

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

INSTITUTO DE FÍSICA

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO DE MESTRADO PROFISSIONAL EM
ENSINO DE FÍSICA**

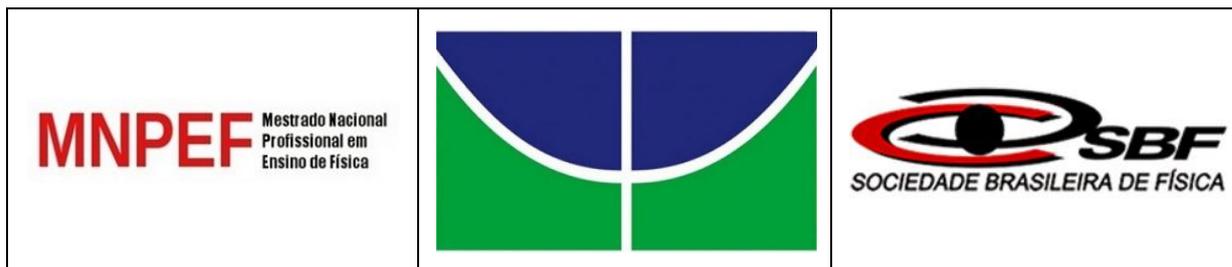
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

**INSERÇÃO DE CONCEITOS DE FÍSICA DE PARTÍCULAS ELEMENTARES NO
ENSINO MÉDIO POR MEIO DE UM MATERIAL PARADIDÁTICO**

WILLIAN FERREIRA DE SOUSA

BRASÍLIA

2016



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

INSTITUTO DE FÍSICA

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO DE Mestrado Profissional em
ENSINO DE FÍSICA**

Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física

**INSERÇÃO DE CONCEITOS DE FÍSICA DE PARTÍCULAS ELEMENTARES NO
ENSINO MÉDIO POR MEIO DE UM MATERIAL PARADIDÁTICO**

WILLIAN FERREIRA DE SOUSA

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação da Universidade de Brasília no Curso de Mestrado Profissional em Ensino de Física (MNPEF), sob a orientação do Prof. Dr. Fabio Ferreira Monteiro a ser apresentada à banca examinadora como requisito parcial à obtenção do Título de Mestre em Ensino de Física – Área de Concentração “Física na Educação Básica”.

BRASÍLIA

2016

FOLHA DE APROVAÇÃO

WILLIAN FERREIRA DE SOUSA

INSERÇÃO DE CONCEITOS DE FÍSICA DE PARTÍCULAS ELEMENTARES NO ENSINO MÉDIO POR MEIO DE UM MATERIAL PARADIDÁTICO

Dissertação apresentada à banca examinadora como requisito parcial à obtenção do Título de Mestre em Ensino de Física – Área de Concentração “Física na Educação Básica” pelo Programa de Pós-Graduação de Mestrado Profissional em Ensino de Física da Universidade de Brasília.

Aprovada por,

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Fabio Ferreira Monteiro
(Presidente)

Prof.^a Dr.^a Vanessa Carvalho de Andrade
(Membro interno vinculado ao programa – IF/UnB)

Prof. Dr. José Rildo Queiroz de Oliveira
(Membro externo – IF/UFG)

Prof. Dr. Paulo Eduardo de Brito
(Membro interno não vinculado ao programa – FUP/UnB)

Dedico este trabalho ao meu avô Lázaro (*in memoriam*), que foi exemplo de pessoa e nos deixou uma mensagem de alegria, honestidade e dedicação ao próximo. Espero que se alegre com mais essa vitória, de onde quer que esteja.

AGRADECIMENTOS

À Deus pelas oportunidades dadas e pelas pessoas maravilhosas que colocou na minha vida.

Aos meus pais, Admilson e Cleonice, pelo apoio incondicional sendo minha fortaleza.

À minha irmã Wanessa e ao meu cunhado Leopoldo por tudo, principalmente pela nossa princesa Luna que está chegando.

À minha amada namorada Stéfanny pela paciência e compreensão nas horas mais conturbadas e de ausência.

À toda minha família por terem sido a base da formação do meu caráter e por propiciarem momentos inesquecíveis.

Aos amigos fiéis pelos momentos de descontração, tornando a jornada mais suave.

Aos professores, professoras e colegas da graduação e do mestrado pela imensa contribuição à minha formação acadêmica.

Aos professores, professoras, funcionários e alunos das escolas pelas quais passei por terem contribuído para minha formação profissional.

À CAPES pelo apoio financeiro.

À UnB pela condução do MNPEF.

Ao IFG – Campus Goiânia, por ceder espaço e possibilitar a realização dessa pesquisa.

“Não há vida sem correção, sem retificação.”

(Paulo Freire)

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

(Albert Einstein)

“Descobrir consiste em olhar para o que todo mundo está vendo e pensar uma coisa diferente.”

(Roger Von Oech)

“A ciência nunca resolve um problema sem criar pelo menos outros dez.”

(George Bernard Shaw)

“Por vezes sentimos que aquilo que fazemos não é senão uma gota de água no mar. Mas o mar seria menor se lhe faltasse uma gota.”

(Madre Teresa de Calcutá)

RESUMO

SOUSA, Willian Ferreira de. **Inserção de conceitos de Física de Partículas Elementares no Ensino Médio por meio de um material paradidático**. 2016. 86 p. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física) – Instituto de Física, Universidade de Brasília – UnB, Brasília, 2016.

Levando-se em conta a deficiência de abordagem de conteúdos da Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio e nos livros didáticos adotados pelas escolas públicas, neste trabalho propomos a implementação de conceitos da Física de Partículas Elementares e, para tanto, criamos um material paradidático (produto educacional resultado da pesquisa) tomando por base os conceitos e regras da Transposição Didática e os critérios de avaliação propostos pelo Programa Nacional do Livro Didático 2015 / Ensino Médio para a disciplina de Física. Avaliamos os resultados da aplicação do material paradidático através de um questionário em escala Likert respondido pelos alunos e um relatório escrito pelo professor que acompanhou a aplicação, apresentando suas impressões e sugestões para o material.

Palavras-chave: Física de Partículas Elementares, Ensino Médio, Transposição Didática, Material Paradidático.

ABSTRACT

SOUSA, Willian Ferreira de. **Insertion of Elementary Particles Physics concepts in High School through a paradidactic book**. 2016. 86 p. Thesis (Professional Master in Teaching Physics) – Institute of Physics, University of Brasília – UnB, Brasília, 2016.

Taking into account the content approach deficiency of Modern and Contemporary Physics in High School education and in textbooks adopted by public schools, in this work we propose the implementation of concepts of elementary particle physics and, therefore, we created a paradidactic book (educational product resulting of the research) building on the concepts and rules of the Didactic Transposition and the assessment criteria proposed by the National Textbook Program 2015 / High School for the discipline of physics. We evaluate the results of the paradidactic book application through a Likert scale questionnaire answered by the students and a report written by a teacher, who accompanied the application, presenting his impressions and suggestions for the material.

Keywords: Elementary Particles Physics, High School, Didactic Transposition, Paradidactic Book.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Noosfera	16
--------------------------	----

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Interpretação do GCp	32
--------------------------------------	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Transposição Didática	19
Tabela 2: Cronograma de aplicação do material paradidático	26
Tabela 3: Turma 1 (Telecomunicações)	29
Tabela 4: Turma 2 (Eletrotécnica)	30

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	11
1. A FÍSICA DE PARTÍCULAS ELEMENTARES NO ENSINO MÉDIO	13
2. A TRANSPOSIÇÃO DIDÁTICA	15
3. AS OBRAS DIDÁTICAS DE FÍSICA PARA O PNLD 2015 / ENSINO MÉDIO .	21
4. PROCEDIMENTOS DA PESQUISA E APLICAÇÃO	24
5. ANÁLISE DOS DADOS	27
CONSIDERAÇÕES FINAIS	37
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	39
APÊNDICE A: Produto Educacional – Material Paradidático	41
APÊNDICE B: Slides utilizados na aplicação	74
APÊNDICE C: Questionário em escala Likert	81
APÊNDICE D: Relatório apresentado pelo professor P	84

INTRODUÇÃO

Temos percebido um crescimento na ocorrência de trabalhos científicos que se dedicam a propor meios pelos quais se possam inserir temas da Física Moderna e Contemporânea nos currículos do Ensino Médio, uma vez que esta implementação já é consenso na comunidade acadêmica e é defendida pelas Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN+) e também pelo Programa Nacional do Livro Didático (PNLD).

Tomando por base estudos já desenvolvidos nessa linha de pesquisa, a Física de Partículas Elementares se apresenta como uma possibilidade de porta de entrada para o mundo da Física Moderna e Contemporânea por ter alicerce nos modelos atômicos, que já é um conteúdo trabalhado tanto na disciplina de Química quanto na de Física, ter potencial didático por estar presente na mídia atual devido ao advento dos aceleradores de partículas e suas diversas descobertas, além de ser amplamente aplicada nas diversas áreas do conhecimento e da tecnologia como: medicina, biotecnologia, computação, nanociência e nanotecnologia, entre outras.

Podemos ainda apontar como aspecto positivo a contribuição que a Física de Partículas pode proporcionar para a construção da visão de ciência do aluno, por estar ainda em construção e possuir uma grande quantidade de perguntas ainda não respondidas que podem complementar e/ou mudar teorias aceitas atualmente, destacando o caráter não linear da ciência.

Contudo, para a inserção de tópicos da Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio, é necessário que haja alterações e adaptações do conhecimento científico para que este torne-se ensinável. Para tanto, é necessário que este saber passe pelo processo de Transposição Didática, conceito que vem sendo utilizado no ensino de ciências. Os aspectos envolvidos e as diretrizes norteadoras da Transposição Didática são abordados no capítulo 2.

No capítulo seguinte ressaltamos a relevância do papel dos livros didáticos no processo da Transposição Didática, levando-se em consideração que estas obras

intermediarão o saber original, produzido pelos cientistas, com o saber escolar, que chega aos estudantes. Apontamos também as principais características, tomadas como critério de avaliação, para seleção dos livros de Física aprovados pelo PNLD 2015 / Ensino Médio que são hoje adotados nas escolas públicas do país.

Detectada a carência do tema “Física de Partículas Elementares” nos livros didáticos aprovados pelo PNLD 2015 / Ensino Médio, fica evidente a necessidade de se buscar meios para que se possa trabalhar este tema nas escolas, como: apresentação de vídeos e documentários, leitura de artigos e livros de divulgação científica, estimular a pesquisa do assunto, etc. No caso específico desta pesquisa, optamos pela criação de um material paradidático com uma abordagem histórica da evolução dos conceitos e descobertas, servindo de base para tratar de aspectos teóricos do conteúdo. No quarto capítulo descrevemos o processo de criação e aplicação deste material paradidático.

Os dados da pesquisa foram obtidos a partir de um questionário em escala Likert respondido pelos alunos ao final da aplicação e também por meio de um relatório escrito pelo professor que acompanhou a aplicação descrevendo suas impressões acerca do material paradidático. Os resultados são apresentados e analisados no capítulo 5.

Por fim, avaliamos o desenvolvimento da pesquisa discutindo os resultados obtidos e as perspectivas futuras para a mesma.

1. A FÍSICA DE PARTÍCULAS ELEMENTARES NO ENSINO MÉDIO

De acordo com Siqueira e Pietrocola (2006), há quase três décadas, iniciou-se uma corrente de estudos que defendia a inclusão de temas da Física Moderna e Contemporânea (FMC) nos currículos do Ensino Médio (EM). No Brasil, essa linha de pesquisa é ainda mais recente, tendo início no começo dos anos 1990 quando Terrazan (1992) levantou questões acerca da inserção desses temas na educação básica, como: os professores possuem formação adequada para abordar temas de FMC? Qual o melhor momento para introduzir estes conteúdos no EM? Estes assuntos devem ser tratados de maneira conceitual ou com certo formalismo matemático? Qual filosofia curricular e/ou perspectivas do ensino de Ciências devem ser levadas em conta na implementação de novos conteúdos na grade curricular? Contudo, segundo Ostermann e Moreira (2000), justificar a inserção dos temas de FMC no EM já é uma barreira transposta e esta inclusão já é consenso entre professores e pesquisadores; o que se deve buscar agora são respostas aos questionamentos levantados por Terrazan (1992).

Sendo consonante entre professores e pesquisadores, espera-se que, dentre outros aspectos, a abordagem de temas da FMC no EM traga contribuições significativas para mudanças de concepções e visões de ciência que os alunos possuem, aspecto destacado por Silva Neto (2011):

“A introdução da Física Moderna no Ensino Médio, além de fornecer uma visão mais coerente de toda a Física, dá oportunidade aos alunos de desenvolverem um entusiasmo mais duradouro pela ciência. E ainda contribui para uma visão mais adequada da natureza do trabalho científico, superando o ponto de vista de que o desenvolvimento da ciência seja linear e cumulativo.” (SILVA NETO, 2011, p. 13)

Além disso, é importante destacar, e deixar claro para o aluno, que a Física “se desenvolveu ao longo da história da humanidade, estando assim, impregnada de contribuições culturais, sociais e econômicas” (PINHEIRO, 2011, p. 12), desmistificando a ideia de que a ciência é algo avulso a sociedade.

Relatividade, Mecânica Quântica e Física de Partículas Elementares (FPE) são temas recorrentes em pesquisas feitas no Brasil e no Reino Unido (Ostermann; Moreira, 2000; Stannard, 1990; Kalmus, 1992) em que se levantaram os temas de FMC que devem ser apresentados no EM e que influenciam na opção de graduandos pela carreira científica, respectivamente, apontando os assuntos capitais que podem cooperar com a modernização do currículo de Física no ensino básico. (SIQUEIRA; PIETROCOLA, 2008)

Além do mais, a FPE tem o aporte do estudo do átomo, uma vez que este é conteúdo presente nos currículos do EM, podendo servir como alicerce para a inserção das ideias e conceitos da FPE. (ALVES; ALANIS; COSTA, 2010)

Contudo, devemos ter certo cuidado para não fazermos adaptações equivocadas e/ou simplificações errôneas e abordarmos estes conteúdos de maneira tradicional ao levá-los para a sala de aula. Logo,

“Para compreender melhor como a adaptação do novo conhecimento ocorre, buscamos na didática da Ciência um conceito denominado de Transposição Didática, que vem se mostrando ser uma ferramenta de análise no entendimento do processo de transformação das teorias modernas e contemporâneas para a sala de aula.” (SIQUEIRA; PIETROCOLA, 2006, p. 2)

Utilizaremos o conceito da Transposição Didática na adequação da FPE para estudantes do EM, apresentando uma análise posterior destas adaptações.

2. A TRANSPOSIÇÃO DIDÁTICA

De acordo com Pinho Alves e Pinheiro (2012), o conhecimento físico escolar apenas se assemelha ao conhecimento físico produzido pelos cientistas. Em geral, é inconcebível repassar esse conhecimento físico na sua forma original para o ambiente escolar. Logo, o conhecimento físico original passa por processos de adaptações e transformações para que seja possível uma melhor compreensão por parte dos estudantes. A Transposição Didática (TD) é esse processo de transformação do conhecimento (que será chamado de saber).

A origem do conceito de TD é recente no ensino de ciências e matemática,

“(…) foi proposto inicialmente pelo sociólogo Michel Verret, em 1975. Em 1982, em um trabalho cujo objetivo era analisar e discutir o conceito matemático de distância, Ives Chevallard e Marie-Alberte Johsua (Um exemple d’analyse de la transposition didactique – La notion de distance) resgatam e fazem uso deste conceito, tornando-o conhecido e divulgado na área de ensino de ciências e matemática. Posteriormente, Chevallard (1985) publica ‘La Transposition Didactique’, onde organiza e dá um corpo estrutural ao conceito de Transposição Didática.” (PINHO ALVES; PINHEIRO, 2012, p. 165)

Para podermos compreender o conceito de TD, precisamos definir os níveis de saber envolvidos no processo, uma vez que a TD demanda um ponto de partida. Este ponto de partida é o saber produzido e aceito pela comunidade científica, chamado de “**saber sábio**”. Partindo para o espaço escolar, o saber apresentado aos estudantes não é o saber sábio original, “como também não é uma mera simplificação deste.” (PINHO ALVES; PINHEIRO, 2012, p. 166)

Contudo, para que o saber sábio chegue aos estudantes, este deve passar por dois processos de TD. O primeiro se dá no âmbito dos livros didáticos, onde os autores dos livros, seguindo determinadas regras, transformam o saber sábio para um novo nível de organização e hierarquia, gerando um novo saber chamado de “**saber a ensinar**”. A segunda TD ocorre por meio do professor, quando, levando-se em conta seus objetivos pedagógicos e seguindo outras regras próprias, ele faz

adaptações do conteúdo do livro texto para sua aula transformando o saber a ensinar em “**saber ensinado**”. (PINHO ALVES, 2000)

Ainda segundo Pinho Alves (2000) e Pinho Alves e Pinheiro (2012), diferentes nichos ou grupos sociais proporcionam, organizam e compõem os três níveis de saber: sábio, a ensinar e ensinado. Ao mesmo tempo, estes grupos estão conectados entre si constituindo um ambiente mais vasto que é chamado de **noosfera**:

“A noosfera envolve pessoas, categorias de pessoas ou instituições que interferem, influenciam ou contribuem no sistema educacional. Os grupos sociais de cada patamar estabelecem um nicho ou esfera de influência e interesses que, de acordo com regras próprias, decidem sobre o seu nível de saber. Algumas dessas esferas apresentam maior poder de influência que as demais quando há confrontos no conjunto da noosfera.” (PINHO ALVES; PINHEIRO, 2012, p. 167)

Figura 1 Noosfera



Desde a construção do saber sábio, quando os cientistas divulgam apenas os processos e resultados que são convenientes e significantes para a comunidade científica, este saber passa por um processo de despersonalização, uma vez que o contexto da descoberta se difere do contexto da justificação (REICHENBACH, 1961 *apud* PINHO ALVES; PINHEIRO, 2012).

Ainda é inevitável que até que o saber sábio chegue ao estudante no patamar de saber a ensinar, certos conteúdos sofram uma descontextualização

devido à valorização da experiência e da observação no processo de aquisição do conhecimento. Nesse processo de descontextualização, o saber sábio, muitas vezes, passa por uma inversão temporal dos acontecimentos, além de uma ocultação de determinados elementos deste saber. Percebemos esse efeito de dogmatização (que caracteriza a descontextualização) tanto em livros texto destinados a futuros cientistas quanto naqueles dedicados ao ensino médio, porém de maneira mais marcante neste último por sofrer influência de diversos fatores como: o poder político, o currículo, o vestibular, os projetos político-pedagógicos e o momento histórico. (PINHO ALVES; PINHEIRO, 2012)

Como uma alternativa, as **práticas sociais de referência**

“(...) estão bastante próximas do professor, o que lhe autoriza e possibilita realizar uma transposição didática do saber a ensinar para o saber ensinado mais adequado, como também possibilita resgatar a contextualização histórica da produção do saber sábio, diminuindo o excesso do artificialismo e neutralidade do saber a ensinar.” (PINHO ALVES, 2000, p. 177)

Logo, as práticas sociais de referência permitem que o professor ajuste os saberes a ensinar e ensinado ao contexto sócio-cultural-histórico do aluno, favorecendo seus objetivos buscando meios que se encaixem melhor aos mesmos.

Pinho Alves e Pinheiro (2012) destacam a importância da definição de qual imagem de Ciência e atividade científica queremos transmitir aos nossos alunos no uso das práticas sociais de referência, uma vez que com essa definição podemos corrigir ou reforçar o processo de dogmatização, levando-se em conta o caráter linear, contínuo e historicamente desconexo da Ciência apresentado por boa parte dos livros didáticos.

Para tanto, levando-se em conta o que foi apresentado, para a realização da TD é necessário observar as seguintes diretrizes norteadoras estabelecidas por Chevallard e Joshua (1982) *apud* Pinho Alves (2000):

“Regra 1 – *Modernizar o saber escolar*. (...) pois o desenvolvimento e o crescimento da produção científica são intensos (...).

Regra 2 – *Atualizar o saber a ensinar*: (...) abrindo espaço para introdução do novo, justificando a modernização dos currículos.

Regra 3 – *Articular saber velho com saber novo*: (...) esclarecendo melhor o conteúdo antigo, e o antigo hipotecando validade ao novo.

Regra 4 – *Transformar um saber em exercícios e problemas*: (...) esta talvez seja a regra mais importante, pois está diretamente relacionada com o processo de avaliação e controle da aprendizagem.

Regra 5 – *Tornar um conceito mais compreensível*: (...) sofrendo uma transformação para que seu aprendizado seja facilitado no contexto escolar.” (PINHO ALVES, 2000, p. 178)

Pinho Alves e Pinheiro (2012) ainda apresentam uma tabela, organizada por Perret-Clermont, que resume os atores principais dos três saberes, bem como os grupos sociais de referência, o foco das atividades, as atividades cognitivas e as fontes de “pressão” nas atividades dos atores:

Tabela 1 Transposição Didática

Atores principais	<i>Saber sábio</i> Pesquisadores	<i>Saber a ensinar</i> Autores de livros	<i>Saber ensinado</i> Professores
Grupos sociais de referência	<p>Colegas atuais e antigos, com suas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • “escolas”, • correntes de pensamentos, • publicações. 	<ul style="list-style-type: none"> • Autores. • Especialistas da disciplina. • Professores. • Opinião pública. 	<ul style="list-style-type: none"> • Alunos. • Estabelecimentos escolares e seu meio social. • Pais dos alunos. • Supervisores escolares.
Foco de suas atividades (a que se dedicam)	<ul style="list-style-type: none"> • Manter o debate científico em um dado ramo do saber. • Avanço do conhecimento da área do saber (disciplina). 	<ul style="list-style-type: none"> • Colocar à disposição elementos recentes do saber, de documentos originais, etc. • Transformação do saber em proposições de atividades de aula, exercícios, problemas... 	<ul style="list-style-type: none"> • Transmitir os conceitos básicos. • Reconhecer as dificuldades do “trabalho de ensinar”. • Manter a comunicação didática. • Escolher e organizar a sequência do saber.
Atividade cognitiva dos atores (produção científica)	<ul style="list-style-type: none"> • Trabalhar no aprofundamento de conhecimentos. • Resolver problemas e provar (demonstrar) as soluções a seus pares. 	<ul style="list-style-type: none"> • Integrar o conhecimento novo ao saber existente. • Simplificar o saber e procurar a melhor maneira de expô-lo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Selecionar para cada conteúdo os exercícios para fazer. • Decidir sobre a melhor forma de avaliar (não muito fácil, não muito difícil; interessante mas séria).

<p>Fonte de “pressão” em suas atividades</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Competição científica e na carreira. • Necessidade de publicar e fazer comunicações em congressos. • Justificar o horário (período) dedicado a pesquisa. 	<ul style="list-style-type: none"> • Competição e obrigações editoriais. • Currículos, conteúdos programáticos, programas escolares. • Controle mútuo entre os autores. 	<ul style="list-style-type: none"> • Avaliações posteriores: de nível para nível escolar, vestibular, etc. • Obrigações com o tempo didático. • Adequação às normas escolares estabelecidas (julgamento da Direção, dos pais dos alunos, da supervisão.)
----------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Fonte: PINHO ALVES; PINHEIRO, 2012, p. 173.

No próximo tópico trataremos dos livros didáticos avaliados e aprovados pelo Programa Nacional do Livro Didático (PNLD) do EM mais recente (2015), uma vez que para que ocorra a inserção de temas de FMC no EM (tomando como referência, principalmente, as regras da TD) é necessária a presença destes conteúdos nos livros didáticos (saber a ensinar) utilizados pelos professores em sala de aula, dando-lhes um suporte teórico e contribuindo para a dinâmica de suas atividades em classe (saber ensinado).

3. AS OBRAS DIDÁTICAS DE FÍSICA PARA O PNLD 2015 / ENSINO MÉDIO

As obras aprovadas pelo PNLD 2015 foram avaliadas em 2013, tendo sido concluída a avaliação em 2014, culminando em um guia para apreciação dos professores e das escolas que são responsáveis pela escolha dos livros didáticos adotados. (BRASIL, 2014a)

Podemos destacar, dentre os critérios de avaliação eliminatórios particulares para o componente curricular Física, se a obra:

“Utilizou o vocabulário científico como recurso para a aprendizagem das teorias e explicações físicas, sem privilegiar a memorização de termos técnicos e definições, não se pautando, portanto, somente por questões de cópia mecânica ou memorização;

Introduziu assunto ou tópico conceitual, levando em consideração as concepções alternativas que alunos típicos de educação básica costumam manifestar (...), bem como as suas experiências socioculturais;

Propôs discussões sobre as relações entre ciência, tecnologia, sociedade e ambiente, promovendo a formação de um cidadão capaz de apreciar e de posicionar-se criticamente diante das contribuições e dos impactos da ciência e da tecnologia sobre a vida social e individual;

Utilizou abordagens do processo de construção das teorias físicas, sinalizando modelos de evolução dessas teorias que estivessem em consonância com vertentes epistemológicas contemporâneas;

Utilizou ilustrações de forma adequada, tendo em vista sua real necessidade e sua referência explícita e complementar ao texto verbal;

Tratou de forma adequada e pertinente (...) tópicos usualmente classificados como de Física Moderna e Contemporânea e que sejam considerados importantes ou mesmo imprescindíveis para o exercício da cidadania ativa, crítica e transformadora, bem como para a inserção ativa, crítica e transformadora no mundo do trabalho;

Apresentou os conteúdos conceituais da Física sempre acompanhados, ou partindo de sua necessária contextualização, seja em relação aos seus contextos sócio-cultural-histórico-econômicos de produção, seja em relação a contextos cotidianos em que suas utilizações se fizessem pertinentes, evitando a utilização de contextualizações artificiais para esses conteúdos.” (BRASIL, 2014b, p. 16-7)

Para a disciplina de Física, foram avaliadas 20 obras das quais 14 foram aprovadas e estão listadas abaixo (todas as coleções possuem três volumes, os quais são trabalhados nos três anos do EM):

1. GASPAR, Alberto. **Compreendendo a Física**. 2. ed. São Paulo: Ática, 2013.
2. ARTUSO, Alysson Ramos; WRUBLEWSKI, Marlor. **Física**. 1. ed. Curitiba: Positivo, 2013.
3. PIETROCOLA, Maurício. et al. **Física – conceitos e contextos: pessoal, social, histórico**. 1. ed. São Paulo: FTD, 2013.
4. GUIMARÃES, José Osvaldo de Souza; PIQUEIRA, José Roberto Castilho; CARRON, Wilson. **Física**. 1. ed. São Paulo: Ática, 2013.
5. BARRETO, Benigno; XAVIER, Claudio. **Física aula por aula**. 2. ed. São Paulo: FTD, 2013.
6. MÁXIMO, Antônio; ALVARENGA, Beatriz. **Física: contexto & aplicações**. 1. ed. São Paulo: Scipione, 2013.
7. BONJORNO. et al. **Física**. 2. ed. São Paulo: FTD, 2013.
8. FILHO, Aurélio Gonçalves; TOSCANO, Carlos. **Física: interação e tecnologia**. 1. ed. São Paulo: LeYa, 2013.
9. YAMAMOTO, Kazuhito; FUKU, Luiz Felipe. **Física para o ensino médio**. 3. ed. São Paulo: Saraiva, 2013.
10. DOCA, Ricardo Helou; BISCUOLA, Gualter José; VILLAS BÔAS, Newton. **Física**. 2. ed. São Paulo: Saraiva, 2013.

11. KANTOR, Carlos Aparecido. et al. **Quanta Física**. 2. ed. São Paulo: Pearson, 2013.

12. STEFANOVITS, Angelo. **Ser Protagonista Física**. 2. ed. São Paulo: SM, 2013.

13. MARTINI, Gloria. et al. **Conexões com a Física**. 2. ed. *Cidade*: Moderna, 2013.

14. TORRES, Carlos Magno A. et al. **Física Ciência e Tecnologia**. 3. ed. *Cidade*: Moderna, 2013.

As obras 1, 3, 4, 6, 7, 12 e 13 apresentam apenas uma unidade dedicada à abordagem de temas da FMC. Em todas essas percebemos que os tópicos relacionados à FMC são tratados apenas na última unidade do último volume da coleção, o que pode dar a entender que estes conteúdos apenas serão trabalhados se houver tempo restante no final do EM. Em contrapartida, as obras 8 e 11 tratam de temas da FMC em todos os volumes. Também as obras 9, 10 e 14, além de conterem uma unidade destinada à FMC, apresentam alguns destes conceitos nos demais volumes seja em boxes informativos ou caixas de texto, por exemplo. A obra 5 apresenta uma abordagem histórica na primeira unidade do terceiro volume a qual chega a Física Moderna, além de mais uma unidade no fim do mesmo volume voltada para a FMC. Já a obra 2 peca pelo escasso enfoque de conceitos relacionados à FMC que são tratados apenas na unidade de Eletromagnetismo.

Já com o olhar voltado para a FPE, apenas as obras 3, 4, 7, 9, 11 e 14 trazem conteúdos relacionados a estrutura da matéria, a física nuclear e/ou FPE. Assim, fica evidente a necessidade de um material de apoio que sirva, não só de complemento ao livro didático (material paradidático), como também de guia para estudos e para as aulas, sendo direcionado tanto ao aluno quanto ao professor que busca além de um texto complementar para suas atividades pedagógicas, um texto que direcione seus estudos acerca de conteúdos que não fizeram parte da sua formação acadêmica.

Trataremos, no tópico seguinte, o processo envolvido na criação e aplicação, em turmas de EM, de um material paradidático sobre a FPE e o modelo padrão.

4. PROCEDIMENTOS DA PESQUISA E APLICAÇÃO

A pesquisa teve início com a escolha e delimitação do tema relacionado à Física Moderna e Contemporânea que seria trabalhado. Seguindo o que foi apresentado anteriormente, o tema elegido foi o Modelo Padrão da Física de Partículas Elementares¹. Detectada a pouca abordagem desse conteúdo nos livros didáticos do Ensino Médio (incluindo o livro texto adotado pelas turmas nas quais a pesquisa foi desenvolvida – obra 6 aprovada pelo PNLD 2015 / Ensino Médio – que não trabalha o assunto), optamos pela criação de um material paradidático (produto educacional – Apêndice A) sobre este tema como alternativa e contribuição para a inserção de tópicos de FMC no EM.

No processo de construção do material paradidático, iniciamos com uma busca de conteúdo teórico, fatos históricos, imagens, notícias, atividades e exercícios em artigos científicos, livros e sites de divulgação científica, livros didáticos, entre outras fontes.

O material paradidático foi composto por:

- Introdução, na qual abordamos as aplicações da FPE² em diversos ramos da ciência e da tecnologia dos quais podemos destacar: nanociência e nanotecnologia, biotecnologia, medicina e computação;
- Revisão da história do conceito de átomo³ com perguntas provocativas respondidas pelos alunos no próprio material paradidático em espaços destinados a este fim, dispondo também de atividades de leitura;
- Seções acerca da evolução histórica dos conceitos, ideias, experimentos e prêmios Nobel relacionados aos *léptons*, aos *quarks* e às *partículas mediadoras*. A apresentação deste desenvolvimento histórico serviu

¹ A escolha de um tema relacionado a Física Moderna e Contemporânea está diretamente ligada à primeira regra da Transposição Didática (modernizar o saber escolar).

² Ao evidenciar a aplicabilidade da Física das Partículas Elementares estamos contemplando também a segunda regra da Transposição Didática (atualizar o saber a ensinar) justificando a modernização do currículo.

³ Uma vez revisado o conceito de átomo (conceito já estudado tanto na disciplina de Física quanto na de Química), atendemos a terceira regra da Transposição Didática (articular saber velho com saber novo).

de alicerce ainda para um aprofundamento teórico do conteúdo⁴, trabalhando, entre outros, os conceitos de decaimento, antipartículas, números quânticos, simetria, efeito fotoelétrico;

- Organização das partículas estudadas e o Modelo Padrão evidenciando as perguntas ainda não respondidas por este modelo, o que destaca o processo de construção da Ciência;
- Seção de atividades e exercícios⁵.

O material paradidático visou a aplicação em turmas do 3º ano do EM, já que consideramos que o conceito de átomo já tenha sido estudado em Física e/ou Química. Portanto, o material foi aplicado em duas turmas de 3º ano dos cursos técnicos integrados ao EM, em Telecomunicações (Turma 1) e Eletrotécnica (Turma 2), do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás (IFG), Campus Goiânia. As turmas foram selecionadas pelo coordenador de Física do IFG em consenso com o professor responsável pelas mesmas (Professor P⁶), o qual acompanhou toda a aplicação que foi conduzida pelo mestrando.

O material foi impresso colorido em forma de apostila, sendo fornecida uma apostila para cada aluno. Ao final de cada encontro as apostilas eram recolhidas e devolvidas no encontro seguinte. Ao final da aplicação, os estudantes puderam ficar com suas apostilas para que pudessem reler, estudar novamente o conteúdo, buscar as referências que foram utilizadas para a escrita do material, se assim fosse de interesse.

Na referida instituição, as aulas de Física para o EM ocorrem em um encontro semanal de uma hora e meia (90 minutos). A aplicação foi desenvolvida por meio de aulas expositivas dialogadas utilizando slides (Apêndice B) e ocorreu no período correspondente ao segundo bimestre letivo de 2016, seguindo o cronograma a seguir (Tabela 2).

⁴ Buscando facilitar o aprendizado no contexto escolar, atendendo assim à quinta regra da Transposição Didática (tornar um conceito mais compreensível).

⁵ Remete-nos à quarta regra da Transposição Didática (transformar um saber em exercícios e problemas).

⁶ O professor responsável pelas turmas foi assim chamado para manter o sigilo de sua identidade.

Tabela 2 Cronograma de aplicação do material paradidático

	Turma 1	Turma 2	Atividades
Aula 1	25/07	21/07	Introdução, conceito e constituição do átomo.
Aula 2	01/08	28/07	Os léptons e os quarks.
Aula 3	08/08	04/08	As partículas mediadoras e o modelo padrão.
Aula 4	15/08	18/08	Exercícios e aplicação do questionário.

Fonte: O autor, 2016.

Conforme já apresentado na Tabela 2, ao final do desenvolvimento das atividades foi aplicado um questionário em escala Likert (Apêndice C) respondido pelos alunos, visando avaliar a qualidade e a aplicabilidade do material paradidático. Além do questionário, foi solicitado ao professor P que escrevesse um relatório acerca de suas impressões sobre o material (Apêndice D), podendo captar também a visão do professor.

Abordaremos os aspectos observados nos questionários respondidos pelos estudantes e no relatório apresentado pelo professor P no tópico seguinte.

5. ANÁLISE DOS DADOS

O questionário aplicado (Apêndice C) foi elaborado no formato da escala tipo Likert. Esta escala permite “verificar o nível de concordância do sujeito com uma série de afirmações que expressem algo favorável ou desfavorável em relação a um objeto psicológico” (LIKERT, 1976 *apud* SANCHES; MEIRELES; SORDI, 2011, p. 2).

Foram estabelecidos dez itens de Likert que avaliam o fator “qualidade e aplicabilidade do material paradidático”, os quais podem ser divididos em duas categorias:

- *Categoria 1* – Relevância sócio-histórica do conteúdo (Física de partículas elementares e o modelo padrão):

Item 1 – O material estimulou sua curiosidade para o assunto;

Item 4 – O material explora a interdisciplinaridade;

Item 5 – O material apresenta dados históricos mostrando que as teorias científicas estão em constante desenvolvimento;

Item 7 – O material fez conexão do assunto com a tecnologia atual;

Item 9 – O material tornou o conteúdo pertinente e socialmente relevante.

- *Categoria 2* – Organização e potencial de ensino-aprendizagem do material paradidático:

Item 1 – O material estimulou sua curiosidade para o assunto;

Item 2 – O material possui linguagem simples e de fácil entendimento;

Item 3 – O material possui imagens e ilustrações didáticas;

Item 6 – O material proporcionou a boa compreensão do assunto;

Item 8 – O material tornou o conteúdo acessível;

Item 10 – As atividades propostas no material incentivam a troca de ideias e o trabalho coletivo entre os alunos.

Os itens de Likert descritos acima foram elaborados tendo por base, principalmente, os critérios de avaliação eliminatórios adotados pelo PNLD 2015 / Ensino Médio para o componente curricular Física, a quinta regra da TD e um outro critério de avaliação eliminatório comum a todas as áreas abrangidas pelo PNLD 2015 que estabelece o “respeito à perspectiva interdisciplinar na apresentação e abordagem dos conteúdos”. (BRASIL, 2014b, p. 11)

As categorias foram criadas para facilitar a análise dos itens de Likert de tal forma que na primeira categoria agrupamos os itens que buscam a opinião dos alunos sobre a importância da FPE no contexto social e histórico e na segunda categoria estão os itens de cunho pedagógico que varrem aspectos como linguagem, atividades, motivação e compreensão.

Em particular, incluímos o item 1 nas duas categorias pois entendemos que se determinado assunto desperta a curiosidade do aluno é porque ele enxergou certa relevância sócio-histórica neste assunto, gerando assim um potencial de ensino-aprendizagem.

As tabelas 3 e 4 apresentam a análise do fator para as turmas 1 (Telecomunicações) e 2 (Eletrotécnica), respectivamente, onde o diferencial semântico usado para o fator foi: “discordo fortemente” [1], “discordo” [2], “indeciso” [3], “concordo” [4] e “concordo fortemente” [5].

Tabela 3 Turma 1 (Telecomunicações)

Proposições	Diferencial Semântico					QT	Mediana observada	Dp	Cp	GCp	Interpretação do GCp
	1	2	3	4	5						
1	0	1	6	8	1	16	4	4,0	12,0	75,0	Concordância moderada
2	0	0	3	6	7	16	4	1,5	14,5	90,6	Forte concordância
3	0	0	1	5	10	16	5	0,5	15,5	96,9	Forte concordância
4	0	0	5	9	2	16	4	2,5	13,5	84,4	Concordância substancial
5	0	0	0	4	12	16	5	0,0	16,0	100,0	Forte concordância
6	0	0	1	6	9	16	5	0,5	15,5	96,9	Forte concordância
7	0	1	2	8	5	16	4	2,0	14,0	87,5	Concordância substancial
8	0	0	0	8	8	16	4	0,0	16,0	100,0	Forte concordância
9	1	0	5	7	3	16	4	3,5	12,5	78,1	Concordância moderada
10	1	2	3	4	6	16	4	4,5	11,5	71,9	Concordância moderada
	19,0			141,0		160		0,119	0,881		
	Df			Cf				μ2	μ1		

Legenda: Proposições: lista de dez itens de Likert para avaliar a qualidade e aplicabilidade do material paradidático. Colunas 1, 2, 3, 4, 5: quantidade de respondentes que optaram pelas colunas do diferencial semântico. QT = quantidade total de respondentes. Mediana = coluna dentro do diferencial semântico na qual se encontra o respondente 8 (=16/2). Dp = discordantes da proposição: quantidade de respondentes discordantes = $([1] + [2] + 0,5 \times [3])$. Cp = concordantes da proposição: quantidade de respondentes concordantes = $(0,5 \times [3] + [4] + [5])$. GCp = grau de concordância da proposição calculado de acordo com a equação 3. Df = discordantes do fator. Cf = concordantes do fator. μ_1 = crença de que as proposições como um todo sejam verdadeiras (141,0/160). μ_2 = descrença de que as proposições como um todo sejam verdadeiras (19,0/160). Fonte: O autor, 2016.

Tabela 4 Turma 2 (Eletrotécnica)

Proposições	Diferencial Semântico					QT	Mediana observada	Dp	Cp	GCp	Interpretação do GCp
	1	2	3	4	5						
1	0	1	2	12	4	19	4	2,0	17,0	89,5	Concordância substancial
2	0	0	6	7	6	19	4	3,0	16,0	84,2	Concordância substancial
3	0	0	0	9	10	19	5	0,0	19,0	100,0	Forte concordância
4	0	0	9	3	7	19	4	4,5	14,5	76,3	Concordância moderada
5	0	0	0	5	14	19	5	0,0	19,0	100,0	Forte concordância
6	0	0	4	9	6	19	4	2,0	17,0	89,5	Concordância substancial
7	0	1	5	10	3	19	4	3,5	15,5	81,6	Concordância substancial
8	0	1	1	11	6	19	4	1,5	17,5	92,1	Forte concordância
9	0	1	7	9	2	19	4	4,5	14,5	76,3	Concordância moderada
10	0	0	1	8	10	19	5	0,5	18,5	97,4	Forte concordância
	21,5			168,5		190		0,113	0,887		
	Df			Cf				μ2	μ1		

Legenda: Proposições: lista de dez itens de Likert para avaliar a qualidade e aplicabilidade do material paradidático. Colunas 1, 2, 3, 4, 5: quantidade de respondentes que optaram pelas colunas do diferencial semântico. QT = quantidade total de respondentes. Mediana = coluna dentro do diferencial semântico na qual se encontra o respondente 9,5 (=19/2). Dp = discordantes da proposição: quantidade de respondentes discordantes = $([1] + [2] + 0,5 \times [3])$. Cp = concordantes da proposição: quantidade de respondentes concordantes = $(0,5 \times [3] + [4] + [5])$. GCp = grau de concordância da proposição calculado de acordo com a equação 3. Df = discordantes do fator. Cf = concordantes do fator. μ_1 = crença de que as proposições como um todo sejam verdadeiras (168,5/190). μ_2 = descrença de que as proposições como um todo sejam verdadeiras (21,5/190). Fonte: O autor, 2016.

Os respondentes discordantes (Dp) e os concordantes (Cp) de cada proposição (ou item de Likert) são calculados segundo a equação 1, onde [1] é a quantidade de respondentes que optaram pela coluna “discordo fortemente”, [2] é a quantidade de respondentes que optaram pela coluna “discordo”, [3] é a quantidade de respondentes que optaram pela coluna “indeciso”, [4] é a quantidade de respondentes que optaram pela coluna “concordo”, assim como [5] é a quantidade de respondentes que optaram pela coluna “concordo fortemente”.

$$Dp = [1] + [2] + \frac{[3]}{2} \quad ; \quad Cp = \frac{[3]}{2} + [4] + [5]$$

Equação 1 Cálculo das quantidades de respondentes discordantes e concordantes de cada proposição, segundo MACNAUGHTON, 1996 *apud* SANCHES; MEIRELES; SORDI, 2011, p. 6.

Os respondentes discordantes (Df) e concordantes (Cf) do fator “qualidade e aplicabilidade do material paradidático” (que inclui as dez proposições) são dados pela equação 2 de mesma notação da equação 1.

$$Df = \sum [1] + \sum [2] + \frac{1}{2} \sum [3] \quad ; \quad Cf = \frac{1}{2} \sum [3] + \sum [4] + \sum [5]$$

Equação 2 Cálculo das quantidades de respondentes discordantes e concordantes do fator, segundo MACNAUGHTON, 1996 *apud* SANCHES; MEIRELES; SORDI, 2011, p. 6.

Podemos ainda calcular o grau de concordância de cada proposição (GCp) de acordo com a equação 3. Os graus de concordância de cada proposição serão convertidos em classificações de concordância ou discordância seguindo como referência o quadro 1 (interpretação do GCp).

$$GCp = 100 - \left(\frac{100}{\frac{Cp}{Dp} + 1} \right) = 100 \times \left(\frac{Cp}{Cp + Dp} \right)$$

Equação 3 Cálculo do grau de concordância de cada proposição, segundo WILDER JR., 1981 *apud* SANCHES; MEIRELES; SORDI, 2011, p. 6, adaptado.

Quadro 1 Interpretação do GCp

Valor do GCp	Interpretação do GCp
[90,00; 100,0]	Forte concordância
[80,00; 90,00[Concordância substancial
[70,00; 80,00[Concordância moderada
[60,00; 70,00[Concordância baixa
[50,00; 60,00[Concordância desprezível
[40,00; 50,00[Discordância desprezível
[30,00; 40,00[Discordância baixa
[20,00; 30,00[Discordância moderada
[10,00; 20,00[Discordância substancial
[0,00; 10,00[Forte discordância

Fonte: DAVIS, 1976, p. 70 *apud* SANCHES; MEIRELES; SORDI, 2011, p. 6.

Relevância socio-histórica do conteúdo

No item 1 em particular houve uma discrepância no GCp de cada turma – 75,0 na turma 1 e 89,5 na turma 2 – o que indica que os alunos da turma 2 tiveram sua curiosidade sobre o assunto mais estimulada que os alunos da turma 1, na qual seis, dentre os dezesseis respondentes, optaram pela coluna [3] (indeciso). Contudo, o GCp da turma 1 ainda se enquadra na classificação de concordância moderada, enquanto o GCp da turma 2 foi classificado em concordância substancial.

Nos demais itens desta categoria observamos resultados mais semelhantes de GCp para as duas turmas. Destacamos então que os alunos consideraram que o material: explora a interdisciplinaridade (item 4), apresenta dados históricos mostrando que as teorias científicas estão em constante desenvolvimento (item 5), fez conexão do assunto com a tecnologia atual (item 7) e tornou o conteúdo pertinente e socialmente relevante (item 9), todos exibindo graus de concordância dentre forte concordância, concordância substancial e concordância moderada.

Podemos ainda dar destaque ao item 5 no qual obtivemos GCp máximo nas duas turmas (100,0), evidenciando que os alunos conseguiram perceber o processo de construção das teorias científicas num contexto histórico.

Particularmente, destacamos os alunos A⁷ da turma 1 e I da turma 2, os quais optaram pelas colunas [2] e [1] para os itens 1 e 9, ou seja, estes não julgaram o conteúdo relevante e pertinente, logo, não sentiram sua curiosidade estimulada. Para estes casos devem ser pensadas atividades e/ou avaliações diferentes para que os mesmos possam se envolver com o conteúdo e o trabalho desenvolvido.

O termo “interdisciplinaridade”, que consta no item 4, gerou dúvidas sobre seu significado em ambas as turmas, necessitando de um esclarecimento por parte do mestrando. Logo, concluímos que este termo deve ser substituído por termo ou expressão sinônimos, uma vez que não é usual do vocabulário dos alunos, o que pode ter refletido em um resultado não fiel ao objetivo do item.

Organização e potencial de ensino-aprendizagem do material paradidático

Resultados semelhantes entre as duas turmas foram obtidos para os itens 2, 3, 6 e 8. Assim, os alunos julgaram que o material: possui linguagem simples e de fácil entendimento, possui imagens e ilustrações didáticas, proporcionou a boa compreensão do assunto e tornou o conteúdo acessível. Todos estes itens apresentaram graus de concordância entre forte e substancial.

Vale ressaltar os resultados alcançados no item 3, onde a mediana observada está na coluna [5] (concordo fortemente) nas duas turmas e o GCp foi máximo em uma delas (turma 2), reforçando que o material paradidático foi bem ilustrado exibindo bom aspecto visual.

Já o item 10 apresentou uma distância ainda maior entre os GCp das duas turmas – 71,9 na turma 1 e 97,4 na turma 2 – em comparação com o item 1. Podemos concluir que os alunos da turma 1 (em especial os alunos A, J, e K, que optaram pelas colunas [2], [2] e [1], respectivamente) sentiram a necessidade de uma interação maior entre eles, talvez por conseguirem trabalhar e aprender melhor

⁷ Para efeitos de organização, os alunos foram nomeados por letras, uma vez que sua identificação no questionário era opcional.

dessa maneira. Ainda assim, alcançamos uma concordância moderada, para o item 10, na turma 1, enquanto na turma 2 o resultado foi uma forte concordância.

Sugestões dos alunos

Além dos itens de Likert, o questionário deu espaço para que os alunos dessem suas sugestões para melhorar a qualidade do material e das aulas (item 11 – Apêndice C). Dentre as respostas, separamos:

“Viajar para o LHC”. (Aluno A da turma 2)

“Visita técnica para presenciar os processos analisados cientificamente e explicados em sala de aula”. (Aluno R da turma 2)

Nas respostas acima, percebemos algo particular da instituição da qual os alunos estão habituados a visitas técnicas organizadas pelos professores das diferentes disciplinas.

“Poderia ter tido animações durante as apresentações dos slides (as partículas em movimento e suas interações)”. (Aluno N da turma 1)

“Vídeos de experimentos, entrevistas ou certas coisas que são semelhantes”. (Aluno R da turma 2)

Aqui percebemos a necessidade de alguns alunos que possuem maior facilidade de aprendizagem com a utilização de recursos visuais.

Quanto à abordagem histórica, avultamos duas falas, uma quanto ao tempo dedicado aos acontecimentos históricos e outra quanto à necessidade da explicação do professor para o entendimento de determinados termos.

“Os fatos históricos foram muito breves, fazendo com que não despertasse um maior interesse”. (Aluno E da turma 2)

“É difícil entender a parte histórica sem auxílio do professor, por causa dos termos ex.: ‘violação da simetria’, ‘méson’, ‘úpsilon’, ‘káons’, etc.”. (Aluno M da turma 1)

Para este último caso podemos pensar numa alternativa para complementação do material paradidático, como um glossário de termos, por exemplo.

Observamos também atitude típica de alguns alunos do 3º ano do EM que estão focados em estudar objetivando os exames de seleção e vestibulares.

“Realizar mais exercícios durante a explicação, não apenas no final”.

(Aluno D da turma 2)

Por fim, visando o item 7 do questionário que trata da conexão do assunto com a tecnologia atual, o aluno B da turma 2 que assinalou a coluna [2] para este item, sugere

“Mais links com as tecnologias atuais, com suas perspectivas futuras. Assim pode-se fortalecer o entendimento do que foi proposto”.

A visão do professor

Conforme foi mencionado acima, o professor P, ao final das atividades, apresentou um relatório sobre suas impressões acerca do material paradidático. Destacaremos alguns aspectos importantes que constaram neste relatório.

O professor P inicia ressaltando a importância da abordagem de temas da Física Moderna devido ao fato que diversos equipamentos e procedimentos do cotidiano dos estudantes são explicados por estes conceitos e também não se pode desprezar mais de um século de ciência.

Percebemos que, talvez mesmo intuitivamente, o professor P enxerga a necessidade de se adaptar conceitos científicos para o nível escolar (transposição didática) e avalia que este trabalho foi realizado no referido material:

“Analisando o material pude perceber um excelente trabalho com relação a adequação dos conceitos próprios da área para o nível de ensino ao qual ele deve ser aplicado”. (Professor P)

Ele ainda aponta como pontos positivos: a presença de imagens e fotos coloridas e com detalhes que tornam a leitura mais agradável, as citações do contexto histórico desde os gregos pré-socráticos até as ondas gravitacionais e a presença de atividades guiadas e de fixação. Aqui vemos que o professor P considera relevantes aspectos já apresentados anteriormente, os quais são: a utilização de ilustrações de maneira apropriada e de abordagens do processo de construção das teorias físicas e a quarta regra da TD.

Já em uma análise mais detalhada das partes do material, o professor P sugere que na introdução sejam definidos a FPE, os aceleradores de partículas e se situe o aluno sobre o CERN, além de substituir alguns termos muito científicos por outros mais acessíveis aos alunos, atentando para a utilização do vocabulário científico como meio para a aprendizagem, sem privilegiar a memorização de termos técnicos e definições, aspecto também já antes citado.

Quanto à revisão da história do conceito de átomo e, mais a frente, à organização das partículas estudadas e o Modelo Padrão, o professor P considera que *“possui atividades bem elaboradas e um estudo bem guiado de fácil utilização em sala de aula e até mesmo o padrão que elas aparecem auxilia a aplicação”* (Professor P). Contudo, ele recomenda que a pergunta seja deixada em uma página isolada seguida de uma página em branco para que os textos posteriores não interfiram e/ou influenciem nas respostas dos alunos.

Em relação às seções acerca da evolução histórica dos conceitos, ideias, experimentos e prêmios Nobel relacionados aos *léptons*, aos *quarks* e às *partículas mediadoras*, o professor P elogia a divisão didática feita e, novamente, a utilização de imagens. Porém, o mesmo ressalta que é fácil se perder entre tantas novas partículas, nomes, símbolos, modelos, aceleradores e prêmios e ainda assim avalia não ser capaz de sugerir outra maneira mais eficiente de se trabalhar que não seja a ordem cronológica, como foi feito. Ele apenas propõe que seja dado destaque aos tópicos como descobertas de novas partículas.

O professor P ainda pondera que o conteúdo é finalizado de maneira adequada com as tabelas informativas sobre os férmions e os bósons (páginas 21 e 22 do material paradidático – Apêndice A).

Na seção de atividades e exercícios, ele afirma *“(...) perceber o cuidado em escolher os exercícios para que não sejam muito triviais e, ao mesmo tempo, não sejam de alto nível acadêmico”* (Professor P), o que nos remete mais uma vez à quarta regra da TD.

Por fim, como última proposta do professor P em seu relatório, destacamos a possibilidade de inclusão dos teoremas de conservação (carga, energia, etc.) no material paradidático.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conforme apresentado, os resultados obtidos foram satisfatórios evidenciando a relevância sócio-histórica da Física de Partículas Elementares, a organização e o potencial de ensino-aprendizagem do material paradidático. Assim, o material paradidático se habilita como alternativa para suprir a carência, não só da Física de Partículas, mas de toda a Física Moderna e Contemporânea nos livros textos utilizados no Ensino Médio, pois, ressaltamos novamente, não se pode ignorar mais de um século de ciência, principalmente pela sua grande aplicação em nosso dia-a-dia, o que pode ser aproveitado como ponto de partida para levarmos estes conceitos para a sala de aula.

O espaço do questionário destinado a sugestões dos alunos e o relatório apresentado pelo professor P foram muito enriquecedores, apontando aspectos que podem otimizar ainda mais o material paradidático. Como prosseguimento da pesquisa, podemos implementar essas sugestões e realizar novas aplicações do material, buscando aperfeiçoar o mesmo.

A princípio, o material foi inteiramente pensado para os estudantes, podendo servir também como guia para o professor. Portanto, podemos pensar também em um “manual do professor” para este material, para que ele possa ser aplicado também por outros professores e servir de material de estudo e de referência para aqueles que não tiveram este conteúdo em sua formação acadêmica.

A abordagem histórica dos conceitos nos possibilitou tratar de aspectos teóricos, como já foi destacado anteriormente. Apesar deste tratamento não ter sido o foco deste trabalho, posteriormente podemos pensar no aprofundamento dos conteúdos teóricos, atendendo também a uma das sugestões do professor P.

A inclusão de atividades complementares e avaliativas como, por exemplo, a construção de uma linha do tempo com a evolução das ideias apresentadas, também pode ser interessante, possibilitando um envolvimento ainda maior dos alunos durante a exposição do conteúdo e permitindo o trabalho coletivo.

Como podemos ver, as possibilidades de prosseguimento da pesquisa são grandes e ainda há muito trabalho a se fazer. A criação deste material foi um grande passo para esta pesquisa em particular, mas foi um pequeno passo para a longa caminhada da linha de pesquisa que se dedica à introdução da Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio, por isso é impensável que paremos por aqui.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, Marcos Fernando Soares; ALANIS, Denise; COSTA, Luciano Gonsalves. Um mapa conceitual sobre a evolução do conceito do átomo: uma introdução à Física de partículas elementares para o Ensino Médio. In: Simpósio Nacional de Ensino de Ciência e Tecnologia, 2., 2010, Ponta Grossa. **Anais...** Ponta Grossa: UTFPR, 2010.
- BRASIL. Ministério da Educação. **Guia de livros didáticos: PNLD 2015: Apresentação: Ensino Médio.** Brasília: MEC, Secretaria de Educação Básica, 2014a.
- _____. Ministério da Educação. **Guia de livros didáticos: PNLD 2015: Física: Ensino Médio.** Brasília: MEC, Secretaria de Educação Básica, 2014b.
- OSTERMANN, Fernanda; MOREIRA, Marco Antônio. Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa “Física moderna e contemporânea no Ensino Médio”. **Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v. 5, n. 1, p. 23-48, 2000.
- PINHEIRO, Lisiane Araujo. **Partículas elementares e interações fundamentais no ensino médio.** 2011. 313p. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, Porto Alegre, 2011.
- PINHO ALVES, Jose Filho. Regras da transposição didática aplicadas ao laboratório didático. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 17, n. 2, p. 174-82, 2000.
- _____; PINHEIRO, Terezinha Fátima. **Instrumentação para o Ensino de Física A.** 3. ed. Goiânia : FUNAPE, 2012. 244p.
- SANCHES, Cida; MEIRELES, Manuel; SORDI, José Osvaldo de. Análise Qualitativa por meio da Lógica Paraconsistente: Método de Interpretação e Síntese de Informação obtida Por Escalas Likert. In: Encontro de Ensino e Pesquisa em Administração e Contabilidade, 3., 2011, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa, 2011.
- SILVA NETO, José Lages da. **Partículas elementares no ensino médio.** 2011. 95p. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física) – Instituto de Física, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, Rio de Janeiro, 2011.

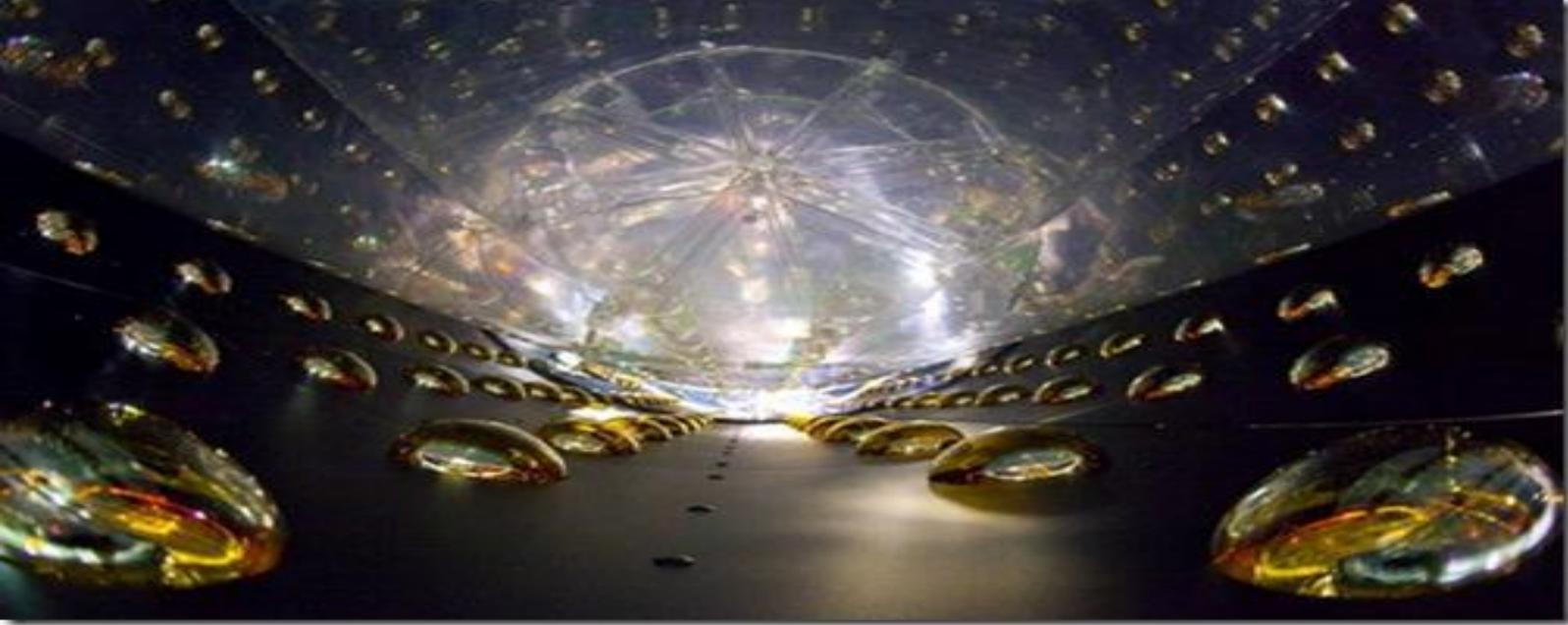
SIQUEIRA, Maxwell; PIETROCOLA, Maurício. A transposição didática aplicada a teoria contemporânea: a física de partículas elementares no ensino médio. In: Encontro de Pesquisa em Ensino de Física, 10., 2006, Londrina. **Anais...** Londrina: UEL, 2006.

_____. A estruturação de um curso de física moderna e contemporânea: a física de partículas elementares no ensino médio. In: Encontro de Pesquisa em Ensino de Física, 11., 2008, Curitiba. **Anais...** Curitiba: UTFPR, 2008.

TERRAZZAN, Eduardo A. A inserção da Física Moderna e Contemporânea no Ensino de Física na escola de 2º grau. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 9, n. 3, p. 209-14, dez. 1992.

APÊNDICE A

PRODUTO EDUCACIONAL – MATERIAL PARADIDÁTICO



Física
de Partículas
Elementares
O Modelo Padrão

WILLIAN FERREIRA DE SOUSA

SUMÁRIO

Introdução	2
<i>“Do que seu corpo é feito?”</i>	
(A constituição do corpo humano)	5
<i>“Mas o que são os átomos?”</i>	
(A ideia de átomo)	7
<i>“Do que são feitos os átomos?”</i>	
(A constituição do átomo)	9
Os léptons	13
Os quarks	15
As partículas mediadoras	17
<i>“Como você organizaria as partículas estudadas até aqui?”</i>	
(O modelo padrão)	19
Exercícios Elementares	23
Fontes das imagens	27
Referências bibliográficas	29

Normalmente, a Física não é um tema trivial, em especial para aqueles que não se simpatizam com ela, porém, é notória a sua inter e multidisciplinaridade.

As partículas elementares e seus aceleradores têm ganhado cada vez mais destaque na mídia científica, muito devido à sua abrangente aplicabilidade em diversos ramos da ciência, desde a nanociência à química dos derivados de petróleo, contudo, pouco se conhece no que se refere ao choque de seu uso na evolução da ciência e da sociedade no geral, direta ou indiretamente.

“Além de importantes descobertas científicas, tais como a recente descoberta do bóson de Higgs no grande colisor de hádrons (LHC, sigla em inglês para Large Hadron Collider) e a resolução de estruturas atômicas e moleculares, de cristais, amorfos, géis, proteínas e enzimas em síncrotron, os aceleradores permitem o desenvolvimento das mais variadas tecnologias: biotecnologia, nanotecnologia, computação e imagens, com importantes consequências para o avanço nas áreas de materiais, energia, medicina, entre outras”, esclarece Carlos Aragão, físico, diretor geral do Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais (CNPEM) e docente do Instituto de Física, da Universidade Federal do Rio de Janeiro.



Segundo Eduardo Gregores, físico e professor da Universidade Federal do ABC, a procura por conhecimento é o que impulsiona a evolução tecnológica. Assim, é possível destacar ideias desenvolvidas na Organização Europeia de Pesquisas

Nucleares (CERN, da sigla em inglês) que, a princípio, não haviam sido concebidas para aplicação fora do próprio CERN, porém terminaram ampliando-se e beneficiando intensamente a sociedade.

Dentre os projetos desenvolvidos no CERN, podemos destacar um dispositivo de detecção precoce do câncer de mama, que está alojado no Hospital Universitário de Marselha. Este dispositivo possibilita a detecção de calcificações de até um milímetro antecipando o diagnóstico em até dois anos, em um comparativo com os meios de diagnóstico atuais.



Outro grande avanço foi o World Wide Web (WWW) criado pelo físico de partículas do CERN Berners-Lee em 1990 com o intuito de servir como um sistema operacional capaz de possibilitar a correspondência entre os pesquisadores do centro. Berners-Lee foi quem determinou os conceitos fundamentais da Web, – o URL, HTTP e HTML –, e escreveu o primeiro navegador e software de servidor.

“Na época era necessário uma forma de trocar informações e documentações que eram muito extensas. Então, ele criou esse sistema entre computadores do CERN. Um ano depois, cientistas americanos do Stanford Linear Accelerator Center (SLAC), em Stanford, na Califórnia, instalaram o primeiro computador que podia compartilhar as informações contidas no CERN, tais como a biblioteca com artigos científicos digitalizados, instalando o primeiro website fora do Cern” ressalta Gregores.

A criação do WWW permitiu a cooperação de pesquisadores de todo o mundo para as pesquisas feitas no CERN, não sendo necessário que estes se deslocassem até o centro. Posteriormente, os websites se propagaram pelo mundo.

“Isso é um exemplo de que pesquisas tecnológicas de ponta podem ter efeitos sociais que extrapolam qualquer imaginação” complementa Gregores.

Desenvolvido no CERN, o maior colisor de partículas do mundo, o Grande Colisor de Hádrons (LHC, da sigla em inglês) comporta ímãs supercondutores utilizados na aceleração de íons e partículas, e necessitam de serem resfriados por sistema criogênico. “O uso extensivo de ímãs supercondutores, leva ao aprendizado da construção dos mesmos e a técnicas de criogenia. Esses desenvolvimentos são traduzidos em máquinas menores que são aplicadas à medicina”, esclarece Oscar

Eboli, professor titular do Departamento de Física Matemática da Universidade de São Paulo.

Atualmente células tronco de pluripotência induzida passam por análises espectroscópicas por raios X no Laboratório Nacional de Luz Síncroton (LNLS - abaixo), possibilitando que pesquisadores meçam os níveis de elementos químicos localizados nas células cerebrais, dando pistas de que pessoas diagnosticadas com esquizofrenia exibem altos graus de zinco e potássio, o que pode ser tratado por meio de medicamentos. Na Universidade Federal do Rio de Janeiro estão sendo feitas pesquisas que procuram por novos tratamentos para a esquizofrenia.



O síncroton é um dispositivo utilizado na análise das propriedades dos materiais, com o intuito de estudar as características das moléculas, dando contribuições a pesquisas que contemplam de procura por novos medicamentos de combate ao câncer a criação de materiais utilizados na extração de petróleo do pré-sal.

O Brasil conta, além do LNLS, com o Sirius, um acelerador de partículas que “representa um novo paradigma para a ciência brasileira, pois será um acelerador de elétrons de maior energia e com feixes bem mais colimados que o UVX do LNLS. Isso permitirá resolver estruturas em escala nanométrica (tomografias 3D em escala de nanômetros), permitindo o estudo detalhado de materiais inorgânicos e orgânicos (proteínas, enzimas etc.). O estudo de materiais orgânicos é essencial para o desenvolvimento de fármacos e para a biologia molecular estrutural, ferramenta de extrema importância para várias aplicações biológicas. O estudo de catalizadores é outra área que muito se beneficiará”, destaca Aragão.



DO QUE SEU CORPO É FEITO?

(Explique com suas palavras) _____

Para o entendimento da estrutura física dos seres vivos e seu funcionamento, é necessário destacar seus seis níveis de organização: orgânico, sistêmico, químico, orgânico, tecidual e celular.

▣ **Nível Organísmico:** O maior dentre os níveis de organização. Um ser vivo é um organismo. O conjunto das partes do corpo humano, por exemplo, em pleno funcionamento, compõem o organismo.

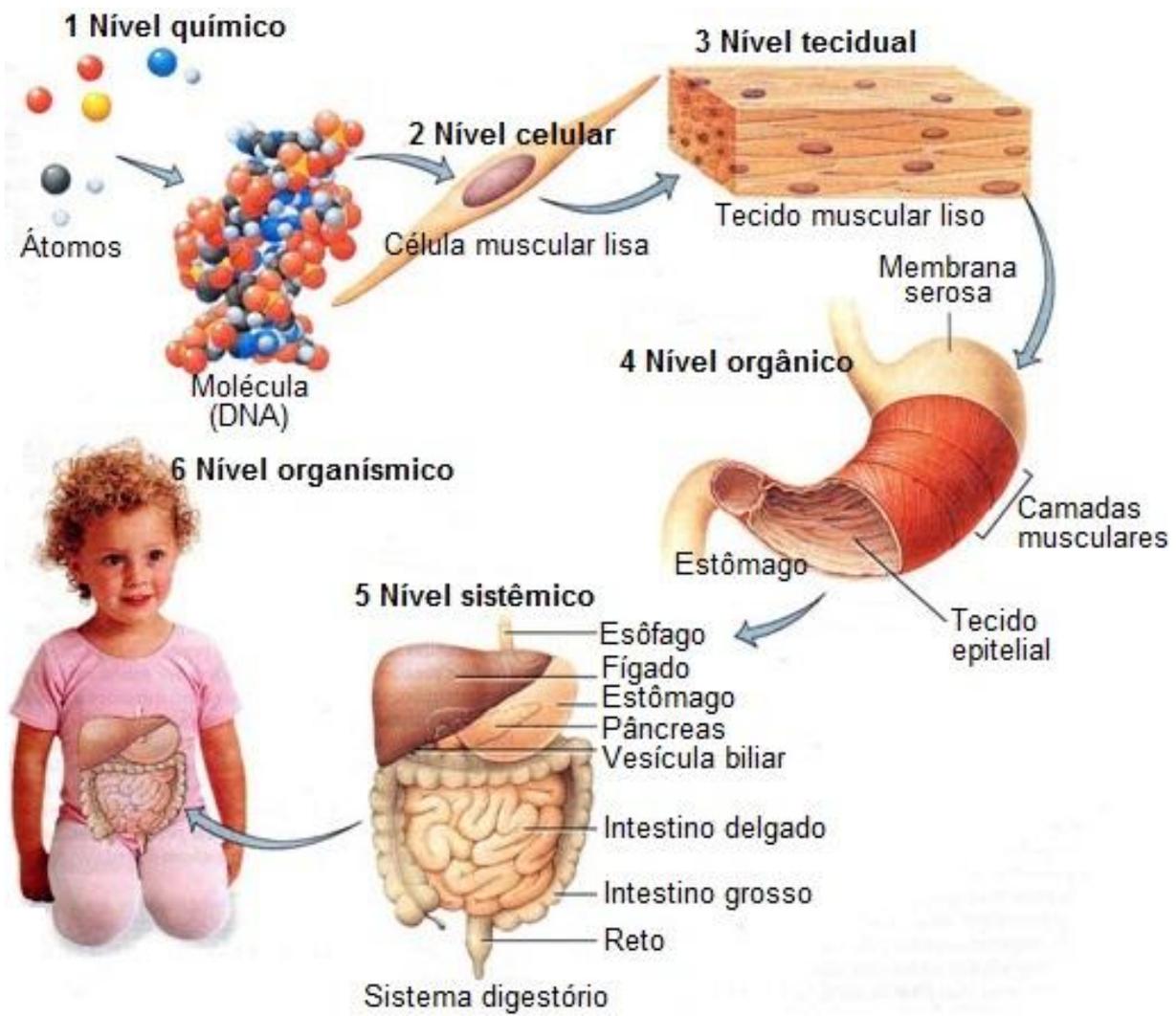
▣ **Nível Sistêmico:** Um sistema é constituído de órgãos relacionados de mesma funcionalidade.

▣ **Nível Orgânico:** Constituídos por tecidos de tipos distintos, os órgãos desempenham tarefas particulares.

▣ **Nível Tecidual:** Os tecidos, por sua vez, são conjuntos de materiais e células a sua volta, trabalhando em conjunto na realização de funções celulares específicas. São quatro os tipos básicos de tecidos, corpo humano: tecido nervoso, muscular, epitelial e conjuntivo.

▣ **Nível Celular:** As células são as unidades básicas, funcionais e estruturais do corpo humano, compostas pela junção de moléculas.

▣ **Nível Químico:** O menor dentre os níveis organizacionais. Inclui os átomos (menores estruturas de matéria que participam de reações químicas) e as moléculas (ligação de dois ou mais átomos).





MAS O QUE SÃO OS ÁTOMOS?

(Explique com suas palavras) _____

A estrutura fundamental que constitui a matéria é representada pelo átomo. São os constituintes básicos, que ligados compõem tudo a nossa volta. Em outras palavras, um átomo é compreendido como um corpo minúsculo que se encontra no cerne da matéria. Quando ligados, os átomos compõem moléculas e retículos cristalinos que dão propriedades distintas às substâncias. Como exemplo, podemos destacar a discrepância no valor do diamante comparado ao valor do carvão. Mesmo sendo ambos compostos por átomos de carbono, estes se organizam de forma diferente dando características distintas ao diamante, que possui alto valor comercial, e ao carvão, que apesar do baixo valor, possui grande utilidade prática.

Mas de onde vem a ideia de átomo? Para compreendermos melhor o desenvolvimento dessa ideia, segue um fragmento do livro de Antônio Sérgio Teixeira Pires e Regina Pinto de Carvalho:

“Aparentemente foram os gregos antigos os primeiros a se interessarem pelo questionamento do que a matéria é feita. Segundo Leucipo e Demócrito, filósofos gregos que viveram no século IV a.C., todas as coisas era constituídas de uma infinidade de pequenos átomos, eternos, imutáveis e indivisíveis. Esses átomos existiam em diversas formas, possuíam ganchos e engates que permitiam suas

combinações, e explicavam a variedade das substâncias existentes. Ao mesmo tempo, Empédocles propôs como princípio básico a existência de quatro elementos eternos e não criados, dos quais todas as coisas materiais eram constituídas: fogo, ar, terra e água. Essa ideia foi desenvolvida posteriormente por Platão e Aristóteles: os elementos podiam se misturar em várias proporções para produzir tudo que existe. Platão associou a cada um desses elementos um sólido regular. [...]

Em 1661, o cientista irlandês Robert Boyle rejeitou o conceito dos quatro elementos e definiu um elemento como uma substância que não podia ser separada em duas ou mais substâncias aparentemente mais simples. Em 1808, o físico e químico inglês John Dalton, usando o princípio de que toda a matéria era constituída de átomos, propôs que cada elemento era composto de átomos de um tipo característico e irreduzível. Todas as formas de matéria seriam, assim, redutíveis a um número finito de espécies atômicas. É bom mencionar que, naquela época, eram conhecidos apenas dezoito elementos. Com o passar do tempo, novos elementos foram descobertos e a ideia de descrever a matéria em termos de um número pequeno de constituintes foi abandonada.”

PIRES, A. S. T.; CARVALHO, R. P. de. *Por dentro do átomo: Física de Partículas para leigos*. 1. ed. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2014. p. 13-5.



DO QUE SÃO FEITOS OS ÁTOMOS?

(Lembre-se dos modelos de átomo que você estudou em Química)_____

A pesar de ter sido considerado, por um longo período, a parte menor da matéria, a evolução das pesquisas científicas, em especial as que impulsionaram o estudo da eletricidade, mostrou que o átomo é constituído de corpos ainda menores: os elétrons, os nêutrons e os prótons.

Os nêutrons e os prótons constituem o centro do átomo, o qual foi chamado de núcleo. Os elétrons, por sua vez, estão distribuídos em volta do núcleo, delimitando a eletrosfera. Se aceita que os prótons possuem carga elétrica positiva e os elétrons possuem carga elétrica negativa; os nêutrons não são portadores de carga elétrica. Quando as quantidades de elétrons e prótons são iguais, isto é, mesma quantidade de cargas negativas e positivas, o átomo fica eletricamente neutro.

É conveniente nos perguntarmos quando e como a matéria passou a ser descrita por átomos, elétrons e núcleos. O que podemos afirmar com certeza, é que não foi devido a um super aparato tecnológico que nos permitisse realizar uma observação direta. A evolução desse modelo foi difícil e permeada por entraves, hipóteses e experimentos que gradativamente foram sendo melhorados e ratificados pela Ciência.

“Tudo começou há aproximadamente 2500 anos, quando o homem iniciou o seu questionamento sobre a estrutura da matéria, ou seja, qual era a matéria-prima ou substância primordial que compunha o Universo. No início das investigações, as concepções filosóficas se dividiam em dois grupos. De um lado, os filósofos que acreditavam que o Universo era formado por um único elemento – monista; por outro, aqueles que acreditavam nos vários elementos que formam o Universo – pluralista.

Dentro da corrente monista, podemos destacar os seguintes filósofos: Tales de Mileto (624-546 a.C.), que acreditava que o elemento primordial era a água; Anaximenes de Mileto (570-500 a.C.), seria o ar, uma vez que o mesmo se reduziria a água por compressão. Para Xenófenes da Jônia (570-460 a.C.) era a terra. Porém, para Heráclito de Éfeso (540-480 a.C.) era o fogo o elemento primordial.

Em meados do século V a.C., surge um novo movimento que tenta explicar a matéria-prima sendo uma porção única, subdividida em diminutas partes. Essa era a forma como Anaxágoras de Clazômena (500-428 a.C.) imaginava o Universo. Para ele, a matéria-prima seria uma espécie de semente (homeomerias) contendo outras sementes em seu interior e, essas, por sua vez teriam outras e assim infinitamente, semente dentro de semente.

Ao contrário da visão de Anaxágoras, Leucipo de Mileto (460-370 a.C.) e seu discípulo Demócrito de Abdera (470-380 a.C.) acreditavam que todas as coisas eram formadas por um único tipo de partícula: o átomo (indivisível, em grego), eterno e imperecível, que se movimenta no vazio. Propunham também uma explicação para as diversas propriedades das substâncias, através das diferenças geométricas na forma e na posição do átomo.

Paralelamente a essa ideia atomista, tinha-se a corrente pluralista, destacando-se Empédocles de Akragas (490-431 a.C.), que acreditava no Universo formado por quatro elementos: água, terra, fogo e ar, podendo combinar-se para formar as diversas substâncias. Esses elementos estariam em constante movimento que seria intermediado pelo amor ou amizade que os uniam, e do ódio ou inimizade que os separavam.

Mais tarde, Aristóteles de Estagira (384-322 a.C.) propunha outros

elementos: frio, quente, úmido e seco, que agrupados de dois a dois formavam os elementos de Empédocles da seguinte forma: seco e frio daria a terra; seco e quente, o fogo; úmido e quente, o ar; e úmido e frio, a água.

Depois de algum tempo, a ideia atomista foi retomada por Epícuro de Samos (341-270 a.C.) e levada às últimas consequências por Titocaro de Lucrécio (96-55 a.C.), que acreditava que todos os objetos da natureza eram constituídos de átomos, inclusive o corpo e a alma. [...]

Entretanto, em 1647, o filósofo e matemático francês Pierre Gassendi (1592-1655) publicou um livro distinguindo pela primeira vez átomo de molécula (distinção estabelecida oficialmente no 1º Congresso Internacional de Química, em 4 de setembro de 1860) e, parecia propor que o átomo seria uma parte real da substância, porém invisível e indivisível.

Já em 1789, foi editada a primeira tabela periódica contendo 30 elementos, elaborada pelo químico francês Antoine Laurent Lavoisier (1743-1794). Ele se baseava no princípio de que 'cada elemento de um composto pesa menos do que o composto como todo'.

Alguns anos depois, em 1814, o físico-químico Jöns Jakob Berzelius (1779-1848) introduziu a nomenclatura atual dos elementos químicos.

Vários outros cientistas, como o inglês John Dalton (1766-1844), o francês Joseph-Louis Gay-Lussac (1778-1850) e o italiano Amadeo Avogadro (1776-1856), começaram a investigar melhor as substâncias com a finalidade de determinar as massas dos átomos e seus volumes. Desta forma, foram formuladas algumas leis que ajudaram a classificar melhor as substâncias na tabela periódica.

Foi então que em 1869 o russo Dimitri Ivanovich Mendeleiev (1834-1907) e em 1870 o alemão Julius Lothar Meyer (1830-1895) chegaram, independentemente, à tabela periódica dos 63 elementos, relacionando o peso atômico com suas propriedades, seguindo a sequência 2, 8, 8, 18, 18, 36 indicando cada período, o número de elementos que apresentavam as mesmas propriedades e assim Mendeleiev previu a existência de mais alguns elementos que foram detectados posteriormente.

Mas foi devido às experiências relacionadas ao eletromagnetismo que o

caráter indivisível do átomo foi posto em dúvida. Para o físico francês André Marie Ampère (1775-1836) e o dinamarquês Hans Christian Oersted (1777-1851), era uma questão de tempo mostrar que o átomo tinha constituintes de carga elétrica. Em 1828, o físico alemão Gustav Theodor Fechner (1801-1887) propôs o modelo de que o átomo consistia de uma parte central massiva que atraía gravitacionalmente uma nuvem de partículas quase imponderáveis. Esse modelo foi melhorado por seu contemporâneo Wilhelm Eduard Weber (1804-1891), colocando a força elétrica no lugar da gravitacional.

A primeira evidência experimental sobre a estrutura do átomo foi verificada pelo físico e químico Michael Faraday (1791-1867) ao descobrir, em 1833, o fenômeno da eletrólise (ação química da eletricidade). Ele observou que a passagem da corrente elétrica através de soluções químicas fazia com que os metais de tais soluções se depositassem nas barras metálicas introduzidas nessas soluções. Essa evidência foi corroborada com a teoria iônica desenvolvida pelo químico Svante August Arrhenius (1859-1927) em 1884, segundo a qual os íons que constituíam a corrente através da solução, nada mais eram do que átomos carregados de eletricidade.”

SIQUEIRA, M. R. da P. *Do visível ao indivisível: uma Proposta de Física de Partículas para o Ensino Médio.* Dissertação de Mestrado. São Paulo: IF-USP, 2006.

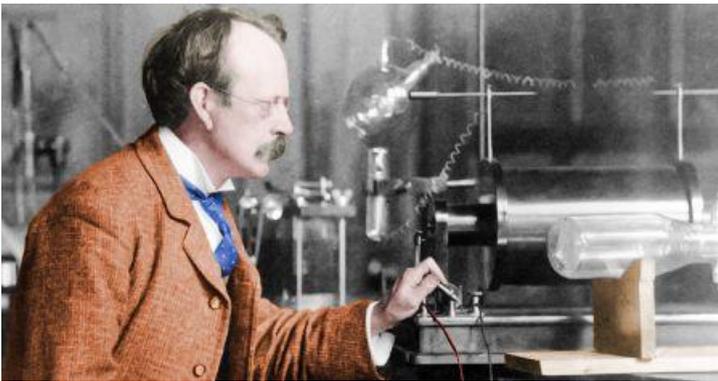
OS LÉPTONS



(Neste tópico e nos próximos, os eventos serão apresentados de maneira sequencial de acordo com os acontecimentos históricos.

BOA VIAGEM NO TEMPO!

1879 – Sir William Crookes obteve evidências de uma forma de radiação, emanada do catodo de um tubo, no qual uma descarga elétrica passava através de um gás, consistia de partículas com carga elétrica negativa.

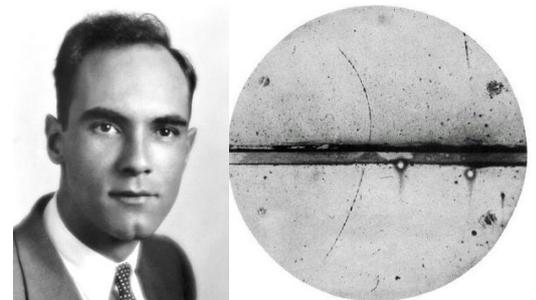


1897 – A primeira partícula elementar é descoberta por Joseph J. Thomson (à esquerda): o elétron.

1930 – Wolfgang Pauli sugeriu a existência de uma partícula leve, neutra e fracamente interagente com a matéria, para explicar uma aparente falha da conservação de energia nas medidas do momento do elétron ejetado no decaimento do C^{14} .

1931 – Paul M. Dirac propõe uma partícula de mesma massa do elétron, embora com carga elétrica positiva.

1931 – O pósitron, ou antielétron, é descoberto por Carl Anderson (à direita) ao estudar os raios cósmicos.



1933 – H. Yukawa propôs uma teoria para a força nuclear, provendo uma partícula de massa 200 vezes superior à massa do elétron (o múon).

1936 – Carl D. Anderson recebe o prêmio Nobel pela descoberta do pósitron.

1937 – S. H. Neddermeyer e C. D. Anderson anunciam a primeira evidência do múon.

O neutrino muônico foi proposto pela primeira vez nos anos 1940 por várias pessoas.

1956 – O neutrino do elétron é observado experimentalmente no Reator Nuclear Savannah River (abaixo).

1962 – Cientistas do Brookhaven National Laboratory (abaixo) observaram a primeira evidência do neutrino do múon.



1976 – Martin Perl descobre um novo lépton: tau. A existência do neutrino tauônico foi deduzida logo depois de detectar o tau.

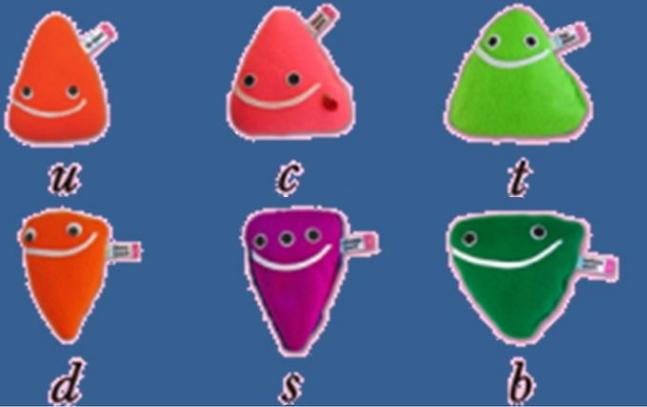
1988 – Leon M. Lederman, Melvin Schwartz e Jack Steinberger recebem o prêmio Nobel pela descoberta do neutrino muônico.

1995 – Frederick Reines e Martin L. Perl recebem o prêmio Nobel pela detecção do neutrino eletrônico e pela descoberta do lépton tau, respectivamente.

2000 – Uma equipe de físicos do Fermilab (à direita o Tevatron, acelerador de partículas circular situado no Fermilab) encontra o neutrino do tau.



OS QUARKS



1919 – O próton foi descoberto por Ernest Rutherford (caricatura à esquerda).



1932 – O nêutron foi descoberto por James Chadwick (caricatura à direita).

1935 – James Chadwick recebe o prêmio Nobel pela descoberta do nêutron.

1955 – O antipróton é observado. Dois anos mais tarde é observado o antinêutron.

1959 – Owen Chamberlain e Emilio G. Segrè recebem o prêmio Nobel pela descoberta do antipróton.

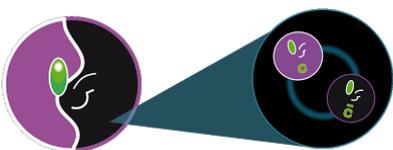
1964 – Murray Gell-Mann propõe que todos os hádrons seriam formados por três partículas às quais nomeou quark (up, down, strange).

1964 – Yoichiro Nambu e Moo-Young Han propõem um novo número quântico: a cor, resolvendo o impasse da partícula Ω^- .

1964 – James D. Bjorken e Sheldon Lee Glashow propuseram a existência do quark charm.

1968 – Os experimentos de espalhamento inelástico profundo no Centro de Aceleração Linear de Stanford fornecem evidências da existência dos quarks up, down e strange.

1973 – Os quarks bottom e top foram teorizados por Makoto Kobayashi e Toshihide Maskawa para explicar a violação no decaimento de Káons.



1974 – O quark charm foi observado. (à esquerda o méson J/ψ composto de um quark e um antiquark charm)

1976 – Burton Richter e Samuel Chao Chung Ting recebem

o prêmio Nobel pela descoberta do quark charm.

1977 – Lederman observou a primeira evidência do méson úpsilon (à direita), interpretado como um estado ligado de um bottom com um antibottom, indicando, de fato, uma terceira família de quarks.



1990 – Jerome I. Friedman, Henry W. Kendall e Richard E. Taylor recebem o prêmio Nobel pelas investigações referentes ao espalhamento inelástico, essenciais para o desenvolvimento do modelo dos quarks.



1995 – O quark top foi observado no Fermilab (à esquerda). Foi o último quark a ser descoberto.

2008 – Makoto Kobayashi e Toshihide Maskawa recebem o prêmio Nobel pela descoberta da origem da violação da simetria, que prediz a existência de pelo menos três famílias de quarks.

As partículas estudadas até aqui (léptons e quarks) formam o conjunto dos férmions (partículas com spin semi-inteiro). Liste, abaixo, essas partículas.

AS PARTÍCULAS MEDIADORAS



1905 – Albert Einstein (caricatura à esquerda) explicou o efeito fotoelétrico usando a hipótese de que a luz é formada por quantas de energia que mais tarde receberam o nome de fóton.

1921 – Albert Einstein recebe o prêmio Nobel pela descoberta da lei do efeito fotoelétrico.

1923 – O fóton foi confirmado na experiência do efeito Compton.

1949 – Hideki Yukawa recebe o prêmio Nobel pela previsão da existência de mésons na base de estudos teóricos das forças nucleares.

1964 – Peter Higgs propôs um mecanismo que ficou conhecido por mecanismo de Higgs que gera a massa das partículas W e Z.

1967 – Steven Weinberg propôs um modelo para a síntese eletrofraca.

Abdus Salam (1968) e Sheldon Glashow (1970) trabalharam aspectos fundamentais para a formulação da Teoria Eletrofraca.

1969 – Gell-Mann recebe o prêmio Nobel pela classificação das partículas elementares e suas interações.

1979 – Sheldon Lee Glashow, Abdus Salam e Steven Weinberg recebem o prêmio Nobel pela teoria unificada das interações fracas e eletromagnéticas entre partículas elementares.

1979 – A existência do glúon foi confirmada.



O Higgs é a partícula responsável por dar massa às outras partículas



1983 – Carlo Rubbia e Simon van der Meer descobrem os bósons W e Z, mediadores da interação fraca.

1984 – Carlo Rubbia e Simon van der Meer recebem o prêmio Nobel pela descoberta dos bósons W e Z.

2004 – David J. Gross, Hugh David Politzer e Frank Wilczek receberam o prêmio Nobel pela descoberta da liberdade assintótica na teoria da força forte.

2012 – Pesquisadores finalmente descobriram o bóson de Higgs no Large Hadron Collider (LHC, à direita).



2013 – François Englert e Peter W. Higgs recebem o prêmio Nobel pela descoberta do mecanismo que contribuiu para o entendimento da origem da massa das partículas subatômicas.

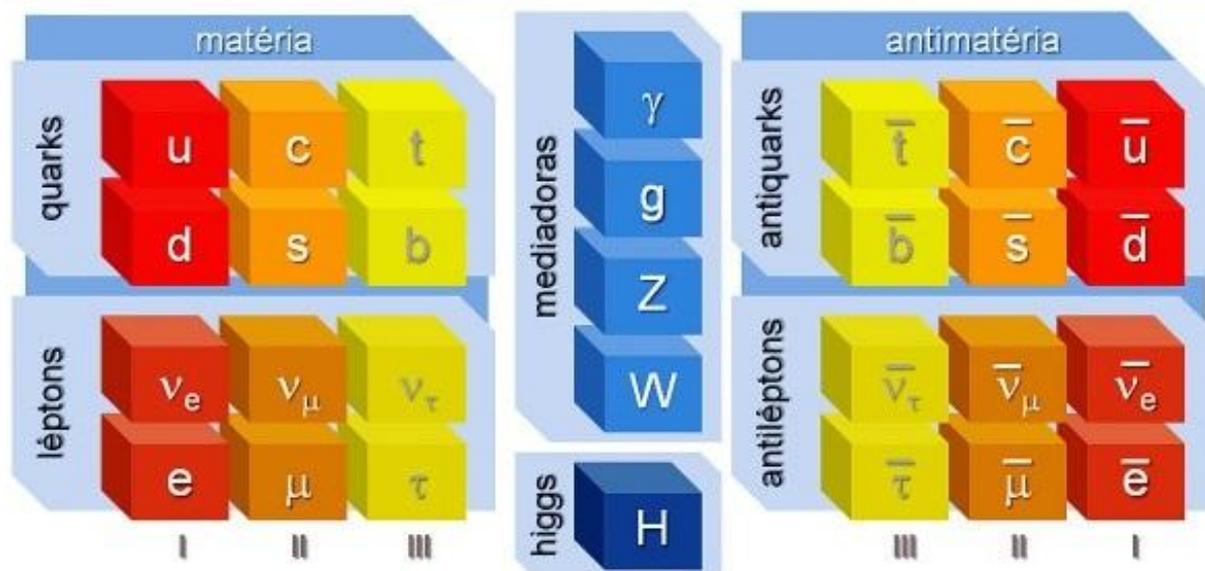
As partículas estudadas neste tópico (partículas mediadoras) formam o conjunto dos bósons (partículas com spin inteiro). Liste, abaixo, essas partículas.



COMO VOCÊ ORGANIZARIA AS PARTÍCULAS ESTUDADAS ATÉ AQUI?

No espaço abaixo, utilize gráficos, tabelas, textos, etc. para organizar as partículas que você estudou até aqui.

O Modelo Padrão de Partículas Elementares



“O modelo padrão funciona como uma espécie de tabela periódica de partículas, com a vantagem de ser mais sintética e constituir uma referência teórica, pois serve de guia para os experimentos. As previsões obtidas a partir dele foram confirmadas por experimentos com precisão incrível, e todas as partículas previstas por essa teoria já foram encontradas. Contudo, ele não fornece explicações seguras para alguns fatos:

- ❑ Por que há mais matéria do que antimatéria no Universo?
- ❑ Como a gravidade se encaixa no modelo padrão?
- ❑ O que é a matéria escura, que parece permeiar todo o Universo, interagir gravitacionalmente e não ser detectada?
- ❑ Os quarks e os léptons são realmente elementares ou são constituídos de partículas mais fundamentais?” (OLIVEIRA; et. al., 2010, p. 492)

Tabela 1 – Férmions

Férmions <i>spin semi-inteiro</i>							
Quarks			Léptons				
Símbolo e nome	Descoberto em	Massa de repouso (MeV/c ²)	Carga elétrica	Símbolo e nome	Descoberto em	Massa de repouso (MeV/c ²)	Carga elétrica
u <i>Up</i>	1968 – SLAC	2,3	2/3	Neutrino do elétron ν_e	1956 – Savannah River Plant	< 0,002	0
d <i>Down</i>	1968 – SLAC	4,8	-1/3	e <i>Elétron</i>	1897 – Cavendish Laboratory	0,511	-1
c <i>Charm</i>	1974 – Brookhaven & SLAC	1275	2/3	Neutrino do múon ν_μ	1962 – Brookhaven	< 0,19	0
s <i>Strange</i>	1968 – SLAC	95	-1/3	μ <i>Múon</i>	1937 – Caltech & Harvard	106	-1
t <i>Top</i>	1995 – Fermilab	173210	2/3	Neutrino do tau ν_τ	2000 – Fermilab	< 18,2	0
b <i>Bottom</i>	1977 – Fermilab	4180	-1/3	τ <i>Tau</i>	1976 – SLAC	1777	-1

Tabela 2 – Bósons

Bósons						
<i>spín inteiro</i>						
Partículas mediadoras						
Interação eletrofraca			Interação forte			
Símbolo e nome	Descoberto em	Massa de repouso (MeV/c ²)	Carga elétrica	Símbolo e nome	Descoberto em	Massa de repouso (MeV/c ²)
γ fóton	1923 - Washington University	~0	0	g glúon	1979 - DESY	0
W ⁻	1983 - CERN	80385	-1	Interação gravitacional		
W ⁺	1983 - CERN	80385	+1	Nome	Descoberto em	Massa de repouso (MeV/c ²)
Z ⁰	1983 - CERN	91188	0	Gráviton	Não descoberto	0
				Bóson de Higgs	2012 - CERN	125700
						0

Exercícios Elementares

1. (JÚNIOR, 2002, p. 70-1) Complete as lacunas e confira o que você aprendeu.

As lacunas são corretamente preenchidas com as palavras a seguir (apresentadas em ordem alfabética). Vá completando as lacunas e grifando as palavras na lista, até não sobrar nenhuma.

aniquilação – antimatéria – antipartícula – bárions – força – forte – interação – léptons – mediadoras – mésons – modelo – nuclear – padrão – partículas – *quarks*.

- A descoberta de novas _____ atômicas levou os físicos e químicos a perceber que o átomo tinha uma estrutura fina muito mais complexa do que se imaginava.
- O conceito de _____ ganhou um *status* diferente e passou a ser chamado de interação. Numa interação os corpos trocam partículas chamadas de _____.
- Na natureza existem apenas quatro tipos de _____: 1) a gravitacional, 2) a eletromagnética, 3) a nuclear _____, e 4) a _____ fraca.
- No modelo _____, que engloba todas as subpartículas e considera as quatro interações, inclusive com suas partículas mediadoras, a cada partícula temos uma correspondente _____. Assim podemos supor que existe antimatéria, uma nova matéria com antiátomos e antimoléculas. Da colisão de matéria com _____ há _____, do que pode resultar energia, de acordo com a equação $E = mc^2$, além de outras subpartículas.
- As subpartículas no _____-padrão são subdivididas em três famílias: *quarks*, _____ e partículas mediadoras.
- Partículas formadas somente por _____ são chamadas de hádrons. Os hádrons são subdivididos em bárions e mésons. _____ são

formados pela junção de três *quarks* ao passo que _____ são constituídos de apenas dois *quarks*.

2. (Vunesp-SP) De acordo com o modelo atômico atual, os prótons e nêutrons não são mais considerados partículas elementares. Eles seriam formados de três partículas ainda menores, os quarks. Admite-se a existência de 12 quarks na natureza, mas só dois tipos formam os prótons e nêutrons, o quark up (u), de carga elétrica positiva, igual a $\frac{2}{3}$ do valor de carga do elétron, e o quark down (d), de carga elétrica negativa, igual a $\frac{1}{3}$ do valor da carga do elétron. A partir dessas informações, assinale a alternativa que apresenta corretamente a composição do (I) próton e do (II) nêutron.

- a) (I) d, d, d; (II) u, u, u.
- b) (I) d, d, u; (II) u, u, d.
- c) (I) d, u, u; (II) u, d, d.
- d) (I) u, u, u; (II) d, d, d.
- e) (I) d, d, d; (II) d, d, d.

3. (Vunesp-SP) Em 1990 transcorreu o cinquentenário da descoberta dos “chuveiros penetrantes” nos raios cósmicos, uma contribuição da Física brasileira que alcançou repercussão internacional (*O Estado de S. Paulo*, 21/10/90, p. 30). No estudo dos raios cósmicos são observadas partículas chamadas píons. Considere um pión com carga elétrica $+e$ se desintegrando (isto é, se dividindo) em outras duas partículas: um múon, com carga elétrica $+e$, e um neutrino. De acordo com o princípio da conservação da carga, o neutrino deverá ter carga elétrica:

- a) $+e$
- b) $-e$
- c) $+2e$
- d) $-2e$
- e) nula

4. (JÚNIOR, 2002, p. 106) Um pión (ou méson π) é formado por um *quark up* mais um *antiquark down*. Com base nessa informação, mostre que realmente a carga do pión é “ $+e$ ”.

5. (UFRN) Um processo de aniquilação de matéria, ou equivalentemente, de conservação de massa de repouso em energia, ocorre na interação entre um elétron (de massa m e carga $-e$) e um pósitron (de mesma massa m e carga $+e$). Como consequência desse processo, o elétron e o pósitron são aniquilados, e, em seu lugar, são criados dois fótons gama (γ) que se deslocam em sentidos opostos. O processo de aniquilação descrito pode ser representado por $e^- + e^+ \rightarrow \gamma + \gamma$. Pode-se dizer que as grandezas físicas que se conservam nesse processo são:

- a) a massa de repouso, a carga elétrica e a energia.
- b) a massa de repouso, a energia e o momento linear.
- c) a carga elétrica, o momento linear e a energia.
- d) a carga elétrica, a massa de repouso e o momento linear.

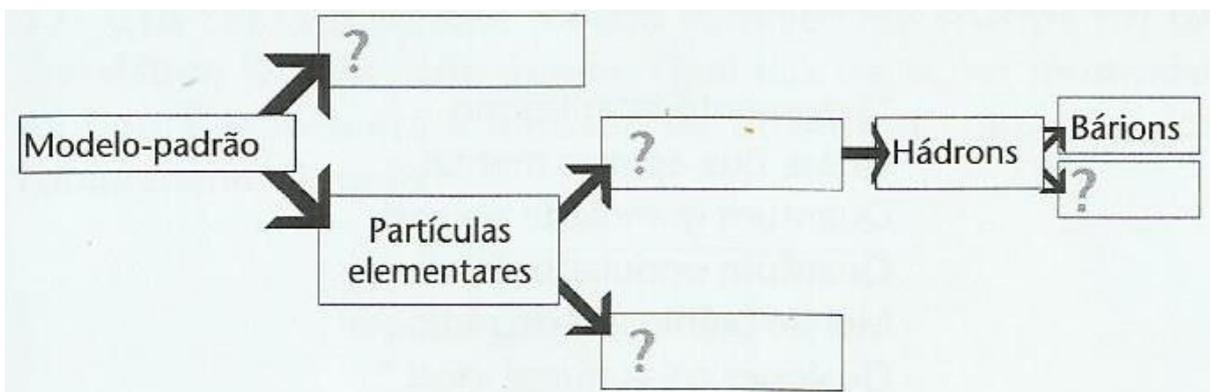
6. (OLIVEIRA; et. al., 2010, p. 495) De acordo com o estudo das partículas elementares, analise cada uma das afirmativas a seguir e identifique se ela é verdadeira ou falsa:

- a) Os léptons são formados por três quarks.
- b) Os prótons interagem entre si através da interação forte.
- c) O pósitron é a antipartícula do próton.
- d) Os elétrons pertencem à família dos léptons.
- e) O fóton é a partícula associada à interação gravitacional.
- f) Existem seis tipos de quarks e seis tipos de antiquarks.
- g) Os elétrons são formados por três quarks.
- h) Uma antipartícula tem mesma massa que a sua partícula.

7. (JÚNIOR, 2002, p. 106) Uma maneira bastante prática de representar as partículas de matéria do modelo-padrão está mostrada na figura a seguir. Note, porém, que faltam alguns componentes (partículas). Complete o quadro.

Matéria			
Quarks		c charm	
	d down		b bottom
Léptons	ν_e e-neutrino	ν_μ μ -neutrino	ν_τ τ -neutrino
		μ múon	τ tau
	I	II	III

8. (JÚNIOR, 2002, p. 103) Complete o organograma a seguir (caixas com uma interrogação) com a estrutura do modelo-padrão.



Fontes das imagens



Introdução

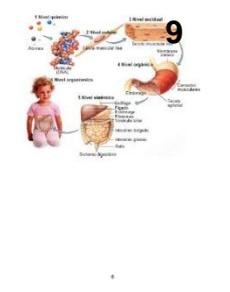
Nos primeiros 15 minutos de um curso de física, o professor geralmente apresenta a seguinte pergunta: "O que é física?". A resposta é simples: é a ciência que estuda a natureza e suas propriedades. A física é a base de todas as outras ciências, pois fornece a base teórica para a compreensão dos fenômenos naturais.

Na física, a natureza é estudada através de modelos matemáticos. O modelo padrão da física de partículas é um desses modelos, que descreve as partículas elementares e suas interações. Este modelo é baseado na teoria quântica de campos e na relatividade especial.

O modelo padrão da física de partículas é um dos maiores sucessos da física moderna. Ele descreve com precisão as propriedades das partículas elementares e suas interações. Este modelo é baseado na teoria quântica de campos e na relatividade especial.

8 DO QUE SEU CORPO É FEITO?

O corpo humano é composto por uma variedade de elementos químicos. A maioria desses elementos são metais, como o ferro, o cálcio e o potássio. Outros elementos importantes incluem o carbono, o oxigênio e o hidrogênio.



OS LEPTONS

Os léptons são partículas elementares que não participam da interação forte. Eles são classificados em elétrons, múons e taus. Cada um desses léptons tem um neutrino associado a ele.

Os léptons são partículas elementares que não participam da interação forte. Eles são classificados em elétrons, múons e taus. Cada um desses léptons tem um neutrino associado a ele.

OS QUARKS

Os quarks são partículas elementares que participam da interação forte. Eles são classificados em quarks superiores e quarks inferiores. Cada quark tem um número quântico de cor associado a ele.

21

Os quarks são partículas elementares que participam da interação forte. Eles são classificados em quarks superiores e quarks inferiores. Cada quark tem um número quântico de cor associado a ele.

AS PARTÍCULAS MEDIADORAS

As partículas mediadoras são partículas elementares que transmitem as forças fundamentais. Elas são classificadas em bósons e férmions.

As partículas mediadoras são partículas elementares que transmitem as forças fundamentais. Elas são classificadas em bósons e férmions.

O Modelo Padrão da Física de Partículas Elementares

O modelo padrão da física de partículas elementares é um dos maiores sucessos da física moderna. Ele descreve com precisão as propriedades das partículas elementares e suas interações.

O modelo padrão da física de partículas elementares é um dos maiores sucessos da física moderna. Ele descreve com precisão as propriedades das partículas elementares e suas interações.

22

O modelo padrão da física de partículas elementares é um dos maiores sucessos da física moderna. Ele descreve com precisão as propriedades das partículas elementares e suas interações.

1. <https://educavita.blogspot.com.br/2015/07/constituicao-do-universo-tamanho-e.html>
2. <https://www.stoodi.com.br/blog/2015/10/20/ciencia-da-computacao-sistemas-de-informacao-ou-engenharia-da-computacao/>
3. <http://www.radiof2.unina.it/?p=19120>
4. <http://www.biositemap.com/biotechnologia/>
5. <http://www.prg.ufla.br/site/cursos/medicina/>
6. <https://www.massagemag.com/message-blog/message-practice-builder/category/websites-for-massage-therapists/>
7. <http://lnls.cnpem.br/accelerators/accelerator-division/rf/the-rf-systems-at-the-lnls-synchrotron-light-source/>
8. <http://getsemani.com.br/portal/?p=6060>
9. <http://www.auladeanatomia.com/novosite/generalidades/constituicao-do-corpo/>
10. <https://truesingularity.wordpress.com/2012/08/17/a-teoria-de-quase-tudo/>
11. <http://www.famousscientists.org/j-j-thomson/>
12. http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1936/anderson-facts.html

13. <http://www.taringa.net/posts/ciencia-educacion/15080597/Paul-Dirac-y-el-descubrimiento-del-positron.html>
14. <http://www.sciway.net/srs-savannah-river-site/>
15. <https://www.bnl.gov/ps/news/news.php?a=11506>
16. <http://www.frogblog.ie/2011/10/tevatron-particle-accelerator-closes.html>
17. <https://truesingularity.wordpress.com/2012/08/17/a-teoria-de-quase-tudo/>
18. <https://www.sciencephoto.com/media/488964/view> / Crédito: GARY BROWN/SCIENCE PHOTO LIBRARY
19. <https://www.sciencephoto.com/media/540300/view> / Crédito: GARY BROWN/SCIENCE PHOTO LIBRARY
20. <http://physicsmore.blogspot.com.br/>
21. <http://physicsmore.blogspot.com.br/>
22. <http://chicagoweathercenter.com/blog/our-2015-fermilabwgn-tornado-and-severe-storms-seminar-are-coming-up-saturday-march-28th-at-noon-6pm-and-youre-invited>
23. <https://truesingularity.wordpress.com/2012/08/17/a-teoria-de-quase-tudo/>
24. <https://www.sciencephoto.com/media/431666/view> / Crédito: GARY BROWN/SCIENCE PHOTO LIBRARY
25. <http://www.davidreneke.com/higgs-boson-is-it-the-real-deal/>
26. <http://www.particleadventure.org/color.html>
27. <http://www.diregiovani.it/2016/03/25/25899-scientificamente-al-cern-riprende-funzionare-lhc.dg/>
28. <http://hypescience.com/o-que-e-e-de-onde-veio-o-modelo-padrao-da-fisica/>

Referências bibliográficas

ABDALLA, Maria Cristina Batoni. Sobre o discreto charme das partículas elementares. *Física na Escola*. São Paulo, v. 6, n. 1, p. 38-44, mai. 2005.

AULA DE ANATOMIA. *Constituição do corpo*. Extraído do site: <<http://www.auladeanatomia.com/novosite/generalidades/constituicao-do-corpo/>>. Acesso em: 4 mai. 2016.

CARUSO, Francisco. *O milho e a pérola: a descoberta do anti-elétron, a confirmação da teoria quântica do elétron e a moral da fábula*. Extraído do site: <http://www.cbpf.br/~caruso/fcn/publicacoes/pdfs/cs016_97.pdf>. Acesso em: 4 mai. 2016.

CENTRO NACIONAL DE PESQUISA EM ENERGIA E MATERIAIS. *Aceleradores de partículas e seus impactos na sociedade*. Extraído do site: <<http://cnpem.br/aceleradores-de-particulas-e-seus-impactos-na-sociedade/>>. Acesso em: 31 mai. 2016.

JÚNIOR, Dulcídio Braz. *Física moderna: tópicos para o ensino médio*. 1. ed. Campinas: Companhia da Escola, 2002.

MOREIRA, Marco Antônio. A física dos quarks e a epistemologia. *Revista Brasileira de Ensino de Física*. São Paulo, v. 29, n. 2, p. 161-73, 2007.

NOBELPRIZE.ORG. *All Nobel Prizes in Physics*. Extraído do site: <http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/>. Acesso em: 30 mar. 2016.

OLIVEIRA, Maurício Pietrocola Pinto de; et. al. *Física em contextos: pessoal, social e histórico*. 1. ed. São Paulo: FTD, 2010. v. 3.

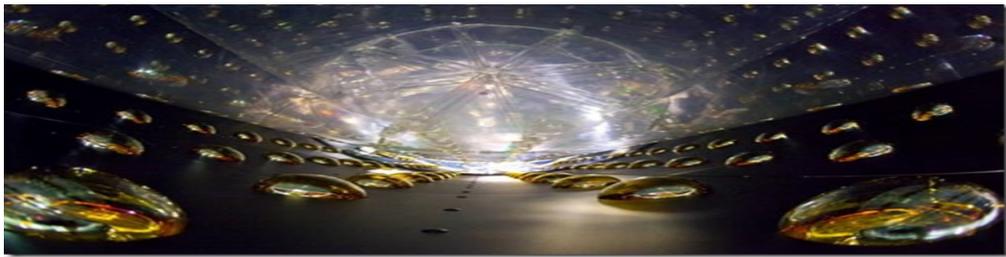
PIRES, Antônio Sérgio Teixeira; CARVALHO, Regina Pinto de. *Por dentro do átomo: Física de Partículas para leigos*. 1. ed. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2014.

RIESSELMANN, Kurt. *The Standard Model of particle physics*. Extraído do site: <<http://www.symmetrismagazine.org/article/july-2015/standard-model>>. Acesso em: 26 mai. 2016.

SYMMETRY. *ABCs of Particle Physics*. Extraído do site: <<http://www.symmetrismagazine.org/particle-physics-abcs/>>. Acesso em: 30 mar. 2016.

APÊNDICE B

SLIDES UTILIZADOS NA APLICAÇÃO



Física de Partículas Elementares

O modelo padrão

WILLIAN FERREIRA DE SOUSA
Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física



PARTÍCULAS ELEMENTARES, QUANDO?

O início do Universo



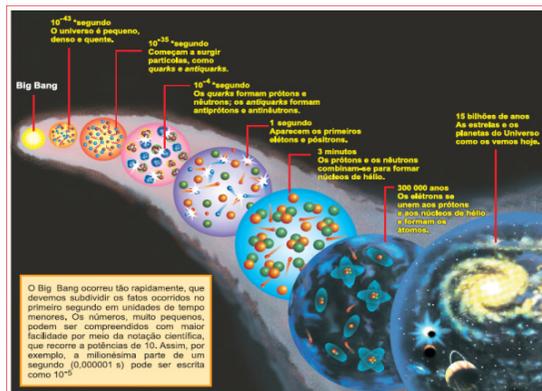
Dados do Filme

Título: A Era do Gelo: O Big Bang
Título: Ice Age: Collision Course
Ano: 2016
Diretor: Mike Thurmeier, Galen T. Chu
FOX FILMES



PARTÍCULAS ELEMENTARES, QUANDO?

O início do Universo



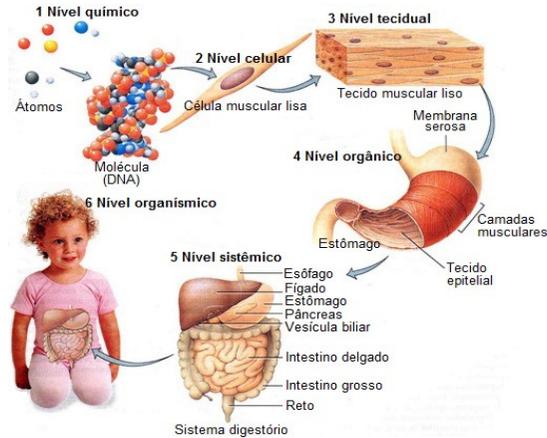
PARTÍCULAS ELEMENTARES, ONDE?

Algumas aplicações das partículas elementares

Nanociência e nanotecnologia;
Química dos derivados de petróleo;
Materiais;
Biotecnologia;
Biologia molecular estrutural;
Medicina e dispositivos de detecção do câncer;
Energia;
Computação e imagens;
World Wide Web (www - 1990);
ETC.



DO QUE SEU CORPO É FEITO?



MAS O QUE SÃO OS ÁTOMOS?

Qual a diferença entre o carvão e o diamante?



DO QUE SÃO FEITOS OS ÁTOMOS?

O que diferencia os elementos da tabela periódica?

Grupo →	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	1 H																	2 He
2	3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
3	11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
4	19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
5	37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
6	55 Cs	56 Ba		72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
7	87 Fr	88 Ra		104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Cn	113 Nh	114 Fl	115 Uup	116 Lv	117 Uus	118 Uuo
Lantanídeos	57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu			
Actinídeos	89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr			

OS LÉPTONS



1879 - Sir William Crookes obteve evidências de uma forma de radiação, emanada do catodo de um tubo, no qual uma descarga elétrica passava através de um gás, consistia de partículas com carga elétrica negativa.

1897 - A primeira partícula elementar é descoberta por Joseph J. Thomson: o elétron.

1930 - Wolfgang Pauli sugeriu a existência de uma partícula leve, neutra e fracamente interagente com a matéria, para explicar uma aparente falha da conservação de energia nas medidas do momento do elétron ejetado no decaimento do C^{14} .

1931 - Paul M. Dirac propõe uma partícula de mesma massa do elétron, embora com carga elétrica positiva.

OS LÉPTONS



1931 - O pósitron, ou antielétron, é descoberto por Carl Anderson ao estudar os raios cósmicos.

1933 - H. Yukawa propôs uma teoria para a força nuclear, prevendo uma partícula de massa 200 vezes superior à massa do elétron (o múon).

1936 - Carl D. Anderson recebe o prêmio Nobel pela descoberta do pósitron.

1937 - S. H. Neddermeyer e C. D. Anderson anunciam a primeira evidência do múon.

O neutrino muônico foi proposto pela primeira vez nos anos 1940 por várias pessoas.

1956 - O neutrino do elétron é observado experimentalmente no Reator Nuclear Savannah River.

OS LÉPTONS



1962 - Cientistas do Brookhaven National Laboratory observaram a primeira evidência do neutrino do múon.

1976 - Martin Perl descobre um novo lépton: tau. A existência do neutrino tauônico foi deduzida logo depois da detecção do tau.

1988 - Leon M. Lederman, Melvin Schwartz e Jack Steinberger recebem o prêmio Nobel pela descoberta do neutrino muônico.

1995 - Frederick Reines e Martin L. Perl recebem o prêmio Nobel pela detecção do neutrino eletrônico e pela descoberta do lépton tau, respectivamente.

2000 - Uma equipe de físicos do Fermilab encontra o neutrino do tau.

OS QUARKS



1919 - O próton foi descoberto por Ernest Rutherford.

1932 - O nêutron foi descoberto por James Chadwick.

1935 - James Chadwick recebe o prêmio Nobel pela descoberta do nêutron.

1955 - O antipróton é observado. Dois anos mais tarde é observado o antinêutron.

1959 - Owen Chamberlain e Emilio G. Segrè recebem o prêmio Nobel pela descoberta do antipróton.

1964 - Murray Gell-Mann propõe que todos os hádrons seriam formados por três partículas às quais nomeou quark (up, down, strange).

OS QUARKS



1964 - Yoichiro Nambu e Moo-Young Han propõem um novo número quântico: a cor, resolvendo o impasse da partícula Ω^- (sss).

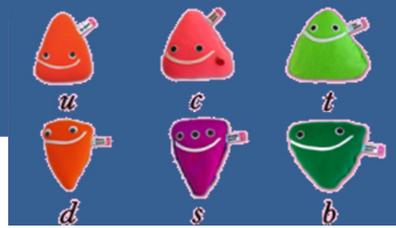
1964 - James D. Bjorken e Sheldon Lee Glashow propuseram a existência do quark charm.

1968 - Os experimentos de espalhamento inelástico profundo no Centro de Aceleração Linear de Stanford fornecem evidências da existência dos quarks up, down e strange.

1973 - Os quarks bottom e top foram teorizados por Makoto Kobayashi e Toshihide Maskawa para explicar a violação no decaimento de Káons.

1974 - O quark charm foi observado.

OS QUARKS



1976 - Burton Richter e Samuel Chao Chung Ting recebem o prêmio Nobel pela descoberta do quark charm.

1977 - Lederman observou a primeira evidência do méson úpsilon, interpretado como um estado ligado de um bottom com um antibottom, indicando, de fato, uma terceira família de quarks.

1990 - Jerome I. Friedman, Henry W. Kendall e Richard E. Taylor recebem o prêmio Nobel pelas investigações referentes ao espalhamento inelástico, essenciais para o desenvolvimento do modelo dos quarks.

1995 - O quark top foi observado no Fermilab. Foi o último quark a ser descoberto.

2008 - Makoto Kobayashi e Toshihide Maskawa recebem o prêmio Nobel pela descoberta da origem da violação da simetria, que prediz a existência de pelo menos três famílias de quarks.

AS PARTÍCULAS MEDIADORAS



1905 - Albert Einstein explicou o efeito fotoelétrico usando a hipótese de que a luz é formada por quantas de energia que mais tarde receberam o nome de fóton.

1921 - Albert Einstein recebe o prêmio Nobel pela descoberta da lei do efeito fotoelétrico.

1923 - O fóton foi confirmado na experiência do efeito Compton.

1949 - Hideki Yukawa recebe o prêmio Nobel pela previsão da existência de mésons na base de estudos teóricos das forças nucleares.

1964 - Peter Higgs propôs um mecanismo que ficou conhecido por mecanismo de Higgs que gera a massa das partículas W e Z.

AS PARTÍCULAS MEDIADORAS



1967 - Steven Weinberg propôs um modelo para a síntese eletrofraca.

Abdus Salam (1968) e Sheldon Glashow (1970) trabalharam aspectos fundamentais para a formulação da Teoria Eletrofraca.

1969 - Gell-Mann recebe o prêmio Nobel pela classificação das partículas elementares e suas interações.

1979 - Sheldon Lee Glashow, Abdus Salam e Steven Weinberg recebem o prêmio Nobel pela teoria unificada das interações fracas e eletromagnéticas entre partículas elementares.

1979 - A existência do glúon foi confirmada.

1983 - Carlo Rubbia e Simon van der Meer descobrem os bósons W e Z, mediadores da interação fraca.

AS PARTÍCULAS MEDIADORAS



1984 - Carlo Rubbia e Simon van der Meer recebem o prêmio Nobel pela descoberta dos bósons W e Z.

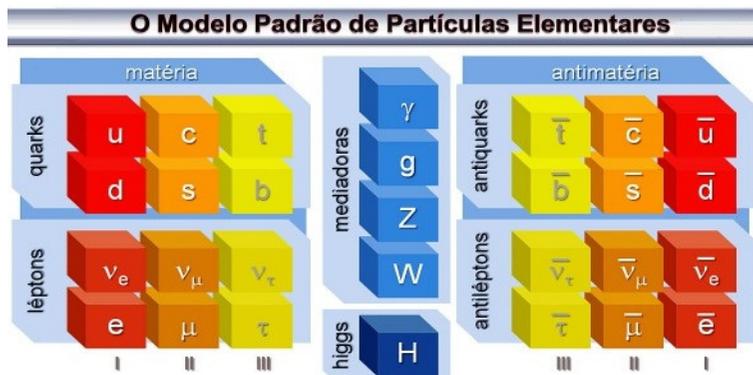
2004 - David J. Gross, Hugh David Politzer e Frank Wilczek recebem o prêmio Nobel pela descoberta da liberdade assintótica na teoria da força forte.

2012 - Pesquisadores finalmente descobriram o bóson de Higgs no Large Hadron Collider (LHC).

2013 - François Englert e Peter W. Higgs recebem o prêmio Nobel pela descoberta do mecanismo que contribuiu para o entendimento da origem da massa das partículas subatômicas.



COMO VOCÊ ORGANIZARIA AS PARTÍCULAS ESTUDADAS ATÉ AQUI?



COMO VOCÊ ORGANIZARIA AS PARTÍCULAS ESTUDADAS ATÉ AQUI?

Férmions <i>spin semi-inteiro</i>							
Quarks				Léptons			
Símbolo e nome	Descoberto em	Massa de repouso (MeV/c ²)	Carga elétrica	Símbolo e nome	Descoberto em	Massa de repouso (MeV/c ²)	Carga elétrica
u <i>Up</i>	1968 – SLAC	2,3	2/3	ν_e <i>Neutrino do elétron</i>	1956 – Savannah River Plant	< 0,002	0
d <i>Down</i>	1968 – SLAC	4,8	-1/3	e <i>Elétron</i>	1897 – Cavendish Laboratory	0,511	-1
c <i>Charm</i>	1974 – Brookhaven & SLAC	1275	2/3	ν_μ <i>Neutrino do múon</i>	1962 – Brookhaven	< 0,19	0
s <i>Strange</i>	1968 – SLAC	95	-1/3	μ <i>Múon</i>	1937 – Caltech & Harvard	106	-1
t <i>Top</i>	1995 – Fermilab	173210	2/3	ν_τ <i>Neutrino do tau</i>	2000 – Fermilab	< 18,2	0
b <i>Bottom</i>	1977 – Fermilab	4180	-1/3	τ <i>Tau</i>	1976 – SLAC	1777	-1



COMO VOCÊ ORGANIZARIA AS PARTÍCULAS ESTUDADAS ATÉ AQUI?

Bósons <i>spin inteiro</i>							
Partículas mediadoras							
Interação eletrofraca				Interação forte			
Símbolo e nome	Descoberto em	Massa de repouso (MeV/c ²)	Carga elétrica	Símbolo e nome	Descoberto em	Massa de repouso (MeV/c ²)	Carga elétrica
γ <i>fóton</i>	1923 - Washington University	-0	0	g <i>glúon</i>	1979 - DESY	0	0
W ⁻	1983 - CERN	80385	-1	Interação gravitacional			
W ⁺	1983 - CERN	80385	+1	Nome	Descoberto em	Massa de repouso (MeV/c ²)	Carga elétrica
Z ⁰	1983 - CERN	91188	0	Gráviton	Não descoberto	0	0
				Bóson de Higgs	2012 - CERN	125700	0



PERGUNTAS AINDA NÃO RESPONDIDAS

Por que há mais matéria do que antimatéria no Universo?

Como a gravidade se encaixa no modelo padrão?

O que é a matéria escura, que parece permear todo o Universo, interagir gravitacionalmente e não ser detectada?

Os quarks e os léptons são realmente elementares ou são constituídos de partículas mais fundamentais?

**KEEP
CALM
BECAUSE
"That's All
Folks"**

SUGESTÕES

Livro: *O discreto charme das partículas elementares*. Maria Cristina Abdalla. Ed. Unesp.

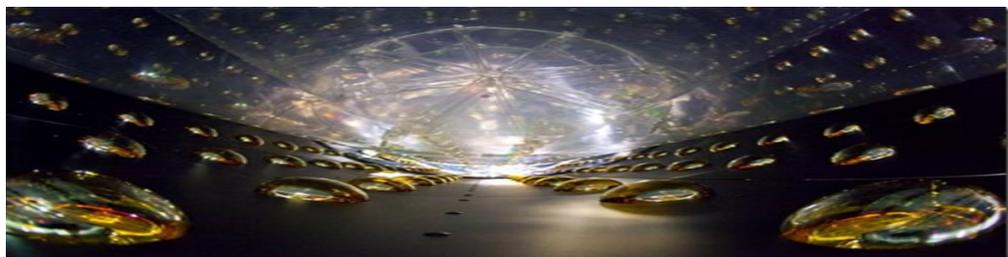
Livro: *Por dentro do átomo: Física de Partículas para leigos*. Antônio Sérgio Teixeira Pires e Regina Pinto de Carvalho. Ed. Livraria da Física.

Livro: *Batendo à porta do céu: o bóson de Higgs e como a física moderna ilumina o universo*. Lisa Randall. Ed. Companhia das Letras.

Filme/Livro: *Anjos e demônios*. Ron Howard.

Jogo: SPRACE – Game. Disponível para download em <www.sprace.org.br/sprace-game>

Aplicativos: (Android) “*Standard Model*”, “*Quantum*”, “*Particles*”.



Física **de Partículas** **Elementares** O modelo padrão

WILLIAN FERREIRA DE SOUSA
Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física

APÊNDICE C

QUESTIONÁRIO EM ESCALA LIKERT

APÊNDICE D

RELATÓRIO APRESENTADO PELO PROFESSOR P

ANÁLISE DO MATERIAL DE APOIO A FÍSICA DE PARTÍCULAS
ELEMENTARES NO ENSINO MÉDIO DO PROF. WILLIAN F. DE SOUSA

Ainda hoje há uma resistência por parte de professores do ensino médio em ensinar aos alunos conteúdos da Física desenvolvida a partir do século XX, a chamada Física Moderna. Apesar do fato de que adaptar tais assuntos ao nível médio talvez não seja algo trivial, vários equipamentos e procedimentos que fazem parte da vida dos alunos usam tais conceitos e não se pode simplesmente ignorar mais de cem anos de ciência. Dentro dessa perspectiva, foi selecionado, pelo professor Willian, o conteúdo de física de partículas elementares para desenvolver seu projeto de mestrado.

Analisando o material pude perceber um excelente trabalho com relação a adequação dos conceitos próprios da área para o nível de ensino ao qual ele deve ser aplicado. Em uma análise mais superficial é possível observar figuras coloridas, que facilitam a visualização de detalhes em fotos e tornam o material de mais agradável leitura. Também foi possível verificar o cuidado em citar todo o contexto histórico da física de partículas, desde Demócrito e Leucipo até a descoberta recente das ondas gravitacionais. Além disso, percebi algumas atividades guiadas ao longo da apostila e mais algumas outras de fixação no fim da mesma.

Em uma análise mais criteriosa do conteúdo é possível sugerir algumas modificações e tecer alguns elogios. Com relação à introdução (p. 2 – 4), apesar de tais coisas terem sido relatadas em sala de aula, faltou definir, na apostila, o que é física de partículas, aceleradores de partículas, situar o aluno sobre o que é o CERN e onde ele fica. Também sugiro a reescrita de alguns termos muito técnicos como “(...) células tronco de pluripotência induzida (...)” e “(...) espectroscópicas por raios X (...)” por algo mais acessível aos alunos. Por fim, ressalto uma opinião pessoal de que parafrasear os autores ao invés de citá-los, ou usar apenas notas de rodapé, torna a leitura um pouco mais didática.

O trecho seguinte, da página 5 a 12, possui atividades bem elaboradas e um estudo bem guiado de fácil utilização em sala de aula. Até mesmo o padrão que elas aparecem auxilia a aplicação. Entretanto, sugeriria uma pequena mudança de disposição dos elementos. Deixar a pergunta em uma página

isolada, seguida de uma página em braço, apesar da curiosidade dos alunos em folhear a apostila, poderia diminuir a ocorrência de alunos que a respondem após lerem o texto subsequente sobre o assunto questionado.

A viagem no tempo contida no intervalo da página 13 a 18 contém excelentes figuras e uma divisão didática em etapas: léptons, quarks e partículas mediadoras. Porém é uma viagem onde muitas partículas são descobertas, muitos nomes e símbolos são cunhados, muitos modelos são abolidos e desenvolvidos, muitos aceleradores são construídos e muitos prêmios Nobel são recebidos. Dessa forma não é difícil se perder nessa máquina do tempo. Infelizmente, não sei dizer um modo melhor de estruturar essa etapa que não seja em ordem cronológica, mas talvez marcar de negrito as descobertas de novas partículas possa facilitar a leitura.

Nas páginas 19 e 20 temos a mesma situação das páginas 5 a 12. A pergunta feita na página 19 e a figura representando o modelo padrão, na página 20, estão muito próximas. Isso pode possibilitar que os alunos tentem reproduzir algo parecido com o que se encontra na página seguinte.

As páginas seguintes, 21 e 22, são apenas tabelas informativas sobre os férmions e os bósons que encerram o conteúdo de forma adequada.

Ao final, páginas 23 a 26, existem alguns exercícios que servem de revisão e fixação de todo o conteúdo estudado. É possível perceber o cuidado em escolher os exercícios para que não sejam muito triviais e, ao mesmo tempo, não sejam de alto nível acadêmico.

Como sugestão final consideraria a inserção dos teoremas de conservação (carga, energia, etc.) e de mais dois tópicos. Um deles seria uma discussão ainda aberta na ciência se existem de fato partículas fundamentais na natureza ou sempre é possível dividir a matéria. E a outra seria algo informativo sobre fenômenos e tecnologias que envolvam a física de partículas. Uma sugestão seria explicar o que são os raios cósmicos que são citados na apostila. E outra poderia ser a tomografia por emissão de pósitron que é utilizada em medicina nuclear.

Professor P