeletricodescoberta.html>>; março, 2002. Acesso em 19 de novembro de 2017

SANTOS, J.M.B Lopes - A Descoberta do Neutrino. Departamento de Física, Faculdade de Ciências, Universidade do Porto, R. Campo Alegre, 687, 4169-007 Porto. 2003

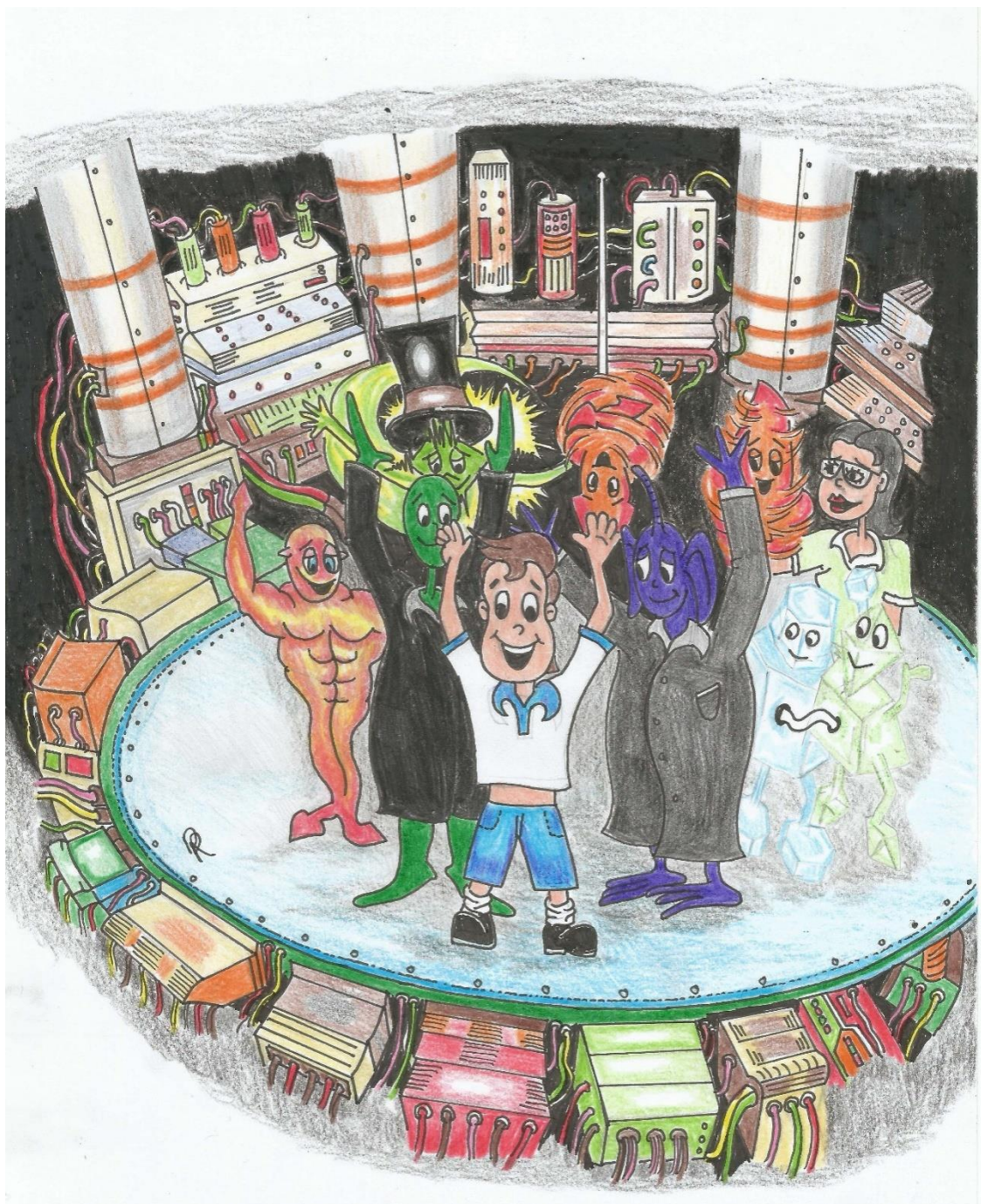
SANTOS, C.A. dos. O fóton e sua atribulada existência de 1905 a 1925. In: SANTOS, C.A. dos (Org.) Sobre a luz e algumas de suas tecnologias. Editora da UEPG, 2017 (no prelo).

SILVA, L. C. M. da; SANTOS, W. M. S.; DIAS, P. M. C.– Acarga específica do elétron. Um enfoque histórico e experimental. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 33, n. 1, 1601, 2011

THOMSON, J. J., 1897, “Cathode Rays”, Philosophical Magazine, Vol. 44, serie 5, 293

Zen, Claudio Roberto Lopes; Pereira, Ricardo Francisco. A Física do Cotidiano: Textos Paradidáticos de Calorimetria e Termometria. Os desafios da Escola Pública Paranaense Na perspectiva do Professor – Artigos. 2013.

APÊNDICE A: AVENTURAS EM QUANTÓPOLIS



FRANCISCO LEVI PEREIRA BRAGA

2017

INTRODUÇÃO

Este trabalho objetiva incentivar a divulgação de um conteúdo de Física que ainda é muito discreto na educação básica: a Física de Partículas e suas interações. Procurei concebê-lo com uma linguagem mais simples possível por ter ciência que nosso público-alvo muitas vezes carece de conhecimentos prévios sobre a temática, mas não o culpo por isso.

Algumas coisas devem ser orientadas antes do começo da leitura:

- As figuras que representam as partículas, sejam fundamentais ou não, são meramente ilustrativas uma vez que não se tem um formato padrão para suas representações, apenas equações que as descrevem.
- Evitou-se a utilização de cálculos matemáticos na história, pois estes são extremamente complicados até para quem é da área e fugiriam do intuito deste trabalho. Contudo, colocamos referências para o caso do leitor querer conhecer um pouco mais sobre a temática.

No mais, desejo a todos que admiram o mundo que nos cerca e têm curiosidade em saber das teorias que envolvem o surgimento do universo, assim como aqueles que suspeitem que as tecnologias atuais tenham a Física Moderna como pano de fundo, uma ótima leitura. Que aqui encontre inspiração para aprofundar-se cada vez mais, desmistificando a disciplina de Física que muitas vezes é resumida em equações matemáticas e conceitos que surgiram antes do século XIX.

Física se faz todo dia.

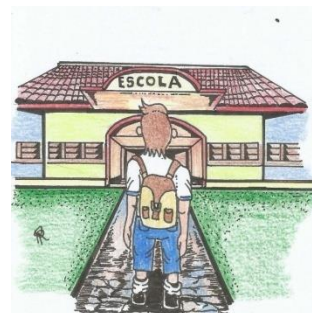
Atenciosamente, o autor.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1

A DESCOBERTA DE UM MUNDO NOVO

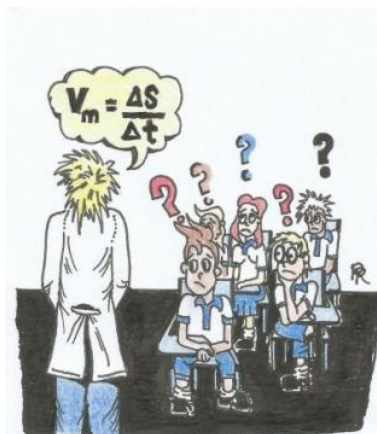
Levi era um estudante comum, com dificuldades, defasagens, e não conseguia sentir interesse por algumas disciplinas na escola. Mas, mesmo assim, sempre frequentava as aulas com assiduidade.



Em mais uma aula de Física, o professor Bohr repassa o conteúdo para seus alunos que não parecem tão empolgados, então ele lança a indagação:

- Bem, alunos, quem lembra a equação para determinação da velocidade média?

Levi não se identificava muito com a disciplina de Física, sempre achava que era que se resumia apenas a equações e não via significado naquilo tudo. Apesar disso, percebia que o professor continuava a ministrar sua aula com muito entusiasmo.



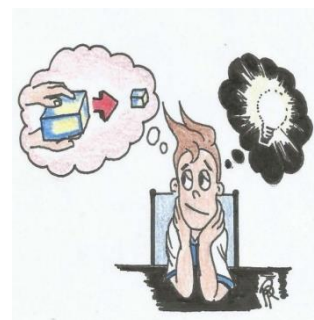
- Pois, alunos, com essa equação, vocês podem determinar a posição de um objeto em um determinado instante, sabendo a sua velocidade! –Falou o professor Bohr com um sorriso no rosto que contrastava com o comportamento da turma.

Nesse mesmo instante, Levi cortava um pedacinho de papel e começava a imaginar até que ponto poderia diminuir suas dimensões, até que resolveu perguntar diretamente ao professor:

- Professor?! Professor?!

- Pois não, Levi! Pode falar.

- Até que ponto podemos diminuir o tamanho de um objeto?



O professor Bohr espantado com a pergunta, pois não se tratava do assunto da aula, mesmo assim respondeu:

-Bem... a matéria é composta por moléculas, que por sua vez são agrupadas por átomos que são constituídos pelo núcleo (prótons e elétrons) e ao seu redor os elétrons que ficam "passeando".

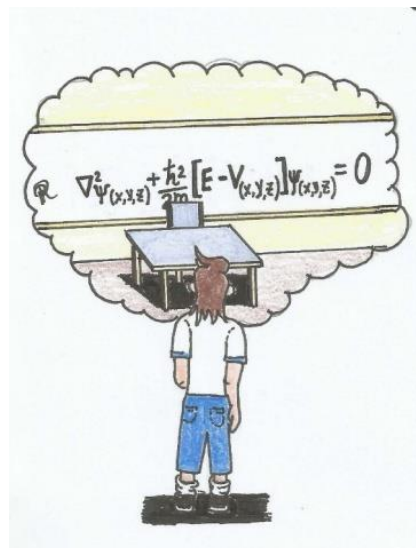
Encantado em saber que existe esse mundo microscópico, cheio de partículas, Levi afirma ao professor:

- Então, professor Bohr, com essa equação da velocidade média, também posso calcular a posição do elétron em um instante se eu souber sua velocidade, não é?

- Não! Não é tão simples assim descrever o movimento dos elétrons, quando temos uma partícula elementar como é o caso de um elétron. -Respondeu o professor percebendo pela primeira vez um brilho diferenciado no olhar de seu aluno, mas ao mesmo tempo sabia que o faria entrar em um período de elucubração.

Nesse instante, escuta-se o sino anunciando o término da aula, e Levi é tomado por um sentimento de frustração, pois não poderia mais discutir o assunto com seu professor, a partir daí, não consegue deixar de pensar nesse mundo recém descoberto de partículas muito pequenas.

À noite, ainda inquieto e maravilhado, tentava imaginar como funcionava o mundo das partículas elementares, até que levado pelo cansaço adormece. De repente ele se vê em um local estranho, diferente de tudo que conhecia, onde tinha apenas uma mesa e uma lousa com algumas equações matemáticas, que a princípio neste novo mundo eram muito complexas para Levi.



- Nossa! Que lugar é esse? Será que morri? O que essas equações escritas na lousa significam?

Ao olhar para frente ele percebe a figura de uma moça bonita e simpática que se aproximava até ela lhe dá boas vindas:

- Olá Levi! Bem-vindo a Quantópolis!

- Olá! Quem é você? Como sabe meu nome? Quantópolis? – Disse Levi sentindo-se atordoado com tanta coisa nova.



- Calma, uma pergunta de cada vez! Sou a professora Lu, a responsável em apresentar a Física de partículas a pessoas que despertam a curiosidade pelo assunto, e você foi o escolhido para fazer comigo essa fantástica viagem pela nossa cidade de Quantópolis! Para começar, precisamos ficar nas mesmas dimensões dessas partículas, e isso começa neste exato momento!

Levi começou a perceber que as coisas pareciam estar cada vez maiores e começou a observar objetos que não paravam de se mover a velocidades altíssimas, o que dificultava uma melhor distinção do que estava o rodeando.

A professora portava um pequeno aparelho que mostrava na tela várias informações, até que ela olha para Levi e comunica em um tom de preocupação:

- Sinto muito Levi, eu preciso ausentar-me por algum tempo, tenho que resolver um problema entre dois elétrons que estão armando uma grande confusão! Ambos estão querendo ocupar o mesmo estado quântico apesar de Pauli ter deixado bem claro que isso não é possível.



- Mas professora Lu, não posso ficar aqui sozinho! O que seriam esses estados? Por que dois elétrons não podem ocupá-lo? Quem é esse Pauli? – Falou Levi sentindo-se atordoado com um ambiente que jamais tinha imaginado, e tanta informação que para ele eram desconhecidas.

- Não se preocupe, logo estarei de volta e explicarei melhor, tenho certeza que não faltará companhia para você aqui! Ah, e pergunte tudo que lhe vier à cabeça aos amigos que encontrar pelo passeio, viu!

CAPÍTULO 2

POR DENTRO DO ÁTOMO

Ainda sem entender muito de onde estava e o que estava fazendo ali, Levi observa Lu desaparecer em meio a um forte clarão. Logo em seguida Levi escuta uma voz grave próxima a ele:

- *Olá, Levi! Seja bem-vindo!*

- *Olá! Quem é você?*

Era uma figura arrojada e simpática, tinha uma expressão tranquila como se nada o preocupasse, e o mais intrigante era que vestia um paletó largo, como se escondesse algo por de baixo.

- *Eu sou um nêutron, meu nome é Neto e gostaria de convidá-lo para um passeio nas salas de núcleos.*



Levi ainda um pouco assustado com a chegada de surpresa dessa figura admirava-se com sua tranquilidade, era como se ele não tivesse nenhuma interação com nada que estava ali, aceita o convite afinal era uma das partículas mencionadas pelo seu professor como sendo componentes do núcleo atômico. Os dois começam a caminhar juntos até que chegam a um local onde existiam muitas portas de entrada, e em cada porta tinha o nome de determinado elemento químico.

- *Agora é com você, essas são as portas de núcleos, nelas estão disponíveis os núcleos dos mais variados elementos químicos, é só escolher uma e entrar!* – Falou o nêutron com uma voz bonançosa.

- *Você não vai acompanhar-me? Não posso entrar ali sozinho, não sei o que vou encontrar.*

- Claro que pode! Não se preocupe, lá, você certamente terá companhia, inclusive meus irmãos podem ajudar-lhe, daqui vou ver se consigo fazer algo interessante, pois nada me atrai.

SAIBA UM POUCO MAIS...

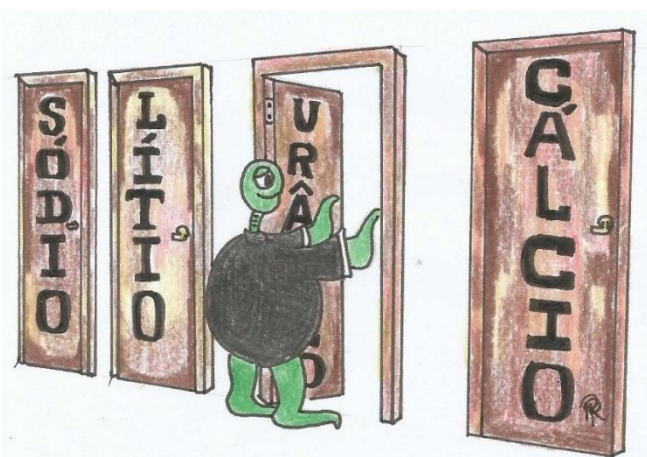
Ao mencionar que “nada o atrai” o nêutron identificou uma de suas características, ele é um elemento de carga nula. Desse modo, não existe interação de atração ou repulsão, com nenhuma outra partícula.

Então Levi observa e resolve escolher a porta que tinha escrito: Urânio.

- Bem, vou entrar naquela porta!

- Nossa! Logo ela? Você é corajoso, mas fique à vontade e boa sorte!

Levi, mesmo com certo receio pela reação de Neto à sua escolha, entra pela porta com a admirável coragem. Neto apenas observa ao longe e pensa no quanto à curiosidade de Levi o levará a um vasto mundo de conhecimentos.



Ao entrar ele percebe uma grande quantidade de partículas que não pareciam com Neto, a não ser pelo paletó largo que também utilizavam. Elas estavam amontoadas umas ao lado das outras, a primeira impressão que dava era que elas estavam brigando e discutindo sempre, queriam se afastar umas das outras sem lograr êxito.



Levi quase se sentia arrependido por ter escolhido logo aquela porta, mas ao observar com mais calma, percebe que além dessas partículas zangadas, outras iguais ao Neto também estavam presentes naquela confusão, e resolve se aproximar e tentar estabelecer um diálogo.

- *É... olá? Desculpa incomodar, mas quem são vocês?*

- *Olá! Você deve ser o mais novo visitante de Quantópolis, se eles deixarem eu posso tentar explicar-lhe a confusão aqui. Nós somos os prótons, e aquelas outras que com certeza você já deve conhecer são os nêutrons.*

SAIBA UM POUCO MAIS...

Prótons são partículas carregadas (positivamente por convenção) e por natureza quando dois ou mais prótons se aproximam eles tendem a se afastar (repulsão).

A presença dos nêutrons no núcleo atômico é justamente para permitir que os prótons permaneçam na estrutura do núcleo, deixando-o estável.

- *É um grande prazer conhecê-los! Já ouvi falar de prótons e nêutrons, mas nunca pensei um dia encontrá-los. Afinal, não é todo dia que temos a oportunidade de ver as partículas fundamentais da matéria!*

No mesmo instante em que ele terminou de falar, o próton deu uma gargalhada espalhafatosa, como se repreendesse o comentário feito por Levi.

- *Partículas fundamentais? Não, não, não! Nem eu, nem o nêutron somos as partículas fundamentais!* - Disse o próton usando um tom firme, como um professor corrigindo um aluno.

Levi sentia-se cada vez mais embaralhado, pois a cada momento era bombardeado por informações que contrariavam seu senso comum.

- *Mas se vocês não são partículas fundamentais, quem são? Quem consegue se agrupar para formar vocês?*

- *Boa pergunta! Vamos mostrar para você agora!*

Tanto prótons como nêutrons tiraram o extenso paletó, revelando dentro deles outros tipos de partículas com características bem interessantes, que também pareciam bem próximas. Nesse mesmo momento, Levi é automaticamente transportado para o meio das simpáticas partículas que constituíam o próton. Quando eles perceberam, ele estava olhando estupefato para aquela cena inédita.



- *Tudo bem? Falou uma das partículas que constituía o próton.*



- Sim, tudo bem! Posso saber os seus nomes?

Dentro do próton existiam três partículas, que não paravam de falar, e o que também chamava bastante atenção era que essas três partículas eram conectadas por uma espécie de cilindro. Até que uma delas que estava dentro do próton, toma a voz e apresenta-se.

- Bem, caro amigo, nós somos uma família de quarks, eu e meu irmão pertencemos ao tipo up enquanto esse que está aqui conectado a nós é do tipo down.

- Tipo up? Tipo down? Desculpe, não consegui entender.

- Ah, não se preocupe! Nossa família é razoavelmente grande, mas posso garantir que somos unidos, viu! Você sempre nos encontrará em grupos chamados **hádrons**. Dependendo da formação do hádron ele recebe uma denominação, afinal família é família, né?

- E qual seriam essas denominações?

- Se a partícula possuir três quarks ou três antiquarks ela é da família **BÁRION**, porém se ela tiver apenas um quark e um antiquark sua família é **MÉSON**.

- Antiquark? O que seria isso? Nunca ouvi falar. – Perguntou Levi.

- São as nossas antipartículas, ou seja, nossas irmãs quase gêmeas, elas têm o mesmo spin, que é um dos números quânticos que você verá mais na frente do passeio, mesma massa, porém sua carga é oposta, você sabe por que uma carga positiva atrai uma negativa?

- Bem, seria por que suas cargas são opostas?

- Exato! Perfeito! E nós também temos carga elétrica! Eu particularmente tenho carga de valor $+2/3$ da carga do elétron, enquanto o Down tem valor $-1/3$ –

SAIBA UM POUCO MAIS..

Neste ponto devemos definir quais são as reais partículas elementares, os QUARKS.

Quarks são partículas subatômicas que ao se combinarem formam os HÁDRONS.

Conhecemos seis tipos (sabores) de quarks: *bottom, charm, down, strange, tope up*. Dentre estes, os mais comuns e estáveis são os quarks up e down, formadores dos prótons e nêutrons.

Caracterizamos os quarks através das seguintes propriedades: massa, carga elétrica, spin e carga de cor. Para cada tipo de quark existe uma correspondente de antipartícula denominada antiquark.

Exclamou o Quark Up, feliz em perceber, que o jovem aparentemente estava absorvendo as informações.

- *Mas me diga, você falou que sua família não era pequena, porém só vejo vocês aqui! Onde está o restante?*

- *Realmente eles não estão aqui, acredito que você os verá no acelerador de partículas! Mesmo que bem rápido. A professora Lu deve levar você depois.*

O Próton interrompe o diálogo e pergunta diretamente a Levi:

- *Agora me responda, nós prótons e nêutrons, somos de qual classe?*

Levi raciocina por alguns instantes e responde com segurança:

- *Bárions, claro! Afinal vocês são constituídos por três quarks!*

- *Corretíssimo!* – Replicou o Próton.

- *Percebi uma coisa, onde estão os antiquarks que não estão aqui fazendo companhia a vocês?*

Os três quarks do próton olharam para si como se cada um lesse o pensamento do outro, e o Quark Up indaga:

- *Seria possível mostrá-lo?*

- *Precisaríamos de bastante energia* – retrucou o Down.

Então um forte clarão muito parecido com que Levi viu quando a professora Lu desapareceu, surgiu do nada, ofuscando sua vista. Um dos cilindros que ligavam o Quark Up com o Down começou a esticar indefinidamente, até que aparentemente ele se rompe, e ao invés de o Down seguir sua viagem solitariamente, no exato momento que ocorre essa ruptura, duas novas partículas surgem aparentemente do nada, uma era idêntica ao Down e continuou completando a tríplice do Próton, enquanto a que surgiu para fazer companhia ao Down, “fujão”, era praticamente idêntica a ele, porém se diferenciava pelo fato de parecer estar andando de marcha ré.

- *O que aconteceu aqui? Vocês estão bem?* – Levi falou com certo grau de preocupação com seus recém-amigos.

- *Calma! Estamos todos bem, acontece que um fóton nos atingiu fornecendo energia o suficiente para se criar um antiquark, é aquele que está andando de costas.* – Falou o Up com sorriso no rosto.

- *Nunca ouvi falar desse fóton.*

- *A professora LU com certeza vai explicar melhor quando retornar.*

De repente um novo tumulto começou, prótons se empurravam, mas mesmo assim não conseguiam desgrudar um do outro, os quarks também podiam perceber que o clima entre os prótons no núcleo não era dos mais amigáveis. E observando tamanha confusão, Levi não entendia o porquê de tanta repulsão, e pergunta em um tom de apaziguamento:

- *Por que os prótons se empurram tanto? Percebo que não adianta, vocês não conseguem se livrar um dos outros!*

- *Sim! Você não irá encontrar prótons sozinhos por aí.*

- *Sério? Caso se afastassem vocês poderiam acabar com toda essa confusão?*

- *Até que nós queremos, mas os glúons não permitem! Eles exercem a força forte quem nos mantém juntos.*

- *Glúons? Quem são esses? Não vejo ninguém fora nós!*

Nesse instante o Quark Up intervém, e dirige a voz ao visitante:

- *Claro que você não está vendo, não está usando os óculos!*

- *Óculos? Não uso óculos! Desculpa, mas isso não faz o menor sentido.* – Explicou Levi começando a achar que nunca entenderia tudo aquilo.

- *Você precisa usar óculos especiais, os glúons são partículas virtuais, não podem ser vistas tão facilmente, aliás, alguém aí sabe onde estão os óculos de realidade virtual?*

Então os prótons começaram a se agitar, até que um deles grita:

- *Aqui está! Achei!*

- Levi, ao colocar esses óculos você poderá ter ideia do campo gluônico, e suas dúvidas poderão ser sanadas pela própria partícula mediadora dessa força que nos mantêm juntas, então queira fazer a gentileza de colocar no rosto. – Disse um quark up.

Então o estudante sem indagar nada, resolve atender ao pedido feito pelo seu novo amigo. No momento que ele coloca as lentes, percebe que ali existe uma nova figura entre os quarks e a impressão que dava era que ela estava movendo-se rapidamente. Logo uma partícula surge do lado de Levi e fala:

- Pensei que você ia sair daqui sem falar comigo!

Levi leva outro susto que o deixa mais atordoado e começa a observar com cautela aquela nova figura forte que estava bem ofegante.



- Tudo bem? Quem é você? Não o tinha visto antes, por isso não falei.

- Meu nome é Glúon, eu sou o responsável em manter os quarks juntos, exercemos a chamada força forte, é uma manifestação de uma força mais fundamental entre os quarks. E essa tarefa não é fácil.

Se tudo parecia estranho para o jovem visitante de Quantópolis, agora parecia que ia ficar mais nebuloso ainda, pois partículas jamais imaginadas estavam ali na frente. Mesmo assim o Glúon continua com sua explanação:

- Pelo que percebi, você já fez amizade com quarks up e down, porém, além deles, existem ainda o Charm, Strange, Bottom, e o Top! E digo-lhe mais, cada quark desses pode ter três tipos de cores: vermelho, verde e azul!

- Sr. Glúon, o senhor vai perdoar-me, mas não notei nenhuma coloração nos Quarks Up e Down.

- Porque o conceito de cor nesse caso, não tem nada a ver com o que você conhece no seu mundo.

- Isso não faz o menor sentido para mim.

- Vou tentar ser mais claro: as forças de atração e repulsão entre os quarks, que é mediada por nós, os glúons, podem ser chamadas de força cor, as cores são

propriedades dos quarks, você pode fazer uma analogia com a força gravitacional, ela tem como fonte a massa de um corpo, assim como a força cor tem como fonte a cor do quark.

- Entendi. Agora me responda outra coisa Glúon, por que vocês estão sempre aparecendo e desaparecendo, do nada, tão rapidamente?

- Isso acontece porque somos partículas virtuais.

Nesse instante um alarme começa a soar e um grande alvoroço toma conta de todos ali presentes. Levi assustado retira os óculos de visão virtual, e de imediato não consegue mais ver os glúons, enquanto isso, ele dá de cara com a professora Lu, que tinha retornado sem que ele percebesse, e ela fala em tom de preocupação:

- Levi, de tantas portas de núcleo você foi escolher logo a do Urânio? Não devia ter confiado no Neto! Para ele tudo sempre está bem!

Agora, Levi realmente sentia uma sensação de medo e arrependimento, temia que toda confusão estivesse sendo causada por ele.

- O que está acontecendo professora? Por que esse alarme tão alto?

- Você escolheu um núcleo de urânio que tem 92 prótons e 143 nêutrons, essa quantidade muito alta de prótons o torna muito instável, assim como também as forças de repulsão entre eles são muito fortes, isso torna o equilíbrio entre prótons e nêutrons muito frágil. Esse alarme é em decorrência da emissão de uma partícula alfa.

Bem perto da professora e seu aluno, passaram dois prótons e dois nêutrons bem juntos, eles tentavam romper uma barreira existente no núcleo, ao se chocarem, eles correram para o outro lado e se chocaram novamente.

Então a professora segura a mão gélida de seu aluno, e de repente eles dois somem em um clarão forte. Neste momento Levi se sente um pouco triste por não ter tido a oportunidade de se despedir das partículas que conhecera há pouco tempo e que foram bem cordeais com ele.

CAPÍTULO 3

O SR. ELÉTRON E SEU AMIGO FÓTON

Ao recobrar a consciência, ainda de olhos fechados, Levi esperava encontrar seu quarto depois daquele sonho que o deixou tão admirado e ao mesmo tempo confuso. Ao invés disso, ele ainda via aquelas partículas que se deslocavam em velocidade surpreendente e também a professora que o aguardava pacientemente, sempre manuseando seu aparelho.

- *Professora Lu? O que aconteceu? Achei que tudo aquilo fosse um sonho.* – Confessou Levi ainda atordoado, mas na expectativa do que ainda o esperava naquela cidade enigmática e prodigiosa.

- *Fique calmo Levi isso sempre acontece quando nossos visitantes recebem um fóton de luz. Agora você está bem podemos continuar nosso passeio e o próximo ambiente de Quantópolis. Iremos visitar a nuvem de probabilidade e seu anfitrião, o Sr. Elétron.*

Então Levi já recomposto, não consegue impedir novamente sua curiosidade e pergunta a paciente professora:

- *E o tal do Fóton? Venho escutando falarem muito dele porém até agora ninguém parou e me explicou o que seria ele.*

- *É verdade, daqui a pouco você irá conhecê-lo.* Explicou a professora.

- *Tudo bem, então gostaria de saber que lugar é esse onde estou. Nunca ouvi falar dessa nuvem de probabilidade.*– Retrucou Levi, sentindo-se um pouco desconfortável, por não ter suas dúvidas respondidas de imediato.

- *Você com certeza já tinha ouvido falar antes dessa nuvem, porém com outros termos, talvez como eletrosfera.*

- *Sim! Nas aulas de Química!*

- *Exato. Antes de chegar aqui, você estava tendo uma conversa com algumas partículas, o que você lembra?*

- Pelo que entendi os prótons e nêutrons são chamados de hádrons por serem constituídos por outras partículas, no caso os quarks, e experimentavam principalmente a força forte. Apesar de toda aquela confusão eu aprendi muita coisa, até então eu achava que prótons e nêutrons eram as menores partículas da matéria.

- Muito bem Levi, como prêmio nada mais justo que você conhecer agora a região onde ficam os elétrons, ou seja, a eletrosfera. Em algumas partes a probabilidade dele estar é maior do que outras, às vezes até nos dois lugares ao mesmo tempo! Por isso o termo mais apropriado é nuvem de probabilidade.

- Como assim nos dois lugares ao mesmo tempo? Ou o elétron está em um lugar ou está em outro, professora! Quando estou estudando na escola sobre movimento, um carro, por exemplo, tem seu lugar bem definido, nunca em dois lugares ao mesmo tempo. Com o devido respeito, isso é um ultraje!

- Concordo quase que plenamente com você, falou a professora com um sorriso que lhe é peculiar, mas as coisas quando estão nas dimensões subatômicas, quer dizer, nas dimensões quânticas, a Física que você estuda no aspecto macroscópico, que é a clássica, não funciona tão bem. E isso acarreta comportamentos que podem ferir nosso senso comum, é isso que está acontecendo com você agora!

Foi então que Levi percebeu que se tudo parecia realmente bizarro, agora se tornava ainda mais complexo e no mínimo estranho. Então ele respira de maneira pausada e confessa a professora:

- Professora Lu, acho que não sou a pessoa mais adequada para conhecer esses conceitos quânticos. Para falar a verdade, nunca tinha ouvido falar da Física quântica! Talvez a decepção, pois acho que não vou conseguir entender todas essas novas regras!

- Por isso você foi escolhido! Todos sabem que a Física abordada nas atuais salas de aula, é uma ciência que tem muita relevância, porém, ela não deve ser exclusiva. A mecânica newtoniana tem um caráter determinista, e na mecânica quântica a palavra determinismo não se encaixa bem, ela acaba sendo substituída pelo termo probabilístico, isto é, falamos de probabilidades no mundo das partículas subatômicas. A Física de partículas avançou muito desde o início do século XX, mas

isso não vem sendo transmitido aos nossos alunos e por isso estamos tentando mudar um pouco essa realidade. Então se anime, você vai conhecer o Sr. Elétron!

Levi sentiu uma presença de um novo personagem, mas ele não conseguia distinguir com clareza porque ele não parava de vibrar. A única coisa que dava para observar era que ele girava constantemente e tinha uma cabeça pontiaguda em forma de seta.



- Olá, meu jovem! Sou o Sr. Elétron, gostaria de lhe dar as boas-vindas a Quantópolis!- Falou com uma voz grave o anfitrião da nuvem de probabilidade.

- Oi, Sr. Elétron, muito prazer em conhecê-lo, se não for pedir muito, o senhor poderia ficar imóvel para podermos conversar melhor? Tenho dificuldade em dialogar com alguém que não para de se mover. – Respondeu Levi com um brilho no olhar tentando entender aquela figura emblemática.

- Deixe-me ver o que posso fazer. – Disse o elétron, fazendo um grande esforço para diminuir sua velocidade.

Quando ele conseguiu diminuir um pouco sua velocidade, sua imagem se tornou mais embaçada ainda, cada vez era pior perceber sua forma e saber onde estava, parecia que ele não tinha um local definido no espaço que o rodeava.

- Sinto muito Levi, acho que não posso fazer melhor do que isso. Você nunca escutou falar de Heisenberg e seu princípio da incerteza, estou certo?

Levi forçou sua memória por alguns instantes, tentando lembrar se já tinha ouvido falar do princípio da incerteza, mas não teve sucesso.

- Desculpe, mas o Sr. está certo! Não conheço esse princípio e nem seu algoz.– Respondeu Levi com uma voz que transparecia decepção.

- Ah, não precisa se desculpar, até porque você não tem culpa! Eu explico para você como isso funciona. O princípio da incerteza nos diz que não é possível medir com exatidão a posição e o momento de uma partícula ao mesmo tempo, isto é, se você conseguir determinar a posição de uma partícula e a sua velocidade fica incerto! Ou vice-versa, não tem como saber essas duas grandezas simultaneamente! Por isso quando eu diminuo minha velocidade, você não consegue perceber a minha posição com clareza.

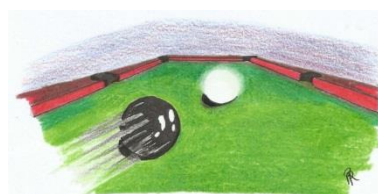
- *Mas meu professor de Física ensinou que é possível determinar a posição de um objeto sabendo sua velocidade!*– Dessa vez Levi falou com bastante segurança.

- *Sim e ele está certo. Isso é aplicável na mecânica clássica, em que os objetos estudados têm dimensões muito grandes e são muito massivos, como já foi dito antes pela professora. Porém, aqui em Quantópolis, que tem dimensões muito pequenas, as leis são diferentes.*

Assim que o Sr. Elétron terminou sua frase, ele foi atingido por um clarão muito parecido com o que atingiu Levi e a professora nos momentos anteriores, e com isso ele imediatamente foi mandado para mais distante. E outros elétrons ficaram próximos a ele, mas sem estabelecer um diálogo.

Quando Levi estava na eminência de perguntar o que tinha acontecido, a professora Lu intervém e o convida para um jogo de sinuca, ele fica um pouco embaraçado pelo convite e mesmo sem entender no que isso podia ajudar, resolve aceitar, pois depois de tudo que já tinha vivido ali um jogo de sinuca era a menor das estranhezas.

De repente aparece uma mesa de bilhar com apenas uma bola preta que estava em movimento aleatório, quase chocava nas quinas da mesa ricocheteando para todos os lados, e uma branca.



Diante daquela situação inusitada Levi sussurra:

- *Mas que jogo sem graça! Como vou jogar sinuca com apenas duas bolas?*

- *Elas vão ajudar-te a entender um pouco o princípio da incerteza, falou a professora. Vamos usar a bola branca para tentar localizar a bola preta, por isso você vai jogá-la em uma determinada direção que seja paralela a borda maior da mesa, caso houver um desvio de sua rota vamos ganhar precisão da posição da bola preta, mas antes de você iniciar...*

Neste instante as luzes que iluminavam a mesa de sinuca apagaram-se, deixando-a na mais completa escuridão. A bola branca ainda podia ser vista porque emitia luz própria como uma estrela. Em contrapartida, a preta não fornecia nenhuma informação qualquer sobre sua localização.

- Professora, eu não estou enxergando nada! Como vou jogar a bola branca na direção da preta?

- Essa é a intenção do jogo, que você não tenha essa informação.

Então Levi joga a bola branca e percebe que neste primeiro momento a sua trajetória quando retorna depois de bater na borda da mesa não se altera, na segunda tentativa, quando a direção que ela percorre é mais próxima da caçapa direita, percebeu que sua trajetória foi desviada indicando que ocorreu uma colisão com a bola preta, então a professora intervém exclamando com entusiasmo:

- Isso! Diga-me Levi, onde você acha que estava a bola preta?

- Bem, em algum lugar pelo canto direito da mesa! Pois a bola branca sofreu um desvio nesse local!

- Exato! Mas me responda, e a velocidade da bola preta depois da colisão? Qual seria?

Levi raciocinou por alguns instantes e manteve-se calado porque não tinha nenhuma resposta plausível para a pergunta.

- Essa ilustração é um pouco grosseira, eu confesso, mas ajudou a entender um pouco a essência do princípio da incerteza! Quando ocorreu a colisão entre as duas bolinhas da sinuca, você ganhou informação sobre a localização da bola preta, porém nada sobre a sua velocidade. Com isso posso concluir que, não é possível afirmar o local exato da posição de um elétron e seu momento aqui na nuvem, mas podemos ter valores de probabilidades de sua localização, para isso alguns cálculos podem ser feitos utilizando equações matemáticas, a mais famosa talvez seja a que você viu escrita na lousa quando nos conhecemos! Aquela é a famosa equação de Schrödinger.

- Tudo bem, professora! Concordo com isso tudo, mas não vejo nenhuma outra partícula colidindo com o elétron para gerar essa incerteza! - Dessa vez Levi tinha feito uma ótima afirmação!

- Você tem certeza disso? Não podemos esquecer o fóton!

- De novo esse fóton?– Disse o visitante quase irritado.

- Sim! De novo! Ele foi quem atingiu o Sr. Elétron, fazendo com que o mesmo mudasse seu nível de energia para um mais alto, por isso ele se afastou de você.

- Então é esse o fóton?

Foi aí que pôde ser observado o mesmo clarão saindo do Sr. Elétron, assim ele volta ao mesmo local e retoma a conversa:

- É esse mesmo, fui atingido por um quantum de luz ou um fóton, que de maneira mais fácil de entender, é uma quantidade indivisível de energia. Ao ser atingido por esse pacote de energia, que tem valores discretos, consegui absorvê-la e mudar meu nível energético, saltando para um maior. Porém, quando eu emiti esse mesmo fóton, retornei para meu nível anterior e cá estou novamente conversando com você. – Afirmou o Elétron de forma simpaticíssima.

CAPÍTULO 4

PAULI: O EXCLUSIVO

Em um olhar mais atento Levi fixou seu olhar, que não pareceu nenhum pouco discreto, na parte superior do Sr. Elétron e tentava entender aquele formato que lhe parecia pontiagudo e não parava de girar. Mas nem precisou indagar, pois foi surpreendido pela voz grave do seu amigo:

- Deve estar observando e querendo entender por que estou girando e por que o formato da minha cabeça é assim, não é? Isso é um dos meus maiores fascínios! As pessoas adoram. Essa seta na parte superior, nada mais é que o meu spin!

- Seu...

- Spin!- A resposta veio tão imediatamente, que Levi não conseguiu nem indagar o que significava esse termo – Meus pin nada mais é que o meu momento angular, em outras palavras, é meu estado de rotação. Neste momento meu spin está para cima, mas observe nosso vizinho ali.

Ao olhar para onde apontou o Sr. Elétron Levi pode visualizar uma partícula que parecia ser igual a ele mas se diferenciava pelo fato da seta desta estava apontar para baixo.

- Que interessante! Exclamou o menino entusiasmado, ele parece estar girando também, apesar de eu não conseguir enxergar com muita nitidez, mas por que ele não se junta a nós e também fica com seu spin para cima?



Tanto o Sr. Elétron como a professora Lu fitaram um olhar sério para Levi e ficaram alguns segundos em silêncio. O garoto, no mesmo instante, tentava fazer uma reflexão sobre a última frase, buscando saber o que de tão grave tinha falado para acarretar aquela reação de condenação. A docente que sempre carregava um sorriso, dessa vez tinha um semblante fechado e falou pausadamente para o visitante:

- Levi, caso isso aconteça, pode ocorrer consequências inimagináveis!

- Mas o que eu posso ter falado de tão grave professora? Apenas sugeri que outro elétron pudesse juntar-se a nós e fazer o mesmo que o Sr. Elétron. – Falou Levi com a voz já embargada.

- Isso não é permitido, você recorda o momento em que tive que deixá-lo sozinho? Tive que fazer isso porque dois elétrons estavam discutindo em fazer a mesma coisa ao mesmo tempo. Existem leis em Quantópolis e essa é uma muito importante: dois elétrons não podem ocupar o mesmo estado quântico, eles não podem fazer a mesma coisa simultaneamente. Se não todos iam querer ocupar o estado fundamental, você pode ver que a quantidade de elétrons é maior no nível mais próximo do núcleo, este é o estado fundamental que falei agora a pouco. Estamos falando do princípio da exclusão de Pauli.

Dito isso, ninguém mais ousou contrariar esse princípio.

CAPÍTULO 5

MAIS FÓTONS

- *Então é só essa a função do fóton? Fornecer energia para o elétron?*– Dessa vez Levi procurou essa pergunta para poder se sair daquela situação que no mínimo era constrangedora.

- *Ah, não! Respondeu o Sr. Elétron, existem os fótons virtuais também.*

- *E onde eles estariam?*

- *Em toda parte, ao redor das cargas elétricas, claro! Inclusive ao meu redor.*

- *Mas não consigo vê-los.*

- *Com certeza você não está vendo, vou repetir: são fótons virtuais!*

Foi aí que Levi lembrou-se dos seus óculos, ao revistar seus bolsos, percebeu que não estavam talvez os tivesse perdido em meio à confusão no núcleo de Urânio. Mas a professora no mesmo instante entregou um par de óculos ao estudante, como se soubesse que ele não ia ter em mãos.

Ele agradece com um sorriso sem graça e coloca em seu rosto foi então que observou uma nuvem de partículas que estavam interagindo entre as cargas elétricas, tanto entre os elétrons como em direção ao núcleo. Quando uma carga emitia uma partícula daquelas, imediatamente ela era absorvida por outra carga, e como é de costume, de maneira sorrateira, uma delas se aproxima para dar as boas-vindas a Levi:

- *Bom dia, boa tarde e boa noite! Eis me aqui a sua disposição!*

Apareceu ali um personagem elegante que usava uma cartola, como as usadas por mágicos em apresentações de ilusionismo, ao mesmo tempo em que dava piruetas e cambalhotas como os artistas circenses.



- *Não sei bem que hora do dia estamos.* – Levi respondeu curioso.

- Ah! Isso não importa, o que importa é que você acaba de conhecer os bósons mediadores da força eletromagnética, somos nós, os Fótons!

- Se não for pedir muito, você poderia me explicar o que seria um bóson? – Desta vez Levi já se comportava de maneira mais tranquila pois as experiências anteriores o fizeram amadurecer cognitivamente.

- Os bósons são partículas de spin inteiro, nós que fazemos as mediações das interações fundamentais, fiquei sabendo que você já conheceu os Glúons, certo? – Indagou o Fóton.

- Sim! Lá dentro dos prótons e nêutrons.

De repente um fóton idêntico ao que saudou Levi apareceu, ele realizava os mesmos movimentos, e falava a mesma coisa que seu irmão gêmeo de forma uníssona:

- Eles são os bósons Mediadores da força forte, e nós somos os bósons mediadores da força eletromagnética, sempre estamos acompanhando as cargas elétricas, quanto mais próxima dela, mas densa se torna essa nuvem de fótons virtuais.

- Mas no que se diferencia você e os fótons que vi atingindo o elétron, fazendo ele mudar de nível energético?

- Complexamente simples! Falaram os dois. Eles são fótons reais e nós somos virtuais!

- Não consigo entender tão facilmente essa diferença.

- Os fótons reais carregam uma quantidade discreta de energia, e podem ter um tempo de vida muito longo e alcançar distâncias infinitas, foi o que você viu quando o Sr. Elétron recebeu ou emitiu, e assim ele mudou de nível de energia. Fóton é Luz! – Os dois olharam para cima em sinal de respeito, sabe-se lá por quem – Já nossa família virtual literalmente surge e desaparece do nada, nós pegamos energia emprestada do ambiente, são as flutuações quânticas! Mas tem um porém se a energia pega emprestada for grande não podemos viver por muito tempo, logo temos que devolvê-la e desaparecemos. Inclusive nosso tempo acabou.

Os dois sumiram instantaneamente e também da mesma maneira apareceram vários outros fótons virtuais, e como um coral bem ensaiado realizavam os mesmos movimentos e falavam todos ao mesmo tempo de forma incrivelmente sincronizada.

Levi parou por um instante, e observando aquele comportamento, lembrou-se do diálogo com o elétron, e perguntou confuso:

- Pelo que vejo vocês têm o mesmo spin e fazem a mesmas coisas ao mesmo tempo, isso não viola o princípio da exclusão de Pauli?

- Violaria se nós bósons, obedecêssemos a este princípio, mas somente os férmions são fiéis a ele!

Novamente aqueles fótons sumiram, e incontáveis outros apareceram. Levi ficou assustado com a quantidade infinitamente maior e retira os óculos de realidade virtual, e se ver deparado com a professora Lu.

- Olá minha professora, eu não estava me sentindo bem com aquela multidão de fótons e preferi retirar os óculos.

- Tudo bem Levi, pelo que observei o diálogo foi interrompido quando se falavam dos férmions, estou certa?

- Sim! Quem são eles?

- Férmion é apenas um termo genérico para partículas de spin semi-inteiro, podemos tomar como exemplo os quarks e os léptons. Respondeu a professora que já estava preparada para a próxima pergunta.

- Léptons?– Dessa vez Levi começava a se preocupar com a quantidade de termos que só faziam crescer.

- Calma, com o tempo você vai se acostumar! É que pela quantidade grande de partículas que estão sendo descobertas os físicos procuram organizá-las em famílias, segundo suas características. Mas vou deixar o Sr. Elétron falar sobre os léptons.

O Sr. Elétron retorna para junto do aluno e sua professora depois de emitir um fóton, e fala com sua voz retumbante:

- Os léptons são as partículas de spin $\frac{1}{2}$ que não possuem a propriedade cor, e podem ter carga elétrica, ou não. Eu, particularmente, pertencem à família dos léptons, que aparentemente são fundamentais, isto é, não apresentam estrutura interna.

- Se é uma família deve existir outros, não é isso?– Perguntou Levi com a cara enrugada de curiosidade.

- Com certeza! Vou pontuar a família para você: eu, o Elétron, e o meu neutrino, o Múon e o neutrino do Múon, o Tau, e claro, o seu neutrino.

- E onde eu posso encontrá-los?

- O neutrino sempre está presente nos decaimentos nucleares, mas essa observação vou deixar para a sua professora, tenho que mudar meu nível de energia agora! Foi um prazer conhecê-lo.

CAPÍTULO 6

ONDE OS FRACOS TÊM VEZ

E de repente um novo fóton atingiu o Sr. Elétron deixando-o mais longe do núcleo, e diferente do que ocorria antes, Levi percebeu que ele de forma misteriosa, deixou os níveis de energia abandonando o próprio átomo. A professora antecedeu a pergunta e respondeu de forma imediata:

- Esse acontecimento não é raro por aqui Levi, o elétron, como você já sabe, muda seus níveis de energia de acordo com a emissão ou recebimento de um fóton, quando ele recebe, passa para um nível maior, e se continuar a receber essas quantidades discretas de energia pode até abandonar o átomo! Esse é o famoso efeito fotoelétrico. Mas, nesse momento, isso não vem ao caso, quero convidá-lo para observar um decaimento em que um neutrino tem participação fundamental.

Levi concorda de imediato em acompanhar a sua professora, a cada momento que passa, o sentimento de curiosidade e admiração superava o de frustração por nunca ter ouvido falar daquelas partículas fantásticas.

A professora apertou um botão do aparelho que já fazia parte de seus adornos, e um novo clarão os levaram a um local que, aparentemente, só contava com a presença deles dois.

Levi sentindo-se ainda um pouco tonto, depois de receber aquele fóton, porém já mais acostumado, observou por alguns instantes ao seu redor e pôde perceber que existia um nêutron solitário no meio daquela sala. Mesmo assim ele ainda mantinha uma expressão de tranquilidade, que lhe era peculiar.

De certo modo ele comoveu-se com a solidão daquele bárion, que há pouco tempo lhe recebeu tão bem em Quantópolis. E pergunta diretamente a Lu:

- Professora, por que aquele nêutron está ali tão solitário?

- Espere e verá!- Replicou a docente.

Então de repente, como um passe de mágica, o nêutron transformou-se em um próton e não estava sozinho, dele saiu um elétron e outra partícula totalmente nova. Ela tinha um porte físico esquelético e comportava-se de maneira muito agitada.



- *Mas que figura engraçada! Quem seria ele, professora?* – Perguntou Levi encantado com aquele personagem.

- *Este é um neutrino do elétron, ele interage pouco com a matéria por ter massa bem pequena, acho que isso é notório, não é verdade?*

E os dois sorriram com o comentário feito pela professora.

- *Mas o que exatamente aconteceu?*

- *Isso que nós presenciamos aqui, foi o decaimento do nêutron, por estar sozinho, ele transformou-se em um próton e emitiu um elétron e seu antineutrino. Vamos entender isso de maneira mais detalhada.*

Lu aperta novamente os botões de seu aparelho e outro nêutron aparece sozinho na sala, ela imediatamente pega seu aluno pelo braço e depois de diminuir as dimensões, adentram no paletó da partícula que ali estava.

Novamente Levi estava presente junto aos dois quarks down e um up que constituíam o nêutron. Ele os saúda, mas prefere não falar muito para poder observar o que iria acontecer. Instantaneamente um dos quarks down vira um up e emite uma outra partícula nova, que por sua vez emite o elétron e seu antineutrino.

O jovem fica espantado por aquele conhecimento, mas prefere esperar a explicação de sua experiente professora, e é isso que acontece.

- *Vamos pensar juntos, o nêutron é composto por dois quarks down e apenas um up, nesse decaimento um dos down transformou-se em up, logo ficou agora com dois up e apenas um down, ou seja, um próton. Essa partícula nova que você viu é o W^- – ela faz parte de um trio que é responsável pela interação fraca.*

- *Interação fraca? Quem seriam os outros componentes desse “trio”?* – Perguntou Levi bem atento para a resposta.

- *Sim, você já conheceu a forte, a eletromagnética e agora está conhecendo a interação fraca. Assim como as outras, ela tem como partículas mediadoras o W^- – o W^+ e o Z^0 . Por terem uma intensidade muito pequena acabam sendo “mascaradas” pela interação forte e eletromagnética. Agora vamos sair daqui, acho que chegou a hora da parte final de nossa jornada no mundo da Física de Partículas!*

Escutando aquela última frase, o sentimento de curiosidade, que é fator constante no cotidiano do aluno, misturou-se com o de melancolia, por estar sabendo que se

aproximava o final daquela viagem. Ali ele recebeu a oportunidade de conhecer uma Física bem diferente que via em suas aulas tradicionais, porém ainda desconhecida, apesar de ser atual e diretamente ligada a vida das pessoas.

CAPÍTULO 7

O MISTERIOSO E FANTÁSTICO MUNDO DAS ALTAS ENERGIAS

O ambiente agora era outro. Um maquinário pesado cercava Levi e a professora Lu, eram inúmeros computadores que emitiam luzes. Lá podiam observar muitas pessoas trabalhando incessantemente, alguns mexiam nas máquinas e outros vibravam ao anotar o que a tela dos computadores fornecia, que para o aluno era indecifrável.

Ainda embasbacado por existir aquele lugar tão grandioso, e que tudo foi construído pelo homem, Levi pergunta a professora com os olhos rasos d'água:

- Professora, que lugar fantástico é esse que estamos?

- Esse é o famoso LHC, isto é, o grande colisor de hádrons. Acredito que você já tenha ouvido falar dele. – Respondeu Lu entusiasmada.

- Uma vez meus pais assistiam ao jornal, e passou uma reportagem de um grande laboratório em que muitos cientistas trabalhavam para descobrir coisas novas.

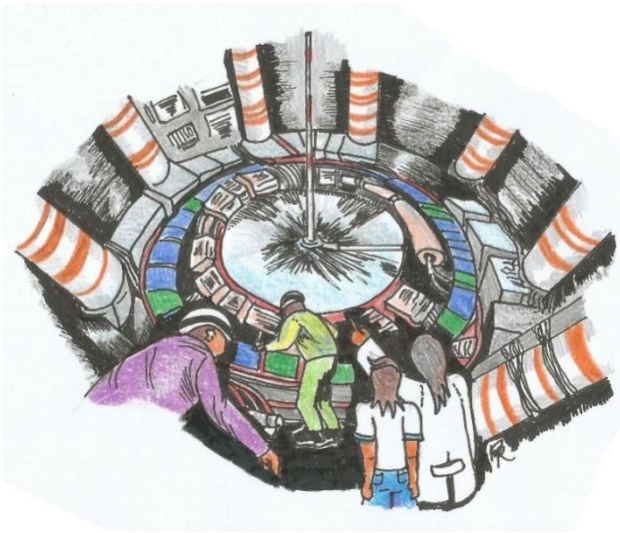
- Com certeza estavam falando daqui. Para você ter uma pequena noção estamos a mais de 100m abaixo do solo e este acelerador de partículas tem um diâmetro de 27 km.

Ao escutar aquelas informações, Levi espantou-se com os dados grandiosos que descreviam o LHC. Contudo, mesmo assim não conseguia imaginar o que exatamente acontecia dentro daqueles longos cilindros. Decidiu esperar o pronunciamento de sua professora, que como lesse os seus pensamentos, ia tirando suas dúvidas antes mesmo dele perguntar.

- Para entender o que acontece aqui de maneira mais detalhada, nada mais justo do que uma visita aos componentes principais do acelerador!

Então os dois começaram a andar e chegaram no primeiro ambiente, era um equipamento cilíndrico conectado por muitos fios e outros menores que não se assemelhava a nada com que já tinha visto.

- Antes de falar o que acontece nesse local, vou falar resumidamente o que acontece no LHC. Como o nome sugeri, dentro desses cilindros, partículas como prótons, são aceleradas a velocidades altíssimas próximas a da Luz, e como consequência, sua energia também se torna muito elevada. Aqui é o LINAC 2 nele é fornecido energia às partículas, que pode ser um próton, atingindo, aproximadamente, 1/3 da velocidade de luz.



- Mas para que tanta energia e como consequência tanta velocidade?

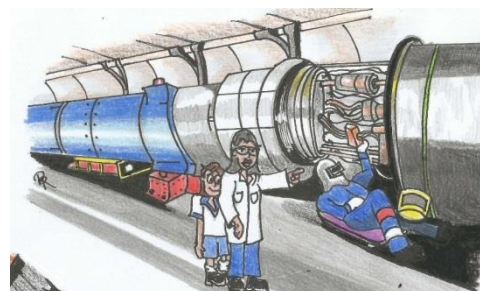
- Isso é de fundamental importância, se aceleramos partículas a velocidades próximas a da luz em sentidos contrários, o que vai acontecer?

- Uma colisão!- Respondeu Levi preocupado com o seu amigo próton.

- Claro! - Respondeu Lu - E é nessas colisões que o espetáculo atinge o seu ápice! É onde podem aparecer as mais diversificadas partículas que o modelo padrão descreve. Um ambiente semelhante aos primeiros instantes do Big-Bang.

Os dois continuaram seu fantástico passeio, e logo se encontraram no próximo equipamento. Esse parecia bem maior.

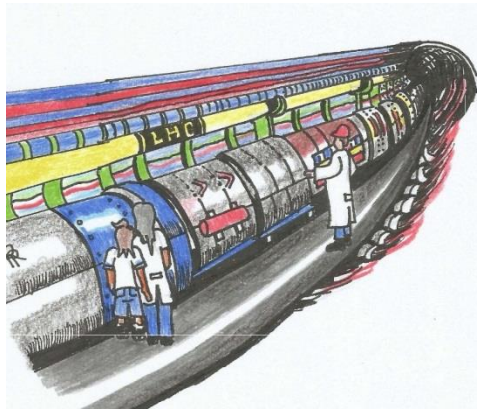
- Estamos agora no BOOSTER. Neste equipamento um campo elétrico acelera ainda mais o feixe de partículas, podendo atingir 91% da velocidade da Luz. Resumiu a professora. Mas não podemos perder tempo! Vamos em frente!



Os dois apressaram o passo e depois de um tempo maior chegaram ao próximo lugar. Levi apesar de toda a afobação não se sentia cansado e a professora continua sua aula:

- Nessa fase chegamos ao Síncroton de Prótons, ou simplesmente PS. Aqui mais energia é fornecida fazendo com que, por exemplo, nosso amigo próton chegue a 99,93% de c . E antes que me pergunte, c é a velocidade da luz.

Levi estava ficando muito ansioso, pois a cada visita todos aqueles aparelhos aumentavam seu porte, e proporcionalmente seus fascínios. O próximo lugar foi o super sincrotron de prótons que tinha a sigla: SPS.



- Professora, pelo que estou vendo todos têm uma aparência circular, estou certo?

- Sim, corretíssimo! O SPS tem tamanho aproximado de 7 km. Aqui nosso amigo próton pode obter uma energia de 450 Gev.

- E até onde isso tudo vai?

- Vamos conhecer o último estágio, que é o próprio LHC! Nele o próton já está com uma velocidade surpreendente, muito próxima à da luz. Mas vamos deixar de conversa e observar! Os cientistas estão começando um experimento agora!

Então um barulho ensurdecador foi emitido, e uma movimentação entre aqueles homens e mulheres tornou-se evidente, deixando-os em estado de êxtase. Levi a priori sentiu um pouco de medo, mas já tinha passado por tanta situação que até então era desconhecida, que logo se concentrou novamente para observar o funcionamento daquele laboratório gigantesco.

- Levi, aqui temos seis detectores. O primeiro é o Atlas que quer dizer Toroidal LHC Apparatus, depois podemos citar o Compact Muon Solenoid – CMS, o terceiro é o A Large Ion Collider Experiment – Alice, o Large Hadron Collider beauty – LHCb é o quarto. Dentre esses quatros, gostaria que você me acompanhasse até o CMS. Tenho um carinho especial por ele.

CAPÍTULO 8

PETER HIGGS E A TERRA DO SEMPRE

Mesmo sem saber o porquê desse carinho em especial por esse detector, o estudante acompanha sua mestra para observar o que aqueles potentes computadores naquele detector poderiam dizer:

O ambiente por um instante fornecia um silêncio sepulcral, todos os olhares estavam voltados para as telinhas, até que de repente os dados começaram a brotar, alguns forneciam imagens que se assemelhavam a pequenos chuveiros, com vários rastros que Levi não conseguia entender.

- O que seriam esses números e desenhos? – Dessa vez Levi perguntou sem seque olhar diretamente para ninguém, apenas para os computadores.

- Feixes de partículas colidiram e dessa energia surgiram outras partículas massivas, isso significa que massa e energia são a mesma coisa! Mas em especial quero que observe essa. – Disse a professora apontando para um canto da telinha do PC – Essa partícula em especial tem energia de 125 GeV que dentre outras possibilidades, decaem em dois fótons. Estamos eufóricos pois trata-se do Bóson de Higgs!

- E que Bóson é esse? O que ele tem de especial?

- As únicas partículas responsáveis por uma interação que tem massa, são as da interação fraca: W^+ , W^- e Z^0 . Enquanto os fótons e glúons têm massa de repouso zero. Essa quebra de simetria ou diferença seria ocasionada pelo Campo de Higgs, esse campo permeia todo o universo e inclusive dá origem ao próprio bóson de Higgs, ele seria a responsável em dar origem a massa de outras partículas elementares.

- Que fascinante! Que satisfação conhecer todos os bósons que mediam as interações fundamentais! – Gritou Levi.

- Todas? Acho que você esqueceu uma.

CAPÍTULO 9

UMA INTERAÇÃO PODEROSAMENTE FRACA

Levi pensou por um instante, lembrou da interação forte, fraca e eletromagnética, mas não conseguia lembrar a que faltava, e com uma ajudinha da professora:

- Temos ainda a interação gravitacional!

- É verdade! Onde a encontro?

- Já parou para pensar o porquê de os planetas girarem em torno do nosso sol?

Levi mais uma vez se mantém calado sem saber responder o motivo de uma coisa que sabia desde o ensino fundamental. Mas a professora segue com seu raciocínio:

- Por causa também de uma interação! Essa é chamada de gravitacional, ela está presente nos corpos massivos, quanto maior a massa maior é sua força. E seu agente mediador seria o gráviton.

- Mas por que não tive a oportunidade de conhecê-lo?

- Na verdade ele ainda não foi detectado, e talvez nunca seja. Isso se deve ao fato de essa interação ser muito insignificante ao nível nuclear, mas se falarmos da ordem de planetas e galáxias, ela é bastante poderosa. E aqui fechamos o quarteto das interações fundamentais, quem sabe um dia a Física não consiga unificá-las com alguma teoria?

Nesse momento Levi sentia-se privilegiado em ter conhecido tanta coisa nova e fascinante. Mas antes de poder realizar alguma outra pergunta a professora com uma voz doce e levemente nostálgica fala:

- Bem, querido aluno, acho que estamos encerrando nossa viagem, existem ainda muitas coisas para você conhecer, muitas outras partículas interessantes, mas nosso tempo é limitado. Espero que tenha gostado de saber dessas teorias, que nunca viu na escola em que estuda.

Ele baixa a cabeça, sentido a sensação ocasionada pela despedida de uma professora tão atenciosa, que lhe deu a oportunidade de ver a Física com outros olhos, e responde quase derramando uma lágrima:

- Sim, professora, essa foi uma experiência única e tenho certeza que amanhã na minha aula estarei com outros olhos para a matéria de Física e ajudarei no trabalho do meu professor no intuito de divulgar esse fantástico mundo das partículas elementares. Obrigado por essa oportunidade que ainda não tinham me dado.

De repente um abismo foi aberto sobre seus pés fazendo-o cair na mais completa escuridão, seus sentidos foram se esvaindo, fazendo Levi entrar em um sono profundo.

Quando de repente escutou-se o alarme de seu celular, eram 6 horas da manhã, hora de se arrumar para ir para escola, que era pública, e tinha as mais variadas dificuldades. Diferente do que era de costume, Levi não sentiu preguiça, deu um pulo da cama e tomou café rápido, tudo para chegar o mais rápido possível.

Ao chegar na rua da escola, percebeu uma movimentação estranha, vários cartazes eram levantados em forma de protesto por todos os professores, tratava-se de uma espécie de manifestação. Sob um olhar mais atento ele reconheceu o professor Bohr, e resolveu se aproximar para saber o que estava acontecendo:

- Professor Bohr? O que está acontecendo aqui?

- Os professores entraram em greve, nossos salários estão congelados e ocorreram vários cortes em verbas destinadas à educação. Para você ter uma ideia da gravidade da situação, o governo tinha um programa que custeava a ida de docentes de escolas públicas ao CERN conhecer o grande LHC, até este custeio foi cortado.

- O LHC onde feixes de partículas são colididos fazendo surgir os mais variados tipos de outras partículas?

O professor ficou boquiaberto com a colocação do seu aluno, pois jamais imaginava que ele tinha ouvido falar desse laboratório em Genebra.

- Exatamente! Mas como você sabe tanto disso?

- Ah, meu querido professor, isso é uma longa história.

Então ele se decepciona, por saber que não teria aula naquele dia, e talvez nem nos próximos, mesmo assim, Levi retorna a sua casa com o sentimento de já ter feito sua escolha de curso universitário e qual profissão seguiria: Professor de Física de escola pública.

REFERÊNCIAS

ABDALLA, Maria Cristina Batoni. O Discreto Charme das Partículas Elementares – São Paulo ed. LF Editorial 2016.

CARUSO, Francisco. OGURI, Vitor. SANTORO, Alberto. O Que São Quarks, Glúons, Bósons de Higgs, Buracos Negros e Outras Coisas Estranhas? – Rio de Janeiro ed. LF Editorial 2012.

GILMORE, Robert. Alice no País do Quantum – Rio de Janeiro ed. Zahar 1998.

GILMORE, Robert. O Mágico dos Quarks – Rio de Janeiro ed. Zahar 2002.

GRIFFITHS, David J. Mecânica Quântica – São Paulo ed. Pearson Prentice Hall 2011.

MOREIRA, Marco Antonio. Física de partículas: uma abordagem conceitual & epistemológica – São Paulo ed. LF Editorial.

OLIVEIRA, Alexandre Lopes. WAGNER, Franklin Balthazar. Partículas Elementares no Ensino Médio: Uma Abordagem a Partir do LHC.– São Paulo ed. Livraria da Física 2010.

<https://www.youtube.com/watch?v=hg9kJPdplWo&t=641s> – Acesso em janeiro de 2017.

<https://www.youtube.com/watch?v=a5O8Wf3bw9g&t=1s> – Acesso em janeiro de 2017.

<https://www.youtube.com/watch?v=o5HbQWlxuE> – Acesso em janeiro de 2017.

APÊNDICE B: AVALIAÇÃO PÓS-APLICAÇÃO DO PRODUTO

MODELO PADRÃO DAS PARTÍCULAS ELEMENTARES

NOME: _____ N°: _____

#FICAADICA: LEIA A PROVA COM ATENÇÃO

14. O LHC (“LargeHadronCollider”), maior acelerador de partículas do mundo, foi inaugurado em setembro de 2008, após 20 anos de intenso trabalho. Sua função é acelerar feixes de partículas, de tal forma que estes atinjam uma velocidade estimada em cerca de 99,99% da velocidade da luz. A colisão entre prótons será tão violenta que a expectativa é de se obterem condições próximas àquelas que existiram logo após o Big Bang.



“A primeira missão desse novo acelerador é estudar partículas indivisíveis (elementares) e as forças (interações) que agem sobre elas. Quanto às forças, há quatro delas no universo a:

- V) _____, responsável por manter o núcleo atômico coeso;
VI) _____, que age quando uma partícula se transforma em outra;
VII) _____, que atua quando cargas elétricas estão envolvidas;
VIII) _____, a primeira conhecida pelo ser humano.

(Adaptado: BEDIAGA, I. LHC: o colosso criador e esmagador de matéria. “Ciência Hoje”. n. 247, v. 42. Abr. 2008. p. 40)

No texto, foram omitidas as expressões correspondentes às nomenclaturas das quatro forças fundamentais da natureza em acordo com a teoria mais aceita no meio científico hoje. Assinale a alternativa que apresenta, correta e respectivamente, os nomes dessas forças.

- e) força gravitacional, força nuclear fraca, força eletromagnética, força nuclear forte.
f) força nuclear forte, força eletromagnética, força nuclear fraca, força gravitacional.
g) força nuclear forte, força nuclear fraca, força eletromagnética, força gravitacional.
h) força gravitacional, força nuclear forte, força eletromagnética, força nuclear fraca.
i) força nuclear fraca, força gravitacional, força nuclear forte, força eletromagnética.

15. Considere as seguintes informações do Modelo Padrão da Física de Partículas:

- iv. Prótons e nêutrons são constituídos por três quarks dos tipos up (u) e down (d);
v. O quark u tem carga elétrica positiva igual a $2/3$ do módulo da carga do elétron;
vi. Um próton p é constituído por dois quarks u e um quark d , ou seja, $p = uud$.

Determine o número de quarks u e o número de quarks d que constituem um nêutron n .

16. Das características seguintes, qual se refere aos hádrons?

- e) São partículas elementares, ou seja, **não** são constituídas por outras partículas.
- f) Experimentam a força forte.
- g) São partículas radioativas.
- h) São partículas virtuais.

17. Quais os seis sabores de quarks?

18. Qual a composição dos Bárions?

- f) Um quark ou um antiquark;
- g) Um próton e um nêutron;
- h) Três quarks ou três antiquarks;
- i) Apenas um quark;
- j) Apenas um antiquark.

19. Qual a composição dos Mésons?

- f) Três quarks;
- g) Três antiquarks;
- h) Um quark;
- i) Um antiquark;
- j) Um quark e um antiquark.

20. Quais as 4 forças fundamentais da natureza?

21. Assinale a alternativa que representa o bóson (partícula) mediadora da força forte.

- f) Fótons;
- g) W^+ ;
- h) Gráviton;
- i) Z^0 ;
- j) Glúons.

22. Assinale a alternativa que representa(m) o(s) bóson(ons), partícula mediadora da força fraca.

- f) W^+ , W^- e Z^0 ;
- g) Glúons;
- h) Fótons;
- i) Gráviton;
- j) Elétron.

23. Assinale a alternativa que representa(m)o(os) bóson(ons), partícula mediadora da força eletromagnética.

f) W^+ , W^- e Z^0 ;

g) Glúons;

h) Fótons;

i) Gráviton;

j) Elétron.

24. Quais as cores que podem constituir os quarks?

25. Descreva o que estabelece o princípio da incerteza.

26. O que diz o princípio da exclusão de Pauli?

