

UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA O ESTUDO DO

MODELO PADRÃO

KLEBER DA LUZ BASTOS

JOÃO DOS SANTOS CABRAL NETO



Programa de Pós-Graduação em
Ensino Tecnológico



INSTITUTO FEDERAL
AMAZONAS

DESCRIÇÃO TÉCNICA DO PRODUTO

Título do Produto Educacional: Uma sequência didática para o estudo do Modelo Padrão

Origem do Produto Educacional: Trabalho de Dissertação intitulada “Uma Sequência Didática para o estudo do Modelo Padrão”, desenvolvido no Mestrado Profissional em Ensino Tecnológico do Programa de Pós-Graduação em Ensino Tecnológico do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas (IFAM).

Área de Conhecimento: Ensino de Física

Público-Alvo: Professores e estudantes do Ensino Médio
Categoria deste produto: Didática da sala de aula.

Finalidade: Promover a aprendizagem de conceitos básicos da teoria conhecida como modelo padrão para estudantes do Ensino Médio, favorecida pelos pressupostos da aprendizagem significativa, com processo de ensino organizado por meio de uma sequência didática.

Organização do Produto: Este produto está organizado em 5 unidades temáticas com uma conexão central, possuindo natureza metodológica apontada pelo desenvolvimento sequenciado em seus desdobramentos.

Registro do Produto: Biblioteca Paulo Sarmiento do IFAM - Campus Manaus Centro.

Avaliação do Produto: O produto foi avaliado pelos professores doutores que compuseram a banca de defesa da dissertação.

Disponibilidade: Irrestrita.

Instituições envolvidas: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas, Campus Manaus Centro

Apoio Financeiro: Financiado pelos autores.

Divulgação: Impresso e digital.

Projeto gráfico:

Marcella Sarah (sarah.marcella@gmail.com)

URL do produto:

Idioma: Português

Cidade: Manaus

País: Brasil

Ano: 2023

Biblioteca do IFAM – Campus Manaus Centro

B327s Bastos, Kleber da Luz.
Uma sequência didática para o estudo do modelo padrão / Kleber da Luz Bastos, João dos Santos Cabral Neto. – Manaus, 2023.
72 p. : il. color.

Produto Educacional proveniente da Dissertação - Uma sequência didática para o ensino do modelo padrão. (Programa de Pós-Graduação em Ensino Tecnológico). – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas, *Campus* Manaus Centro, 2023.
ISBN 978-65-85652-18-6

1. Ensino de física. 2. Ensino tecnológico. 3. Modelo padrão. 4. Aprendizagem significativa. 4. I. Cabral Neto, João dos Santos. II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas. III. Título.

CDD 371.33



UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA O ESTUDO DO

MODELO PADRÃO

KLEBER DA LUZ BASTOS
JOÃO DOS SANTOS CABRAL NETO

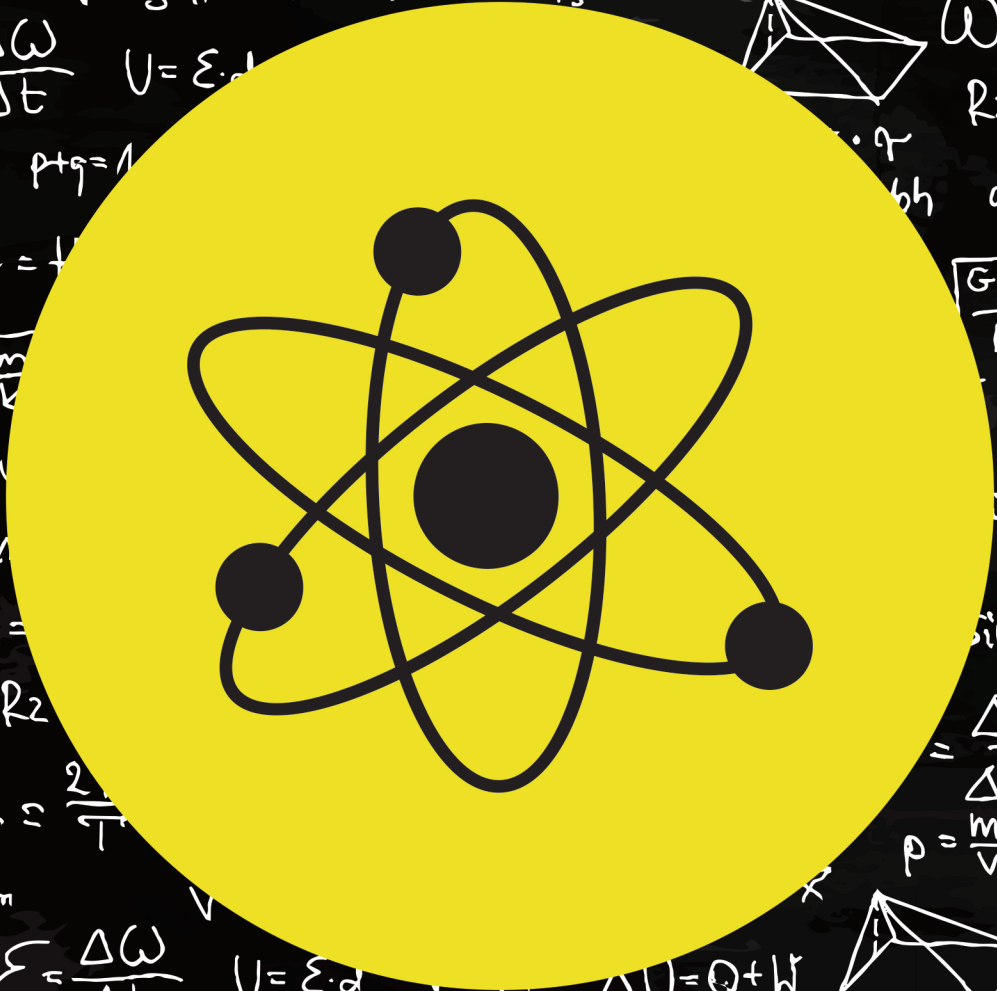


Programa de Pós-Graduação em
Ensino Tecnológico



INSTITUTO FEDERAL
AMAZONAS

$\vec{v} = \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t}$ $f = \frac{1}{T}$ $s = v_0 \cdot t + \frac{1}{2} a \cdot t^2$ Δ $\varepsilon = m \cdot c^2$ $U = \varepsilon \cdot d$ $g = 9.81$
 $\vec{p} = \frac{m}{v}$ $\lambda = v \cdot T$ $R_2 = 6370 \text{ km}$ $U = \varepsilon \cdot d$ $v = h \cdot m$ $\sigma = h \cdot m$ $\vec{v} = \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t}$ $f = \frac{1}{T}$ $s = v_0 \cdot t + \frac{1}{2} a \cdot t^2$ Δ
 $\omega = \frac{\Delta \alpha}{\Delta t} = \frac{2\pi}{T}$ $J = I \cdot \omega$ $v = abh$ $C_p = C_v + R$ $\vec{v} = \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t}$ $f = \frac{1}{T}$ $s = v_0 \cdot t + \frac{1}{2} a \cdot t^2$ Δ
 $R_2 = 6370 \text{ km}$ $v = \frac{4}{3} \pi r^3$ $W = -p \cdot \Delta V$ $\vec{F}_s = -k \cdot \vec{x}$ $p = \frac{m}{v}$ $\lambda = v \cdot T$ $R_2 = 6370 \text{ km}$ $U = \varepsilon \cdot d$
 $\sigma = \omega \cdot r$ $v = abh$ $a^2 + b^2 = c^2$ $\varepsilon = \frac{\Delta W}{\Delta t}$ $U = \varepsilon \cdot d$ $v = \frac{4}{3} \pi r^3$ Δ
 $\frac{1}{2} C \cdot U^2$ $v_1 = \sqrt{\frac{G \cdot M_2}{R_2}} = 7.19 \frac{\text{km}}{\text{s}}$ $p + q = 1$ $R = \frac{h}{m \cdot v}$ Δ
 $T^2 = \frac{4\pi^2}{R^3} = \text{const}$ $p = \frac{F}{S}$ $v = h \cdot m$ $v = \pi r^2$ Δ
 $\sum_{i=1}^n m_i \cdot v_i^2$ $T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$ $T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$ Δ
 $\vec{v} = h \cdot m$ $f = \frac{1}{T}$ $s = v_0 \cdot t + \frac{1}{2} a \cdot t^2$ Δ $\varepsilon = m \cdot c^2$ $U = \varepsilon \cdot d$ g
 $p = C_v + R$ $\vec{v} = \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t}$ $f = \frac{1}{T}$ $s = v_0 \cdot t + \frac{1}{2} a \cdot t^2$ Δ $\varepsilon = m \cdot c^2$ $U = \varepsilon \cdot d$ g
 $\vec{v} = -k \cdot \vec{x}$ $p = \frac{m}{v}$ $\lambda = v \cdot T$ $R_2 = 6370 \text{ km}$ $U = \varepsilon \cdot d$ Δ
 $Q = W$ $C_p = C_v + R$ $\omega = \frac{\Delta \alpha}{\Delta t} = \frac{2\pi}{T}$ $J = I \cdot \omega$ Δ
 $R_2 = 6370 \text{ km}$ $v = abh$ $a^2 + b^2 = c^2$ $\varepsilon = \frac{\Delta W}{\Delta t}$ $U = \varepsilon \cdot d$ $\Delta U = Q + W$ Δ
 $\sigma = \omega \cdot r$ $v = abh$ $a^2 + b^2 = c^2$ $\varepsilon = \frac{\Delta W}{\Delta t}$ $U = \varepsilon \cdot d$ Δ
 $Q \cdot U = \frac{1}{2} C \cdot U^2$ $v_1 = \sqrt{\frac{G \cdot M_2}{R_2}} = 7.19 \frac{\text{km}}{\text{s}}$ $p + q = 1$ $R = \frac{h}{m \cdot v}$ Δ $\varepsilon = \frac{\Delta W}{\Delta t}$ $U = \varepsilon \cdot d$
 $\frac{T_1^2}{R_1^3} = \frac{T_2^2}{R_2^3} = \text{const}$ $p = \frac{F}{S}$ $v = h \cdot m$ $v = \pi r^2$ $W = \frac{1}{2} Q \cdot U = \frac{1}{2} C \cdot U^2$ Δ $\varepsilon = \frac{\Delta W}{\Delta t}$ $U = \varepsilon \cdot d$
 $T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$ $T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$ $J = I \cdot \omega$ T_1^2 T_2^2 Δ $\varepsilon = \frac{\Delta W}{\Delta t}$ $U = \varepsilon \cdot d$ $v = h \cdot m$ $v = \pi r^2$



RESUMO

O presente trabalho é o resultado do projeto de pesquisa com título “Uma sequência didática para o Ensino do Modelo Padrão” organizado na forma de uma sequência que utiliza de jogos digitais e experimentos com materiais de baixo custo como recursos tecnológicos para promover a aprendizagem de conceitos básicos do modelo padrão. A proposta é apresentada em 5 unidades com dinâmica da Teoria da Aprendizagem Significativa, organizada a partir do alinhamento construtivo, tendo a taxonomia SOLO como referencial para o desempenho da aprendizagem. A qualidade da aprendizagem é deferida pela utilização de rubricas, seguindo critérios claros e objetivos sobre o que se deve apresentar em diferentes níveis de desempenho.

Palavras chaves: Ensino de Física, Modelo Padrão, Aprendizagem Significativa.

ABSTRACT

The present work is the result of the research project with title “a didactic sequence for the teaching of the standard model” organized in the form of a sequence that uses digital games and experiments with low cost materials as technological resources to promote concept learning Basic standard model. The proposal is presented in 5 units with a dynamic of meaningful learning theory, organized from constructive alignment, with soil taxonomy as a reference for learning performance. The quality of learning is granted by the use of rubrics, following clear criteria and objectives about what should be presented at different levels of performance.

Keywords: Physics Teaching. Standard Model. Meaningful Learning.



SUMÁRIO

ENSINO E
APRENDIZAGEM | **09**

A TABELA PERIÓDICA
DA FÍSICA | **14**

UNIDADE 01

AULA 01
CONHECIMENTOS
PRÉVIOS | **29**

UNIDADE 02

AULA 02
DESCOBRIR
SEM VER | **31**

UNIDADE 03

AULA 03
DESCOBRINDO O TAMANHO
DA BOLA | **35**

AULA 04
SIMULANDO OS
MODELOS DE THOMSON E
RUTHERFORD | **40**

AULA 05
CARGA ELÉTRICA NUM
CAMPO MAGNÉTICO
UNIFORME | **40**



UNIDADE 04

AULA 06
DOCUMENTÁRIO VIAGEM
AO CERN | **49**

AULA 07
SPRACE GAME | **50**

UNIDADE 05

AULA 08
QUEM EU SOU? | **54**

AULA 09 | **57**

CONSIDERAÇÕES | **58**

REFERÊNCIAS | **59**

CARTAS - QUEM EU
SOU? | **60**

APRESENTAÇÃO

Este produto educacional origina-se de estudos desenvolvidos no Programa de Pós-graduação em Ensino Tecnológico (PPGET) no curso de Mestrado Profissional em Ensino Tecnológico do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas (IFAM), construído sobre a orientação do Professor Dr. João dos Santos Cabral Neto, sendo destinado aos estudantes e professores do Ensino Médio do componente curricular Física.

O produto está organizado na forma de uma sequência didática que aborda conceitos básicos da Física de Partículas Elementares (FPE) para o conhecimento do Modelo Padrão, fundamentada na Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS) de David Ausubel. Tal teoria defere que novos conhecimentos são concebidos a partir da ancoragem de conhecimentos prévios, sob as condicionantes de um material potencialmente significativo e predisposição do aprendiz para aprender.

Além de aspectos envolvidos no ensino da FMC no Ensino Médio, este produto foi pensado em função da necessidade de novas deliberações metodológicas, aplicabilidades em sala de aula e como auxílio a professores de física.

A sequência didática é dividida em cinco unidades temáticas, possuindo natureza metodológica em um desenvolvimento sequencial, cada uma tendo objetivo de aprendizagem, apoiando ação subsequente. As unidades buscam respostas sobre o entendimento da composição da estrutura da matéria a partir do estudo sobre os modelos atômicos clássicos até o Modelo Padrão e seus postulados. Busca-se, assim, contribuir com novas práticas para o ensino FMC.





ENSINO [®] APREN- DIZAGEM ₊



CARO PROFESSOR,

Esta sequência didática está organizada em 5 unidades temáticas e utiliza dos pressupões da Aprendizagem Significativa para nortear as ações de ensino e aprendizagem. Para avaliar a aprendizagem propomos rubricas aliadas a taxonomia Solo.

UNIDADE	TEMA	AULA	DURAÇÃO
01	Conhecimento prévios	Averiguação de conhecimentos prévios e Organizadores prévios	1 50min
02	Descobrimdo sem ver	O que há dentro da caixa?	2 50min
		Descobrimdo tamanho da bola	3 50min
03	Experimentação na produção de conhecimento	Simulando os modelos de Thomson e Rutherford	4 50min
		Carga elétrica num campo magnético uniforme	5 50min
04	Identificando partículas elementares	Documentário viagem ao CERN (vídeo)	6 50min
		Sprace Game	7 50min
05	O modelo padrão	Jogo “Quem eu sou?”	8 50min
		O Modelo Padrão	9 50min

Portanto, planeja-se para o cumprimento da sequência um conjunto de 9 aulas, totalizando carga horária de 7h30min. Essa carga horária é e pode ser ajustada conforme a realidade da Escola e/ou da sala de aula.

No quadro 2 temos um ensaio para relação entre o objeto de conhecimento da Física envolvido no Modelo Padrão e o desenvolvimento de competência e habilidades preconizadas pela Base Nacional Comum Curricular (BNCC).

Para as ações de ensino apresentamos a seguir os fundamentos da Física de Partículas Elementares que levam ao Modelo Padrão, a teoria educacional que orienta a dinâmica de ensino e aprendizagem e o modo como pode-se averiguar e qualificar o desenvolvimento da aprendizagem.

Para implementar as aulas é necessário atenção aos planos de aula, porque o planejamento da aula e a elaboração de atividades para o ensino são fundamentais para o atingir os resultados pretendidos da aprendizagem. Cabe ressaltar que o planejamento tem por princípio a ação docente, subsidia a reflexão da prática e pode conduzir ao estudo de sua própria ação.

Para ter acesso aos planos de aula abra a câmera do smartphone, aponte a câmera para o código QR e toque no banner que aparece na tela.

COMPETÊNCIA GERAL

Empatia e Cooperação
Autoconhecimento e Autocuidado
Conhecimento
Pensamento Científico, Crítico e Criativo

Competência específica 1: Analisar fenômenos naturais e processos tecnológicos, com base nas interações e relações entre matéria e energia, para propor ações individuais e coletivas que aperfeiçoem processos produtivos, minimizem impactos socioambientais e melhorem as condições de vida em âmbito local, regional e global.

Competência específica 2: Analisar e utilizar interpretações sobre a dinâmica da Vida, da Terra e do Cosmos para elaborar argumentos, realizar previsões sobre o funcionamento e a evolução dos seres vivos e do Universo, e fundamentar e defender decisões éticas e responsáveis.

Competência específica 3: Investigar situações-problema e avaliar aplicações do conhecimento científico e tecnológico e suas implicações no mundo, utilizando procedimentos e linguagens próprios das Ciências da Natureza, para propor soluções que considerem demandas locais, regionais e/ou globais e comunicar suas descobertas e conclusões a públicos variados, em diversos contextos e por meio de diferentes mídias e tecnologias digitais de informação e comunicação (TDIC).

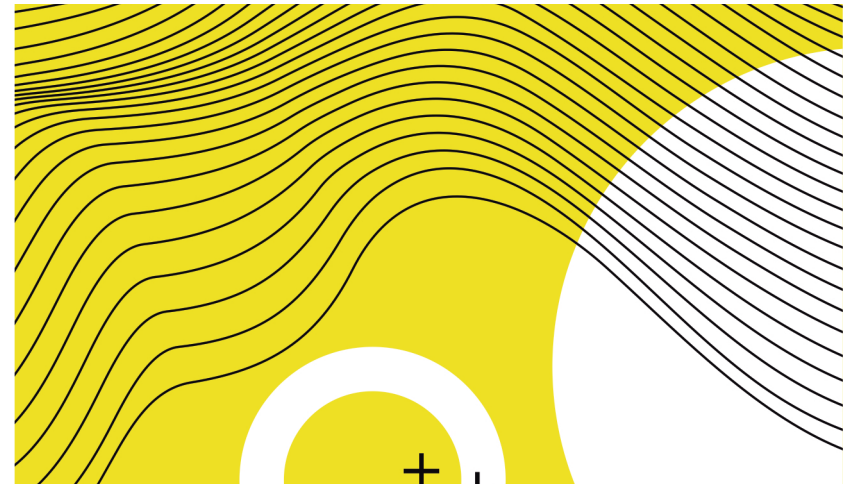
HABILIDADE	▪ EM13CNT101	▪ EM13CNT203	▪ EM13CNT303
	▪ EM13CNT103	▪ EM13CNT205	▪ EM13CNT304
	▪ EM13CNT104	▪ EM13CNT209	▪ EM13CNT306
	▪ EM13CNT201	▪ EM13CNT301	▪ EM13CNT307
	▪ EM13CNT202	▪ EM13CNT302	▪ EM13CNT309

OBJETO DE CONHECIMENTO	▪ Modelos atômicos: clássico e quântico.	▪ Aceleradores de partículas: dos cinescópios ao LHC.
	▪ Cinemática relativística.	▪ Definição de partícula elementar e suas propriedades.
	▪ Núcleo do átomo.	▪ Partícula e antipartícula.
	▪ Forças Nucleares e as forças Fundamentais da Natureza.	▪ O modelo do quark.

UMA BREVE DISCUSSÃO SOBRE APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA

Embora uma teoria de aprendizagem não diz como ensinar devemos ensinar um determinado objeto de conhecimento, pode oferecer princípios gerais para a dinâmica do processo de ensino e aprendizagem e pode oferecer elementos que favoreçam a eficácia da aprendizagem. A Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS), que norteia as ações de ensino e aprendizagem desta sequência didática é uma teoria que pertence à corrente cognitivista.

A corrente cognitivista vê o processo de aprendizagem como processo de aquisição de conhecimentos por meio do qual a pessoa atribui significados à realidade em que está inserida. A compreensão de conceitos, a transformação do pensamento, o armazenamento de informação e seu uso são características da TAS e envolve conteúdos conceituais, procedimentais e atitudinais. A palavra “significativo” nesta



teoria refere-se à ação de dar sentido ao que se aprende por meio da interação entre conhecimentos existentes na mente e o novo conhecimento.

A TAS estabelece duas condições essenciais para a aprendizagem significativa: (1) o material de aprendizagem deve ser potencialmente significativo e (2) o aluno deve estar predisposto para aprender.

O material utilizado no processo de ensino e aprendizagem, por exemplo o livro didático, deve interagir de maneira substantiva com conhecimentos existentes na estrutura cognitiva (mente) do aluno e que seu conteúdo seja relevante. Substantiva porque favorece a atribuição dos novos conhecimentos significados aceitos pela ciência que se ensina e aprende; relevante porque estabelece relação com conhecimentos prévios existentes na mente do aluno.

Cabe ressaltar que

“[...] o significado está nas pessoas, não nos materiais.” (MOREIRA, 2012, p.25).

A segunda condição é a mais difícil e não se trata de motivar o aluno, mas de algum modo ele deve estar predisposto a aprender, a dedicar tempo a leitura, aos estudos. Não é exclusivamente estudar para alcançar boas notas, mas dar significado aquilo que aprende na sua vida. E as ações do professor para envolver o aluno no tema podem favorecer o alcance dessa condição.

Há duas variáveis que permitem avaliar o desenvolvimento da aprendizagem significativa: (1) diferenciação progressiva e (2) reconciliação integrativa.

A diferenciação progressiva (DF) decorre do processo de atribuição de novos significados a um dado conhecimento (ou conceito): a cada etapa de interação entre o conhecimento prévio (aquela já existente da estrutura cognitiva do aluno, algo similar ao pré-requisito) e o novo conhecimento o aluno atribui novos significados. Dessa interação o aluno modifica sua compreensão de determinado conceito, ficando cada vez mais elaborado.

A reconciliação integrativa (RI) ocorre simultaneamente a DF. O aluno, dedicado aos estudos, vai resolvendo inconsistências, dirimindo dúvidas ao mesmo tempo que

enriquece sua compreensão de determinado conceito. Na prática a DF e RI dependem da organização do tempo destinado aos estudos e da perseverança diante de dificuldades. E como trata-se de um processo de interação, os conhecimentos novos e os prévios se modificam a cada momento da RI, os novos ganham significados e os prévios ficam mais elaborados.

Além dessas variáveis há outra variável, o conhecimento prévio. Ela é uma variável que, segundo Ausubel (2000), mais influência na aprendizagem. Mas, o que fazer quando o aluno demonstra não ter conhecimentos prévios ou mesmo esse estejam instáveis (há imprecisão na declaração de conceitos) na estrutura cognitiva? Ausubel, Novak e Hanesian (1980), propõem utilizarmos uma estratégia didática dos Organizadores Prévios, que tem a função de

“[...] servir de ponte entre o que o aprendiz já sabe e o que ele precisa saber para que possa aprender com sucesso o novo material [...]”
(MOREIRA, 2012, p.105).

Eles devem apresentar as seguintes características: (1) identificam e explicitam o conteúdo que é pré-requisito

para a aprendizagem de um novo conhecimento, (2) discutem o conteúdo pré-requisito sob uma perspectiva geral, um nível mais alto de abstração e (3) devem apresentar um contexto ideacional que possa ser utilizado na aprendizagem do novo conhecimento (MOREIRA, 2012). A Unidade I deste produto educacional apresenta uma proposta de organizador com vistas a aprendizagem de conceitos relacionados ao Modelo Padrão.

UM REFERENCIAL PARA A AVALIAÇÃO DA APRENDIZAGEM

Na dinâmica da TAS a avaliação observa a compreensão e captação de significados. O aluno que aprende significativamente transfere o conhecimento aprendido a situações para ele novas:

“[...] um dado conceito não se refere a um só tipo de situação e uma situação não pode ser analisada com um só conceito.” (MOREIRA, 2012, p.67).

Uma avaliação no contexto da TAS conduz o aluno a fazer escolhas, tomar decisões, que requerem dele mais do que respostas dicotômicas ou reprodução de procedimentos na solução um problema. Portanto, sugerimos para esta sequência didática um conjunto de rubricas baseadas no Alinhamento Construtivo e Taxonomia Solo de Biggs e Tang (2011) ao final de cada unidade que pode servir de referencial para a avaliação.



Conheça importantes referências a respeito da Teoria da Aprendizagem Significativa.

AUSUBEL, D. P. **Aquisição e Retenção de Conhecimentos:** Uma Perspectiva Cognitiva. Tradução: Lígia Teopisto. 10 Ed. Lisboa: Paralelo Editora - LDA, 2000.

AUSUBEL, D. P.; NOVAK, J. D.; HANESIAN, H. **Psicologia Educacional.** Trad. Eva Nick e outros. Rio de Janeiro: Interamericana. 1980.

MOREIRA, M. A. **Teorias da Aprendizagem.** São Paulo: EDU, 1999.

MOREIRA, M. A. **Aprendizagem Significativa: a teoria e textos complementares.** 1ª Ed. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2012.

MENDONÇA, A. P.; Alinhamento Construtivo: Fundamentos e Aplicações. **In:** Gonzaga, Amarildo M. (Organizador). Formação de Professores no Ensino Tecnológico: Fundamentos e Desafios. 1a. ed. ISBN 978-85-444-0369-3. Curitiba, PR: CRV, 2015. p. 109-130.

MENDONÇA, A. P.; COELHO, I. M. W. Rubrica e suas contribuições para avaliação de desempenho de estudantes. **In:** Souza, Ana C. R. de. et. al. (Organizadores). Formação de Professores e Estratégias de Ensino: perspectivas teórico-práticas. 1ª. ed. ISBN: 978-85-473-1021-9, Curitiba: Appris, 2018.

BASTOS, K L. **Uma sequência didática para o ensino do Modelo Padrão.** 2023. 173f. Dissertação (Mestrado em Ensino Tecnológico). Programa de Pós-Graduação em Ensino Tecnológico, Instituto Federal do Amazonas, Manaus.



A “TABELA PERIÓDICA” DA FÍSICA

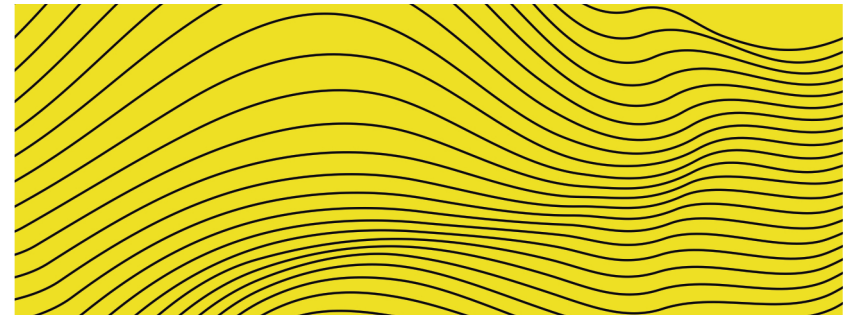
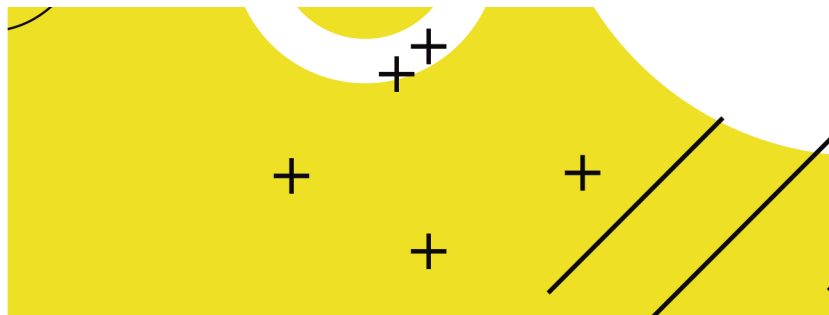


Sabemos pelo princípio da incerteza de Heisenberg que não é possível ver um átomo diretamente, isto é, usar um microscópio para vê-lo a fim de saber como ele é. Contudo, muitos cientistas descobriram coisas a respeito do átomo utilizando de experimentos em que medidas e propriedades foram determinadas de modo indireto. Por exemplo, você consegue saber o tamanho de uma bolinha de vidro (bola de gude) sem se quer tocar nela? Mas, antes de responder essa pergunta, vamos apresentar uma breve discussão sobre as teorias que levaram ao conhecimento do átomo.

O texto a seguir pode ser utilizado como um organizador de conhecimentos prévios (além do vídeo indicado na unidade anterior) para aprendizagem de conceitos relacionados ao Modelo Padrão.

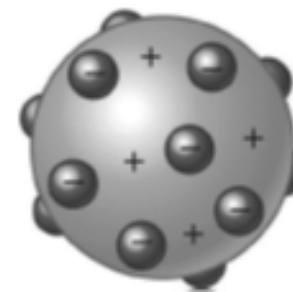
MODELOS ATÔMICOS

Da antiguidade até os dias atuais o homem tem buscando compreender do que a matéria é constituída, e conhecer o que forma todas as coisas é algo fascinante na ciência. Na jornada pelo conhecimento da matéria partiu-se da crença da existência de um elemento formador básico até alcançarmos a compreensão necessária sobre ele e comprovarmos sua existência. Esse elemento formador da matéria recebeu o nome de átomo, nome advindo das ideias de Leucipo (500 a.C. – 430 a.C.) e Demócrito (460 a.C. – 360 A.C.): tudo que existia deveria ser composto de um elemento que tinha a menor quantidade possível de matéria, que alcançado esse limite não seria mais possível dividi-lo.



Passados vários séculos, a busca pelo átomo ganhou força quando a Física e a Química, consolidadas como Ciência, começaram a explicar uma série de fenômenos cuja existência do átomo era crucial para a formulação de teorias. Por exemplo, John Dalton (1776 – 1844) formulou, em 1803, uma teoria atômica capaz de prever e explicar fenômenos químicos a partir do conceito de peso atômico de elementos químicos: o átomo seria um corpúsculo maciço e esférico (Figura 1).

Figura 1: Modelo Atômico de Thomson



Fonte: cienciaeacao.com

Figura 2: Modelo Atômico de Dalton



Fonte: todamateria.com

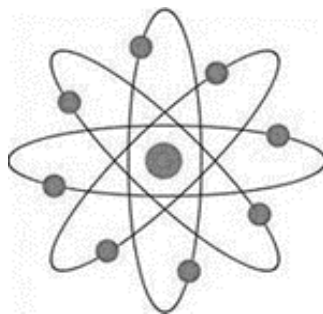
Na década de 1910 havia inúmeras evidências experimentais que condiziam a ideia de o átomo conter cargas elétricas positivas e negativas. Os elétrons seriam as cargas negativas e o átomo deveria ter em sua estrutura uma carga de mesmo valor, em módulo, da carga total dos elétrons, ou seja, uma carga positiva, para manter a condição natural do átomo ser neutro quanto a carga elétrica. E para explicar essas evidências, Joseph John J. Thomson (1856 - 1940), em 1904, apresentou um modelo de átomo similar ao modelo de Dalton mas sob a perspectiva da carga elétrica: uma esfera maciça de pequena massa com carga positiva, onde estavam encrustados os elétrons (Figura 3). Nesse mesmo ano, Hantaro Nagaoka (1865 - 1950) propôs um modelo para o átomo inspirado no planeta saturno: os elétrons formariam um anel orbitando em torno de um núcleo maciço (Figura 4) com carga elétrica positiva. Assim, surge uma nova estrutura para o átomo.

Figura 3: Modelo Atômico da Nagaoka



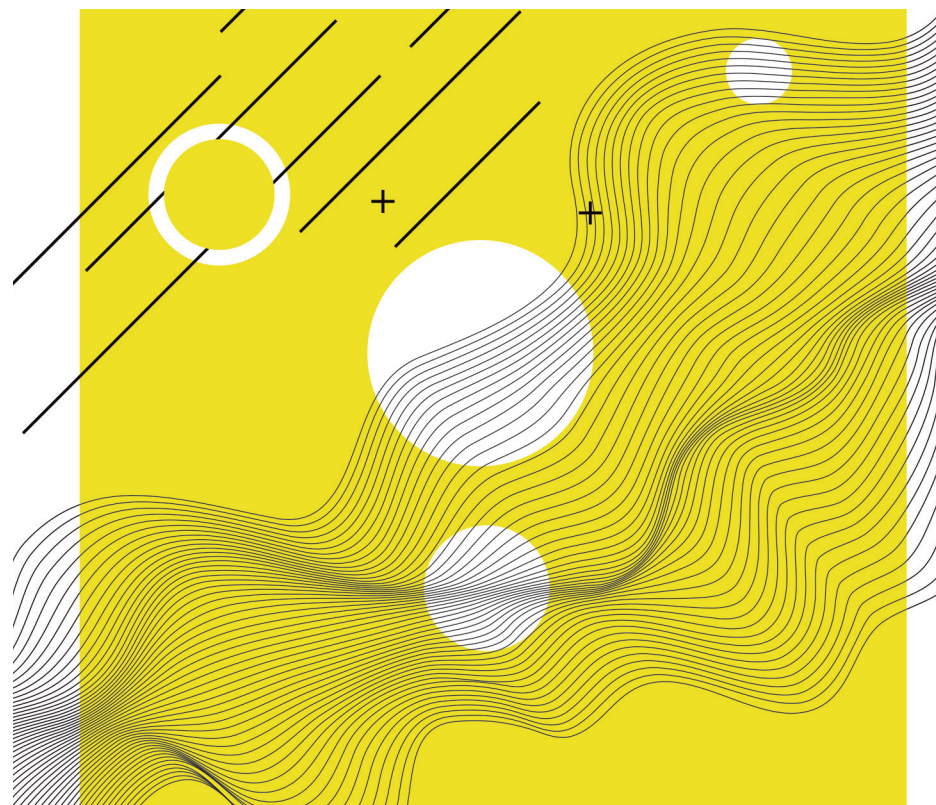
Fonte: fisicacuantica.es

Figura 4: Modelo Atômico de Rutherford



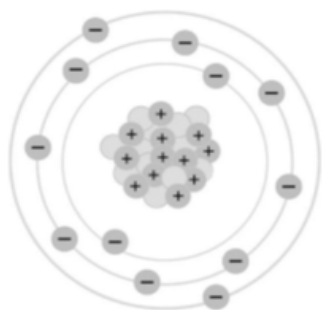
Fonte: cienciaemacao.com

Ernest Rutherford (1871 - 1937) e seus colaboradores envolvidos com o estudo do espalhamento de partículas (que tem a mesma composição do núcleo do átomo de hélio, dois prótons e dois nêutrons) que incidiam sobre uma fina lâmina de ouro, revelaram ao mundo que o átomo não poderia ser uma esfera maciça, corroborando com a ideia de Nagaoka. O átomo continha uma estrutura com uma região pequena, densa, de carga positiva denominada de núcleo e os elétrons estariam orbitando este núcleo (Figura 5). Mas, havia outros fenômenos relacionados ao átomo cujos estudos levaram a nova compreensão sobre ele.



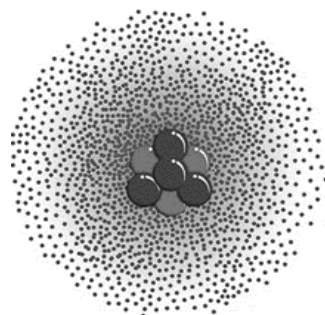
Dos estudos que buscavam explicar a estabilidade do átomo e a emissão de luz, em diferentes cores, de elementos químicos (por exemplo, o cloreto de sódio quando aquecido no bico de Bunsen emite luz amarela intensa) surgiu uma nova teoria atômica, a teoria de Niels Bohr (1885-1962) apresentada em 1913. Esta teoria trouxe ideias de quantização (energia e momento angular) para a estrutura do átomo, corroborando com a ideia da existência de um núcleo e das órbitas dos elétrons. Disso, temos o chamado modelo atômico Rutherford-Bohr (Figura 6).

Figura 5: Modelo Atômico de Rutherford-Bohr



Fonte: didactalia.com

Figura 6: Modelo Atômico de Schrödinger



Fonte: todamateria.com

Os conhecimentos construídos sobre a estrutura da matéria aliado aos avanços tecnológicos provocaram mudanças conceituais nunca antes visto até o século XX, tais como: quantum de luz (fóton), dualidade onda-partícula, princípio da incerteza entre outros. O elétron, partícula elementar e constituinte do átomo ora comporta-se como partícula, ora como onda. E para formalizar estes novos conhecimentos Erwin Schrödinger (1887 – 1961) em conjunto com outros cientistas (Heisenberg, Born, Jordan, Dirac, Pauli, Wiener,

Schrödinger entre outros) criaram uma nova mecânica, a mecânica quântica. Isso afetou o modo como pensamos o átomo, gerando a necessidade de confecção de um novo modelo que passou a ser chamado modelo atômico de Schrödinger, em que os elétrons não ocupam mais orbitas bem definidas mas regiões em torno do núcleo de maior probabilidade de existência.

Pensando sobre como seria o núcleo do átomo, as cargas positivas (prótons), confinadas no núcleo, próximas umas das outras, não demonstravam experimentar a força repulsiva, que desestabilizaria o núcleo do átomo (o que inviabilizaria a existência da matéria como conhecemos). A explicação, grosso modo, está na existência de outra partícula chamada nêutron (veja as figuras 6 e 7, na ilustração do núcleo há “bolinhas” sem o sinal “+”, figura 6, e com cores mais claras, figura 7), que deveria ser responsável por manter cargas positivas próximas umas das outras neutralizando o efeito repulsivo. Em resumo, o átomo, que antes era considerado com a partículas elementar, revelou-se ser constituído de partículas: elétrons, prótons e nêutrons e, portanto, havia outras partículas mais elementares que ele. E, em particular, o núcleo desperta o interesse da comunidade científica para conhecer mais sobre sua dinâmica.

O NÚCLEO DO ÁTOMO

Em 1932, James Chadwick (1891 – 1974) provou a existência do nêutron – uma partícula de carga neutra cuja massa difere muito pouco da massa do próton. Sua descoberta encerra o período clássico da Física que estuda a estrutura da matéria, e nunca na história da ciência havia-se avançado tanto para responder “do que a matéria é constituída”. Mas a descoberta do nêutron não foi suficiente para responder a seguinte pergunta: o que mantém os prótons dentro do núcleo?

Para responder a isso, o físico japonês Hideki Yukawa (1907 – 1981), em 1935, propôs que para os prótons permanecessem juntos aos nêutrons seria necessário a existência de uma nova força muito mais poderosa que a força eletromagnética (repulsiva) e por isso denominada de força “forte” (força de coesão). Tal força teria uma natureza diferente: a interação mútua entre prótons e nêutrons aconteceria por meio da troca de uma partícula chamada mediadora. Essa partícula foi prevista teoricamente e descoberta em 1947, e contou com a participação do físico brasileiro César Lattes (1924 – 2005). A partícula recebeu o nome méson porque sua

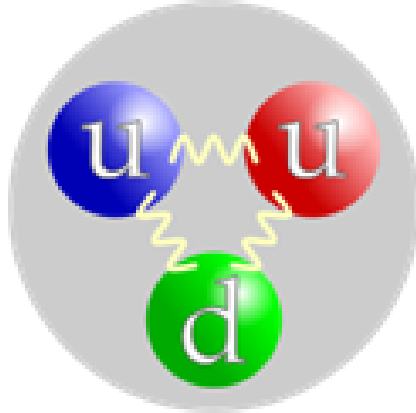
massa tem valor entre a massa do elétron e a massa do próton, e há dois tipos: méson π e o méson μ .

A existência de novas partículas na estrutura do átomo levaria os físicos a proposição de uma nova teoria capaz de explicar estas novas descobertas, surge a teoria da Cromodinâmica Quântica.

Em 1961 Murray Gell-Mann (1929 – 2019) e Kazuhito Nishijima (1926 – 2009) propuseram que algumas características dos prótons e nêutrons só poderiam ser definidas se alguns outros elementos pudessem coexistir dentro dos prótons e nêutrons. Essa ideia muda a concepção de partícula elementar (lembramos que no início desta discussão o átomo era considerado partícula elementar) porque prótons e nêutrons deixaram de ser elementares e, assim, deveria ter uma estrutura: os quarks (Figura 7). E para que estes quarks pudessem ficar confinados dentro do próton ou nêutron deveria haver uma espécie de “cola” muito poderosa. Essa ideia é formalizada com a existência de outra partícula mediadora da força que mantém os quarks unidos chamada glúon (do inglês glue cuja tradução é cola).

Experimentos confirmaram a existência dos quarks, mas não só isso, mostraram que eles são de vários tipos e foram organizados em três famílias. Na figura 7 podemos ver os tipos de quarks e suas famílias: família I composta de quarks up e down, família II com quarks charm e strange e família III com quarks top e bottom. Eles recebem esses nomes em função de suas propriedades (carga elétrica, massa e spin). No Tabela 1 apresentamos as propriedades.

Figura 7: Representação do próton composto de dois quarks *up* e um *down*.



Fonte: educamaisbrasil.com

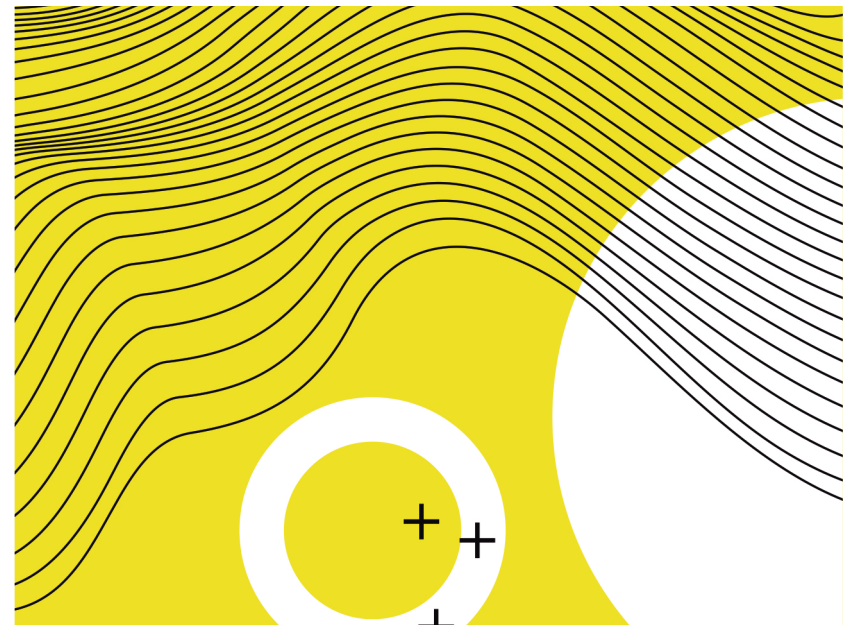
Estas descobertas revelaram ao mundo uma realidade que mudou a maneira de conceber qual é a constituição básica da matéria. Muitas descobertas nesta nova área da Física, intitulada Física de Partículas Elementares cuja fundamentação teórica está nas teorias Quântica de Campos e na Cromodinâmica Quântica, levaram a necessidade de organizar as várias partículas elementares segundo suas propriedades.

Tabela 1: Propriedades dos Quarks

PARTÍCULA	SÍMBOLO	CARGA	MASSA (MeV/c ²)	SPIN
up	u	+2/3	2,2	1/2
down	d	-1/3	4,7	
charm	c	+2/3	1.280	
estrange	s	-1/3	96	
top	t	+2/3	173.100	
bottom	b	-1/3	4.180	

Fonte: Adaptado de Abdalla (2006)

Veja na Tabela 1 algo interessante: a carga elétrica de um quark tem valor fracionada da carga elétrica do elétron, que antes era considerada a carga elétrica elementar. O elétron, diferentemente do próton e nêutron, é uma partícula elementar porque não apresenta estrutura interna e tem seu lugar na tabela periódica da Física ou **Modelo Padrão**.



LINHA DO TEMPO

1800

1803

John Dalton

(1776 – 1844) formulou, em 1803, uma teoria atômica capaz de prever e explicar fenômenos químicos a partir do conceito de peso atômico de elementos químicos: o átomo seria um corpúsculo maciço e esférico.

John Dalton



Joseph J. J. Thomson



Ernest Rutherford



Niels Bohr



1904

Hantaro Nagaoka

(1865 - 1950) propôs um modelo para o átomo inspirado no planeta saturno: os elétrons formariam um anel orbitando em torno de um núcleo maciço com carga elétrica positiva.

1904

Joseph John Thomson

(1856 - 1940), em 1904, apresentou um modelo de átomo similar ao modelo de Dalton mas sob a perspectiva da carga elétrica: uma esfera maciça de pequena massa com carga positiva, onde estavam os encrustados os elétrons.

1913

Niels Bohr

a teoria de Niels Bohr (1885-1962) trouxe ideias de quantização (energia e momento angular) para a estrutura do átomo, corroborando com a ideia da existência de um núcleo e das órbitas dos elétrons. Disso, temos o chamado modelo atômico Rutherford-Bohr.

1932

James Chadwick

(1891 - 1974) provou a existência do nêutron - uma partícula de carga neutra cuja massa difere muito pouco da massa do próton. Sua descoberta encerra o período clássico da Física que estuda a estrutura da matéria, e nunca na história da ciência havia-se avançado tanto para responder "do que a matéria é constituída".

1935

Hideki Yukawa

(1907 - 1981), em 1935, propôs que para os prótons permanecessem juntos aos nêutrons seria necessário a existência de uma nova força muito mais poderosa que a força eletromagnética (repulsiva) e por isso denominada de força "forte" (força de coesão).

1947

César Lattes

Tal força teria uma natureza diferente: a interação mútua entre prótons e nêutrons aconteceria por meio da troca de uma partícula chamada mediadora. Essa partícula foi prevista teoricamente e descoberta em 1947, e contou com a participação do físico brasileiro César Lattes (1924 - 2005).

1961

Murray Gell-Mann (1929 - 2019) e Kazuhito Nishijima (1926 - 2009)

propuseram que algumas características dos prótons e nêutrons só poderiam ser definidas se alguns outros elementos pudessem coexistir dentro dos prótons e nêutrons. Essa ideia muda a concepção de partícula elementar (lembramos que no início desta discussão o átomo era considerado partícula elementar) porque prótons e nêutrons deixaram de ser elementares e, assim, deveria ter uma estrutura: os quarks.

2000

ACELERADOR DE PARTÍCULAS

Você conhece qual tecnologia é usada para descobrir as partículas elementares que compõem o Modelo Padrão (Figura 7)? A tecnologia é chamada de acelerador de partícula e seus detectores e o maior deles é o *Large Hadron Collider* (LHC) que fica no Centro Europeu para Pesquisa Nuclear (CERN), localizado entre as fronteiras da França e Suíça.

O que é o CERN?

(Legendado) - YouTube



Você sabia que em nossas casas tínhamos acelerador de partículas? (Talvez algumas ainda tenham!) As televisões de antigamente (TV de tubo) para formar a imagem na tela usavam “tubo de imagem”, nome mais popular, cinescópio nome técnico, que é um acelerador de partícula. A partícula

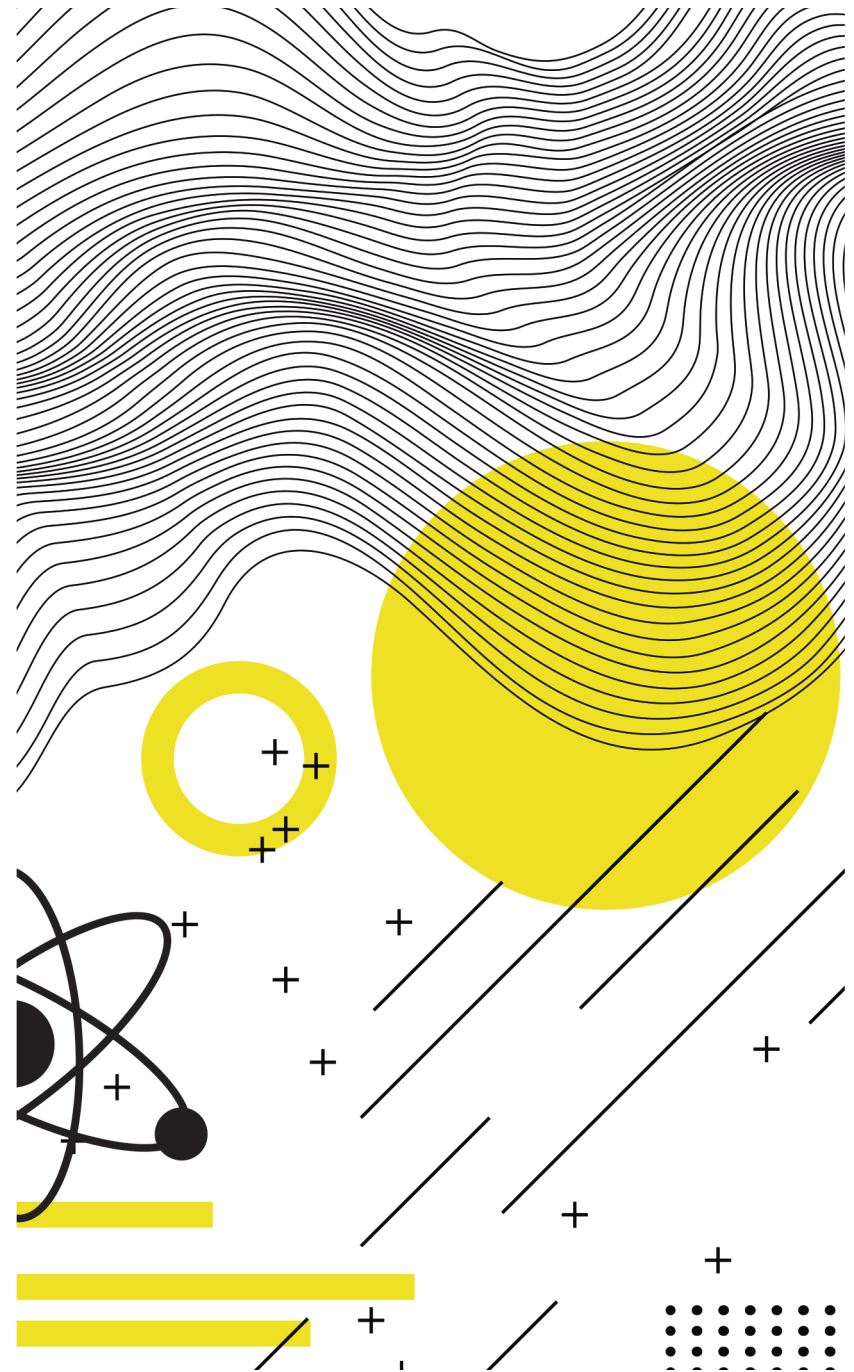
utilizada é o elétron (feixe de elétrons), que ao colidir num ponto da tela da TV (onde há material fosforescente) libera energia na forma de luz visível (fótons de baixa frequência). E para formar uma imagem completa, o feixe de elétrons varre toda a tela da TV. Já os aceleradores como o LHC, nas pesquisas da Física de Partículas Elementares (FPE), utilizam, além de elétrons, prótons, pósitron (irmão gêmeo do elétron mas com carga elétrica positiva), múons (méson μ), píons (méson π) entre outras.

O princípio básico de funcionamento do LHC (ou qualquer outro acelerador de partícula) é fazer com que um feixe de partículas acelerada colida com outro cujo resultado é observado por meio de detectores, que mede e armazena dados sobre diversos tipos de eventos que ocorrem dentro do acelerador.

ANTIPARTÍCULA

A Ciência é o conhecimento que explica, interpreta e prevê fenômenos a partir da formulação de leis. Tais leis advêm da observação, da regularidade de fatos, da capacidade de criação, da inteligência humana, que são comprovadas experimentalmente. E no campo da FPE as leis são aqueles pertencentes a Física Quântica e a Relatividade de Einstein cujos resultados de suas aplicações levaram os físicos a prever a existência de várias partículas. A comprovação experimental de tais previsões mostra a coerência das ideias e proporciona segurança (ainda que provisória) nas teorias.

Desse modo, além das partículas já mencionadas nesta breve discussão, os estudos teóricos mostraram que havia outro tipo de partícula elementar: para todo tipo de partícula elementar deve existir uma *antipartícula*. Por exemplo, o pósitron é o *antielétron*, e vice-versa, o elétron é o *antipósitron*, que correspondem a partículas com a mesma massa mas com carga elétrica opostas. Contudo, é comum pensar no elétron como partícula e o pósitron como *antipartícula*.

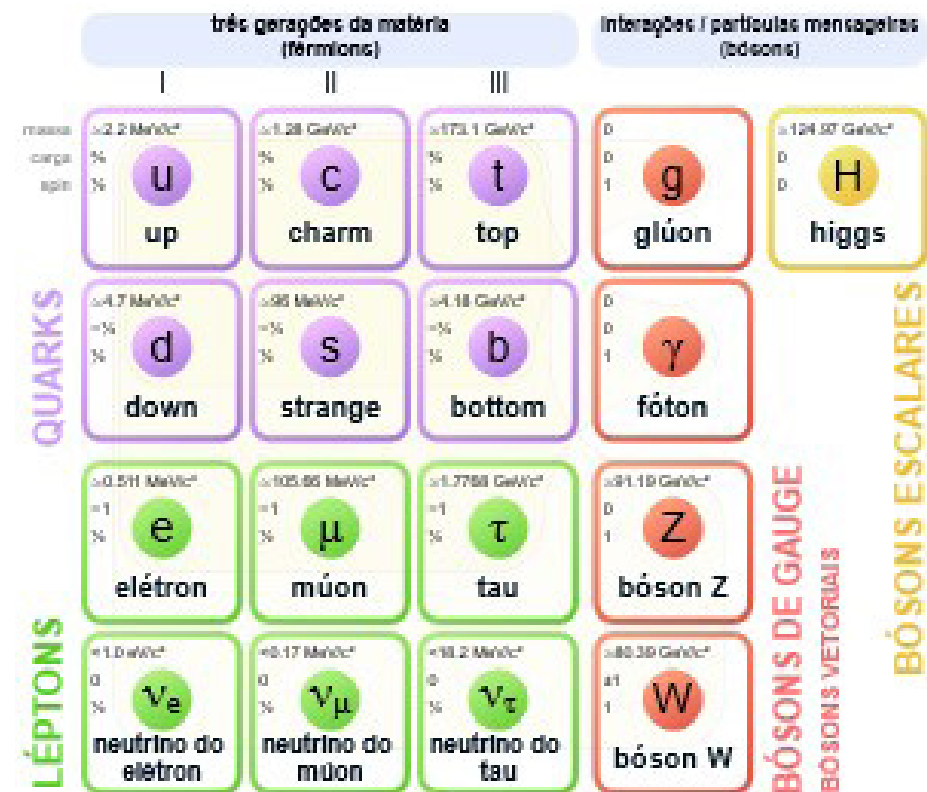


MODELO PADRÃO

Os recursos tecnológicos empregados nos aceleradores de partículas e detectores possibilitaram a descoberta de um conjunto de partículas elementares que exigiu da Física um modo de organizá-las. Algo desse tipo já havia sido implementado quando Dmitri Ivanovitch Mendeleev (1834 - 1907) propôs uma organização dos elementos químicos que vinham sendo descoberto pela Física e Química, para isso utilizou o número atômico dos elementos (mas outras propriedades também são consideradas, por exemplo, densidade e distribuição eletrônica), formando grupos ou famílias, disposto em colunas, gerando a Tabela Periódica do Elementos Químicos (ou simplesmente Tabela Periódica), hoje com 118 elementos químicos.

A Tabela Periódica da Física organiza as partículas elementares de acordo com suas propriedades: massa, carga elétrica e spin, e também utilizada da ideia de grupo ou família. O conjunto constituído da Teoria Quântica de Campos, da Cromodinâmica Quântica, da Relatividade e a organização ou classificação das partículas elementares formam o que chamamos de Modelo Padrão, que é representado na figura 8.

Figura 8: Modelo Padrão (Tabela periódica da Física)



Fonte: ICTP-SAIFR.org (adaptado)

Observando a Figura 8, encontramos os grupos dos quarks, dos léptons e bósons. (O grupo dos quarks foi mencionado anteriormente) O grupo dos léptons (no grego significa leve) é formado de 06 (seis) partículas elementares: elétron, múon, tau, neutrino do elétron, neutrino do múon e neutrino do tau. O grupo dos bósons é constituído de 04 (quatro) bósons de gauge e o bóson de Higgs.

O neutrino é uma partícula elementar sem carga elétrica que surge do processo de decaimento chamada decaimento beta. O decaimento beta ocorre quando um nêutron, no núcleo do átomo, sofre transmutação para um próton emitindo um elétron (partícula e^-) e um neutrino do elétron (ν_e). Por exemplo, o potássio (K) é um elemento químico facilmente encontrado na natureza e são conhecidos 24 isótopos de K, sendo que três deles ocorrem naturalmente: $^{39}_{19}\text{K}$ (com 93,3%), $^{40}_{19}\text{K}$ (com 0,0117%) e $^{41}_{19}\text{K}$ (com 6,7%). Desses o $^{40}_{19}\text{K}$ é instável e decai na forma $^{40}_{19}\text{K} \rightarrow ^{40}_{20}\text{Ca}$ (decaimento potássio para cálcio é um processo de decaimento beta). Sabe-se que em 100g de banana temos em torno de 376mg de potássio (RAMOS et al, 2020). Considerando o percentual mostrado acima, 376mg de potássio deve conter uma quantidade equivalente 0,066552 mg de $^{40}_{19}\text{K}$ emitindo radiação beta equivalente a aproximadamente 14 Bq (Becquerel). Esse valor é 10^{-9} do valor letal de radiação em humanos, ou seja, seria necessário consumir mais de 1 bilhão de bananas em um único dia para torna-se nociva ao homem.

O tau (do grego terceiro) é outra partícula elementar que forma o grupo dos léptons juntamente com seu neutrino, neutrino do tau.

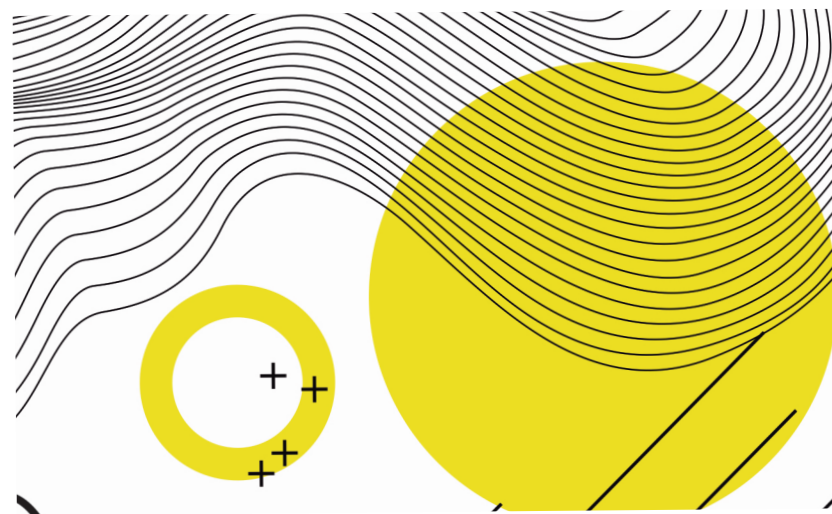
Outro grupo ou família contida no Modelo Padrão é o grupo dos hádrons que não aparecem explicitamente na tabela da figura 8, mas seus constituintes. Os hádrons (do grego “robusto”) são partículas compostas por quarks. Por exemplo, próton e nêutron. Nesse grupo há uma subdivisão considerando a massa como propriedade classificadora, temos os bárions e o mésons. Os bárions (do grego pesado) são partículas composta de três quarks (veja Figura 7), então, prótons e nêutrons são bárions. Já os mésons são constituídos de um quark e um antiquark, por exemplo, o méson π ou pión.

Portanto, o Modelo Padrão trata da identificação e organização, segundo as propriedades (carga elétrica, massa e spin), das partículas elementares da natureza, isto é, mostra do que a matéria é constituída na forma mais elementar. A matéria é constituída a partir de combinação de partículas mostradas na figura 8. O átomo definitivamente deixou de ser o constituinte elementar da matéria.

FORÇAS FUNDAMENTAIS DA NATUREZA

Observe que há um grupo de partículas elementares na figura 7 identificadas como bósons de gauge (do inglês calibre, mas é melhor pensar na ideia de troca) e o bóson de Higgs. Os bósons de gauge são partículas que têm spin inteiro (veja na Figura 7 que $s = 1$) e obedecem a estatística de Bose-Einstein, e há muita Física envolvida no conhecimento a respeito deles. Contudo, nesta discussão visamos apresentá-los como partículas mediadoras das forças da natureza: (1) força eletromagnética, (2) força gravitacional, (3) força nuclear fraca e (4) força nuclear forte.

A força gravitacional é apresentada na Física do 2º ano do Ensino Médio, geralmente, como força de atração entre massas. Já a força eletromagnética é apresentada quando estudamos, geralmente, a Física no 3º ano do Ensino Médio, que devido a carga elétrica de partículas surge força de atração ou repulsão. O conhecimento



desenvolvido no contexto do Modelo Padrão revolucionou a forma como compreendemos a natureza dessas a partir da compreensão da natureza das forças fraca e forte, porque agora utilizamos o conceito de partícula mediadora da força: a troca de partículas mediadoras dá origem a força: as forças eletromagnética, nuclear fraca e nuclear forte resultam da troca de partículas portadoras de força, que pertencem a um grupo mais amplo chamado bósons. Na tabela 1 vemos as partículas portadoras cuja a força forte é transportada pelo glúon (uma super “cola”), a força eletromagnética pelo fóton (partícula de luz que tem a função de ser mensageiro da atração ou repulsão) e os bósons W e Z (mensageiros da transmutação) são responsáveis pela força fraca.

A força gravitacional tem como seu descobridor o físico inglês Isaac Newton (1643 – 1727) e que se tornou

conhecida com publicado em 1687 na obra intitulada Principia. A pesquisa de Newton tinha como objetivo construir um formalismo matemático para explicar eventos astronômicos descobertos e descritos por vários estudiosos, por exemplo, a trajetória elíptica de um planeta. Para isso, precisa descobrir qual seria a força responsável por provocar tais fenômenos. Ele descobre que a força que atuam num planeta tem a mesma natureza da força que faz um objeto cair ao chão cuja explicação está no fato de matéria atrair matéria. Essa descoberta recebe o título de Lei da Gravitação Universal porque um movimento na Terra tem a mesma natureza que eventos no universo.

Sob a perspectiva do Modelo Padrão, de modo análogo as forças eletromagnética, fraca e forte, a força gravitacional deveria também ter natureza explicada pelo transporte de partículas elementares denominadas de grávitons. Mas, essa partícula mediadora ainda não foi encontrada. Contudo, para a Física de Partículas Elementares o efeito da gravidade é tão fraco que chega a ser desprezível.

Tabela 2: Detalhes da natureza das forças fundamentais

Propriedade	Força gravitacional	Força fraca	Força eletromagnética	Força forte
Atua sobre:	massa-energia	sabor	carga elétrica	carga cor
Partículas sujeitas	todas	quarks e léptons	partículas carregadas	quarks e glúons
Partículas mediadoras	gráviton (não observado)	W^+ , W^- e Z^0	fóton (γ)	glúons
Intensidade	10^{-40}	10^{-5}	10^{-2}	10
Alcance	∞	$\ll 10^{-15}m$	∞	$10^{-15}m$
Seção de choque	-	$10^{-42}m^2$	$10^{-36}m^2$	$10^{-30}m^2$
Vidas médias	-	$10^{-8}s$	$10^{-16}s$	$10^{-23}s$

Pode-se observar na tabela 2 que a força gravitacional é a mais fraca das quatro forças. Ocorre entre as partículas que possuem carga de massa, sendo sempre atrativa, estando presente no núcleo atômico com intensidade da 10^{-40} , alcance infinito e tempo médio de vida indeterminado; o fato de possuir uma ordem de grandeza de muito pequeno valor, em comparação às demais interações, é negligenciada. A força eletromagnética tem intensidade da ordem de 10^{-2} , mais intensa do que as forças fraca e gravitacional. A força forte é a mais intensa de todas, sendo 10^{40} vezes maior que a gravitacional, 100 (cem) vezes maior que a eletromagnética e 100.000 (cem mil) vezes maior que a força fraca.



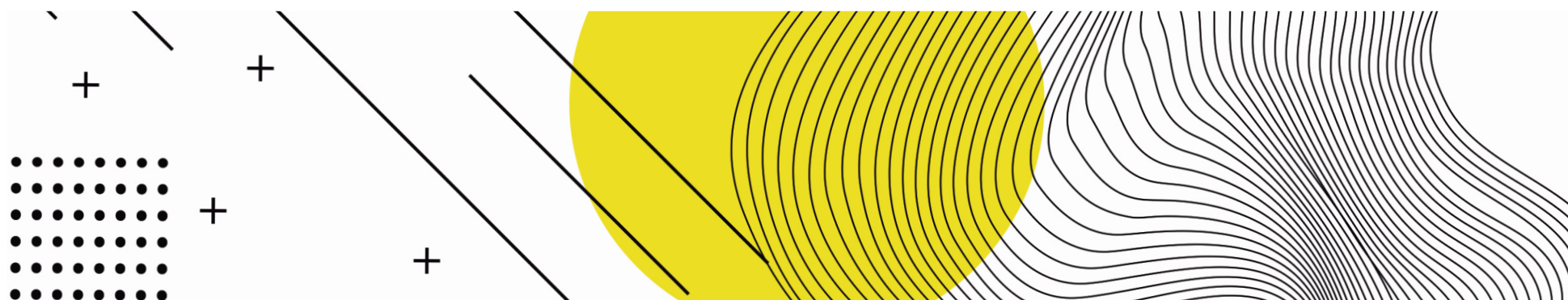
Conheça importantes referências a respeito da Física de Partículas Elementares

OSTERMANN, Fernanda; CAVALCANTI, Claudio Jose de Holanda. Um pôster para ensinar Física de Partículas na escola. **Física na escola**. São Paulo. Vol. 2, n. 1 (maio 2001), p. 13-18, 2001.

ABDALLA, M. C. B. **O discreto charme das Partículas Elementares**. São Paulo: Editora UNESP, 2006.

ENDLER, A. M. F. **Introdução a Física de partículas**. São Paulo: Editora Livraria da Física; Rio de Janeiro: CBPF – Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (Coleção Tópicos em Física). 2010.

BASTOS, K L. **Uma sequência didática para o ensino do Modelo Padrão**. 2023. 173f. Dissertação (Mestrado em Ensino Tecnológico). Programa de Pós-Graduação em Ensino Tecnológico, Instituto Federal do Amazonas, Manaus.

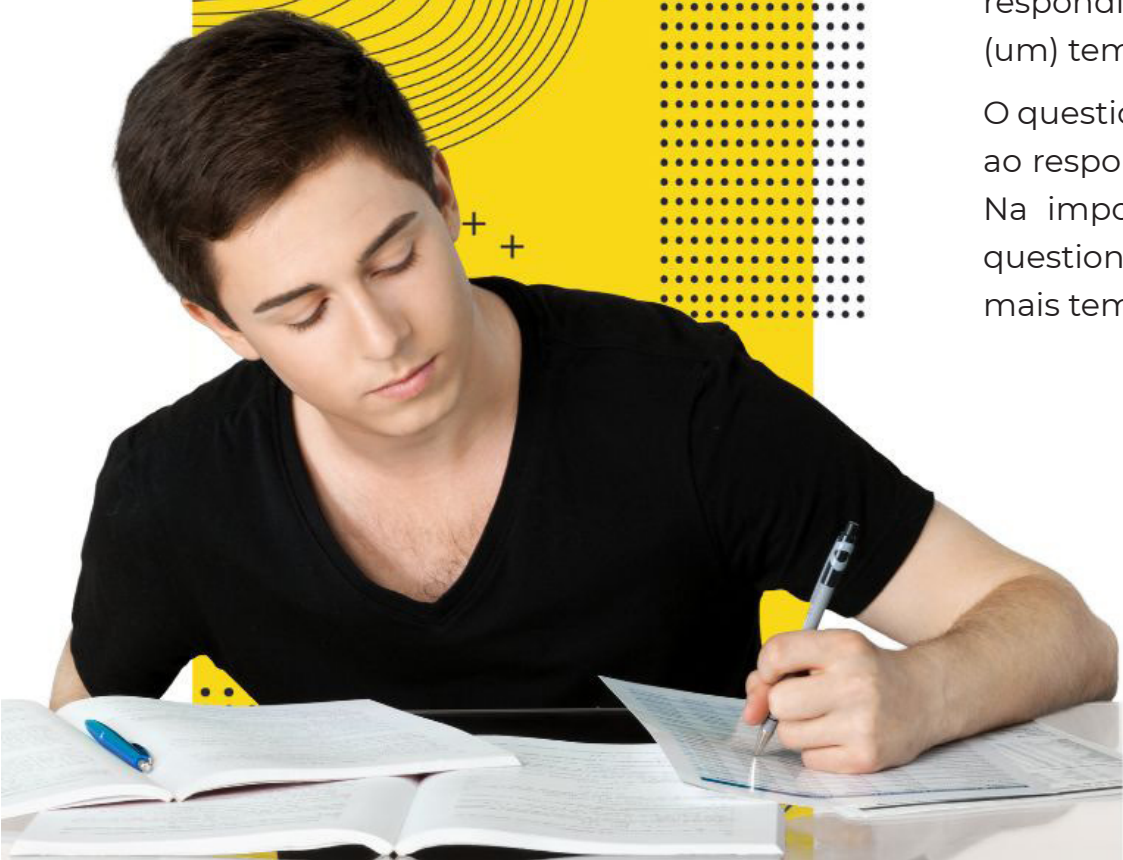


UNIDADE 01

CONHECIMENTOS PRÉVIOS

AULA 01

AVERIGUAÇÃO DOS
CONHECIMENTOS PRÉVIOS



Como preparação para o estudo do Modelo Padrão se faz necessário levantamento de conhecimentos prévios. E para isso, indicamos um questionário contendo 10 (dez) questões para serem resolvidas/respondidas pelos estudantes. Esta atividade pode consumir 01 (um) tempo de aula de 50min.

O questionário está disponível no aplicativo Google Forms e o aluno ao responde-lo o resultado é enviado imediatamente ao professor. Na impossibilidade do uso desse recurso tecnológico usa-se o questionário no formato impresso, que provavelmente consumirá mais tempo da aula.

Quadro 3: Plano de aula 1.

Aula 1: Conhecimentos prévios				
1. Identificação:				
Escola:				Data:
Curso:		Série:	3 ^a	Turma:
Disciplina:	FÍSICA 3	Professor:		
2. Resultados pretendidos de aprendizagem				
O aluno deve demonstrar conhecimentos prévios de conceitos envolvidos na Física que estuda a estrutura da matéria a começar pelo conceito de átomo e seus constituintes, a propriedade conhecida como carga elétrica, os conceitos de velocidade, força e energia.				
3. O que faz o professor?				
3.1 Aplica questionário com 10 (dez) perguntas e analisa o resultado, havendo necessidade implementa organizador prévio; e				
3.2 Utiliza de videoaula para organização de conceitos.				
4. O que faz o aluno?				
4.1 Responde o questionário; e				
4.2 Dedica atenção à videoaula.				
5. Estratégia de ensino				
Uso de questionário com questões abertas, fechadas e videoaula.				
6. Avaliação				
Rendimento médio de acerto no questionário.				



Caso o resultado demonstre instabilidade de conceitos necessários para aquisição de novos conhecimentos envolvendo a Física de Partículas Elementares, rendimento médio de acerto seja menor que 50%, orientamos fazer intervenção utilizando organizadores prévios, visando atenuar a instabilidade de conhecimentos prévios.

Nesta sequência didática apresentamos um organizador prévio do tipo expositivo que recorre ao uso de uma videoaula.

Uma breve história do átomo.



Nesse apresentam-se os modelos atômicos desenvolvidos ao longo da história da ciência, aceleradores e detectores de partículas.




UNIDADE 02

DESCOBRINDO SEM VER

AULA 02

O QUE HÁ DENTRO
DA CAIXA?



Quando estudamos sobre a Física de Partículas Elementares descobrimos que estas partículas foram descobertas e caracterizadas sem que os cientistas as observassem diretamente.

Vimos na seção intitulada “Tabela Periódica” da Física, de modo breve, o processo de construção do conhecimento a respeito do que estrutura a matéria, do que ela é feita.

Hoje sabemos que o átomo é um sistema minúsculo invisível aos olhos e também aos recursos tecnológicos como microscópios, mas como sabemos tantas coisas sobre ele? Ou, como os cientistas construíram o Modelo Padrão?



?

Quadro 4: Plano de aula 2.

Aula 2: O que há dentro da caixa?				
1. Identificação:				
Escola:		Data:		
Curso:		Série:	3 ^a	Turma:
Disciplina:	Física 3	Professor:		
2. Resultados pretendidos de aprendizagem				
O aluno deve descrever com clareza os procedimentos adotados para descobrir as propriedades dos objetos dentro de uma caixa fechada.				
3. O que faz o professor?				
3.1 Seleciona três objetos com formas esférica, cilíndrica e cúbica, introduz cada um desses em caixa de sapatos (sem a presença do aluno), lacra a caixa com fita adesiva; e				
3.2 Formando grupos em sala distribui uma caixa para cada grupo, trocando as caixas até que todos os grupos as tenham utilizadas.				
4. O que faz o aluno?				
4.1 Realiza o experimento da caixa de sapatos, anota as observações e responde à pergunta "o que há dentro da caixa?".				
4.2 Os grupos devem declarar o que há dentro da caixa seguido das propriedades identificadas dos objetos.				
5. Estratégia de ensino				
Trabalho cooperativo a partir da composição de grupos com no máximo 5 alunos.				
6. Material				
Três caixas de papelão com tampa, bola de gude, bloco pequeno de madeira, um pedaço de cano, cola e fita adesiva.				
7. Avaliação				
Sugerimos a utilização de rubricas com referencial de aprendizagem, que são apresentadas no quadro 5.				



A busca para responder perguntas dessa natureza orientou e conduziu a ciência a compreensão da matéria, exigindo dos cientistas muita criatividade. A resposta encontrada diz que a matéria é composta de três tipos de partículas: léptons (o elétron é um lépton), quarks e as partículas mediadoras. Para isso o átomo precisou ser “quebrado” e a cada avanço científico-tecnológico mais se descobria sobre sua estrutura. Mas, você já pensou como podemos saber sobre o átomo sem que tenhamos visto?

Nesta aula propomos um experimento utilizando materiais de baixo custo cujo objetivo é descrever o objeto que está dentro de uma caixa fechada sem abri-la. Para manter o segredo do que há dentro da caixa pedimos que o professor prepare o experimento sem a presença dos alunos.

No quadro 4 apresentamos uma proposta de Plano de Aula para a Aula 1, que visa orientar o professor nas ações de ensino.

Após a formar os grupos o professor entrega uma das caixas a cada grupo e solicita que eles anotem as seguintes propriedades dos objetos (Quadro 5):

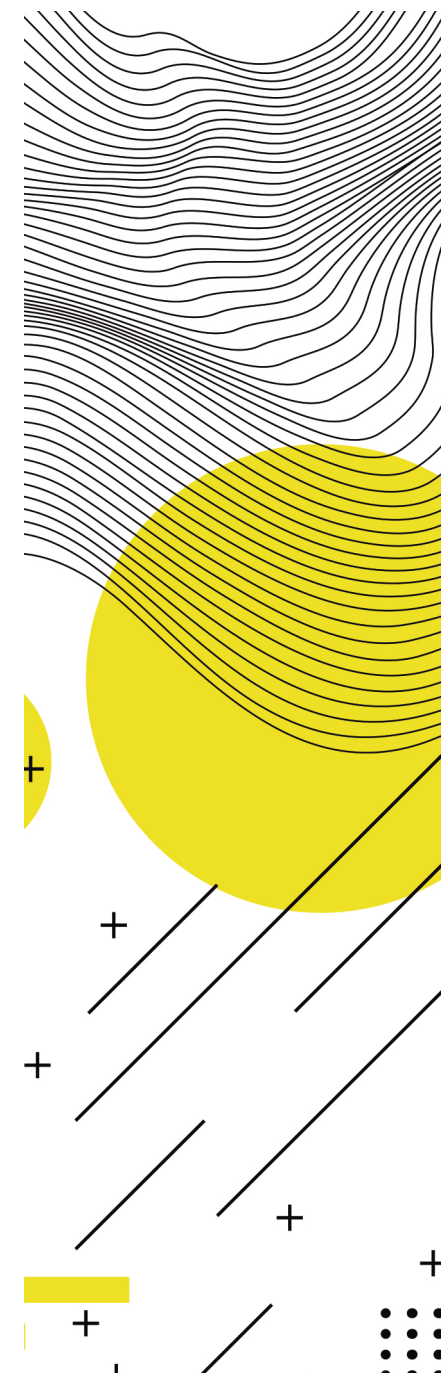
Quadro 5: Propriedades dos objetos

Caixa	Forma	Massa	Tipo de material
1			
2			
3			

A seguir, os grupos registram o procedimento que adotou para a descoberta e responde as seguintes perguntas: (1) “Que outras características poderiam ser estimadas dos objetos e cite os procedimentos que poderiam ser utilizados?” e (2) “Você sabe de alguma descoberta da ciência cujo procedimento experimental se assemelha ao que você utilizou neste experimento? Qual?”.

Quadro 6: Procedimentos adotados para a descoberta.

		Descrição	
Forma			
Massa			
Material			



Na tabela 3 apresentamos o referencial que o professor pode utilizar para averiguar o desempenho do aluno.

Tabela 3: Referencial de desempenho na forma de rubricas para aula 2.

		Grau de desenvolvimento									
		Marginal			Adequado			Bom			Excelente
		D	C-	C	C+	B-	B	B+	A-	A	A+
		2,5	3,5	4,5	5,0	6,0	6,7	7,5	8,5	9,0	10
Grau de complexidade	↘	Não foi capaz de identificar as características do objeto de um sistema fechado.	Foi capaz de identificar apenas uma das características do objeto de um sistema fechado.			Foi capaz de identificar algumas das características do objeto de um sistema fechado.			Foi capaz de identificar com clareza todas as características do objeto de um sistema fechado.		
	↙	Não foi capaz de descrever os procedimentos adotados para descobrir as características do objeto de um sistema fechado.	Foi capaz de descrever um dos procedimentos adotados para descobrir as características do objeto de um sistema fechado.			Foi capaz de descrever parcialmente os procedimentos adotados para descobrir as características do objeto de um sistema fechado.			Foi capaz de descrever com clareza os procedimentos adotados para descobrir as características do objeto de um sistema fechado.		

Observe que na tabela 3 temos sombreado os extremos inferior e superior do desempenho do aluno. Seguindo as linhas horizontais o professor tem o grau de desenvolvimento que pode ser alcançado, segundo a Teoria da Aprendizagem significativa (TAS), com a reconciliação integrativa (RI). Já as colunas mostram o grau de complexidade alcançado pelo aluno devido ao exercício de elaboração e reelaboração do processo e de ideias, que na TAS tem relação com a diferenciação progressiva (DP). Cabe lembrar que DP e RI não acontecem isoladamente, elas são complementares, e há momentos do processo de aprendizagem que uma evidencia-se mais que a outra.

A estimativa da eficácia da aprendizagem vem da avaliação, e essa deve assumir caráter somativo e cumulativo. Assim, o professor registra o resultado desta aula em sua planilha/diário para no final da sequência didática estimar o desempenho médio do aluno.



Conheça importantes referências.

SOUZA, A. P. G., BINDES, I. M. C. **A dinâmica relação entre teoria e experimentação:** discussões a partir de episódios da física. *A Física na Escola*, v.20, n.1, 2022

COELHO, I. M. W. S. **Aplicabilidade e contribuições das rubricas na avaliação da competência comunicativa em línguas: reflexões à luz da perspectiva crítica e emancipatória.** 2021.

MENDONÇA, A. P.; COELHO, I. M. W. S. Rubricas e suas contribuições para a avaliação de desempenho de estudantes. **In:** SOUZA, A. C. R. *Formação de professores e estratégias de ensino: perspectivas teórico-práticas.* Curitiba: Editora Appris, 2018, 109-123.

UNIDADE 03

O PAPEL DA EXPERIMENTAÇÃO
NA PRODUÇÃO DO
CONHECIMENTO

AULA 03

DESCOBRINDO O
TAMANHO DA BOLA



O átomo deixou de ser o constituinte elementar da matéria porque além dos elétrons “orbitando” o núcleo, há outras partículas que compõe seu núcleo: prótons e nêutrons. E para saber mais sobre o núcleo os cientistas precisaram “quebra-lo”.

Geralmente quando desejamos quebrar um objeto usamos algo forte e pesado, tal como um martelo, para bater no objeto. O ato de bater com o martelo no objeto é caracterizado como uma colisão. Não há martelo para quebrar núcleo de átomo, mas podemos quebra-lo usando o mesmo princípio, a colisão, lançando uma partícula contra ele. Por meio da colisão entre duas partículas (conceito usado na Física para caracterizar um objeto que realiza apenas movimento de translação, não havendo, necessariamente, relação direta com o tamanho) podemos descobrir o tamanho de uma delas. Para isso usa-se princípios que descrevem o fenômeno da colisão (lembre-se das questões Q7 a Q9 do questionário inicial). Portanto, nesta aula 3 sugerimos a realização de experimento envolvendo colisão de bolas de gude cujo objetivo é saber o tamanho da bola sem medir diretamente. O plano da aula é apresentado no quadro 7.

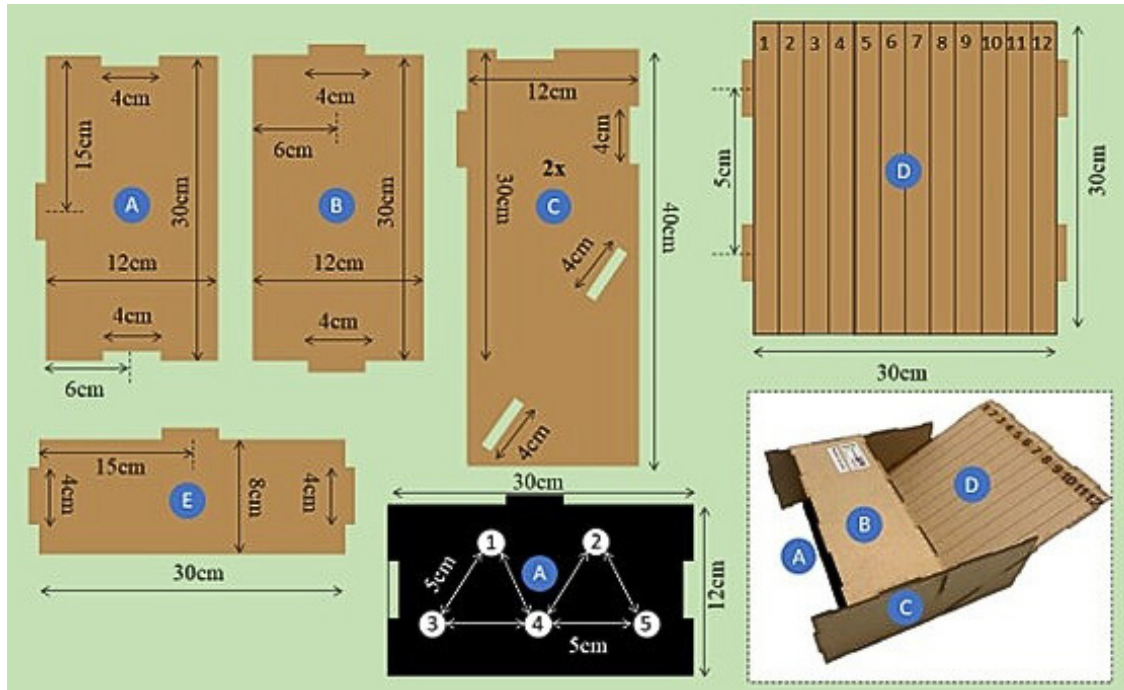
Quadro 7: Plano de aula 3.

Aula 3: Descobrimo o tamanho da bola				
1. Identificação:				
Escola:				Data:
Curso:		Série:	3 ^a	Turma
Disciplina:	Física 3	Professor:		
2. Resultados pretendidos de aprendizagem				
2.1 Saber como é possível determinar o tamanho de uma bola de gude de modo indireto e por meio da colisão;				
2.2 Observar o papel da experimentação na produção de conhecimento; e				
2.3 Familiarizar-se com conceitos e procedimentos empregados pelos cientistas na Física.				
3. O que faz o professor?				
3.1 Constrói, seguindo as instruções, o recurso que será utilizado no experimento;				
3.2 Organiza os grupos; e				
3.3 Orienta os estudantes como proceder com o experimento.				
4. O que faz o aluno?				
4.1 Calcula o tamanho de uma bola de gude por meio da colisão perfeitamente elástica entres bolas de gude; e				
4.2 Participa de roda de conversa discursando sobre os resultados e procedimentos utilizados.				
5. Estratégia de ensino				
Uso de experimento e roda de conversa.				
6. Material				
Papelão ou MDF (3mm) para maquete, um pedaço de papel EVA, cola, pincel, aplicativo sorteador para <i>smartphone</i> , régua milimetrada e/ou paquímetro e 06 bolas de gude de mesmo tamanho.				
7. Avaliação				
Sugerimos a utilização de rubricas com referencial de aprendizagem (Quadro8).				



O aparato experimental consiste de uma caixa e um conjunto de 06 bolas de gude. A caixa pode ser construída seguindo as instruções mostradas na figura 9.

Figura 9: Esquema de construção da caixa de colisão.



Das 06 bolas de gude, 05 devem ser colocadas no interior da caixa com a configuração mostrada na figura 8 (elemento A mostrado na cor preta, papel EVA). Essas servirão de alvo para a bola de gude (bola projétil) que será lançada para dentro da caixa. O pedaço de papel EVA (Etileno Acetato de Vinila) deve ser colado sobre a superfície interna do elemento A (parte interna da caixa), onde ficarão as bolas de gude.

Concluída a construção da caixa (sugerimos ao professor construir um número de caixas igual ao número de equipes a serem formadas em sala de aula), posicione as bolas de gude alvo e execute os seguintes procedimentos:

- 1) Solicite dos alunos que baixe (download) aplicativo no smartphone (sistema Android ou IOS) que sorteia números aleatórios. (Há vários gratuitos.) É necessário configurar o sorteio de números entre 01 e 12;
- 2) Faça o sorteio e em seguida deixa a bola projétil rolar em direção ao interior da caixa (sem olhar para dentro da caixa) da pista cujo número foi sorteado; e
- 3) Havendo ou não colisão entre a bola projétil e a bola alvo, registre. No caso de colisão, reposicione a bola alvo e repita os passos (2) e (3) pelo menos 50 vezes. O registro pode ser organizado na forma da tabela 1:

Tabela 4: Registro dos lançamentos. S=sim e N=não.

Lançamento	
1	S
2	N
3	S
4	S
⋮	⋮
49	N
50	S

Após realizar todos os lançamentos, calcule a razão entre o número de colisões e o número total de lançamentos. Pode-se fazer isso de modo organizado inserindo uma coluna na tabela 1 intitulada Probabilidade.

Tabela 5: Cálculo da probabilidade de colisão.

Lançamento	Houve colisão?	Probabilidade $\left(= \frac{\text{número colisões}}{\text{número total de lançamentos}} \right)$
1	S	$\frac{1}{1} = 1,00$
2	N	$\frac{1}{2} = 0,50$
3	S	$\frac{2}{3} = 0,67$
4	S	$\frac{3}{4} = 0,75$
⋮	⋮	⋮
49	N	0,85
50	S	0,85

Observe que no exemplo da tabela 5 há uma tendência para o valor da probabilidade após um grande número de lançamentos, e isso você também observará (que não será o mesmo da Tabela 1 porque trata-se de um exemplo). Utilizando este valor (P_{exp}), a quantidade de bolas alvas $\ddot{\cdot}$, a largura (L) da caixa pode-se estimar o valor do diâmetro da bola alvo: $D = \frac{P_{exp} \times L}{N_{bolas}}$, cuja unidade está em centímetros.

Agora, compare o valor estimado por meio do experimento com o diâmetro de uma das bolas medido diretamente usando a régua milimetrada e/ou parquímetro. Em seguida responda as seguintes perguntas: “Se a largura (L) do tabuleiro for reduzida o que acontece com o número de colisões?”, “Se o raio (R) das esferas for ampliado o que acontece com o número de colisões?” e “Se a quantidade (N_{bolas}) de bolas de gude for reduzida o que acontece com o número de colisões?”.



AO PROFESSOR

Organize sua sala de aula formando um grande semicírculo para uma conversa: momento de concentração e atenção para os diálogos entre você e seus estudantes e entre os estudantes. Converse com eles sobre o papel da experimentação nas descobertas de cientistas, que pode ser pautada a partir da compreensão do que é o método científico.

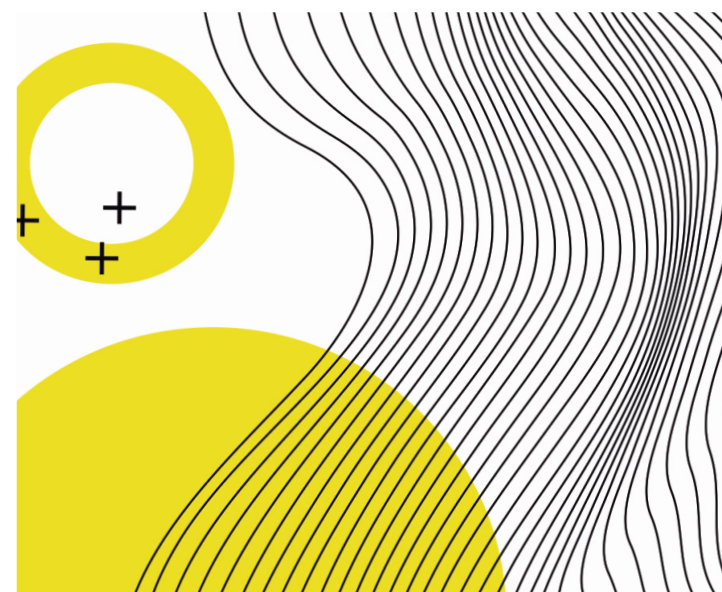


Tabela 6: REferencial de deempenho na forma de rubricas para a aula 3.

		Grau de desenvolvimento											
		→											
		Marginal			Adequado			Bom			Excelente		
		D	C-	C	C+	B-	B	B+	A-	A	A+		
		2,5	3,5	4,5	5,0	6,0	6,7	7,5	8,5	9,0	10		
Identificar		Não foi capaz de identificar as variáveis para calcular o tamanho da esfera de modo indireto.	Foi capaz de identificar uma das variáveis para calcular o tamanho da esfera de modo indireto.			Foi capaz de identificar algumas variáveis para calcular o tamanho da esfera de modo indireto.			Foi capaz de identificar todas variáveis para calcular o tamanho da esfera de modo indireto.				
	Calcular	Não foi capaz de calcular o tamanho de da esfera de modo indireto.	Foi capaz de calcular o tamanho da esfera de modo indireto, sem demonstrar clareza na atividade e determinação do erro experimental.			Foi capaz de calcular o tamanho da esfera de modo indireto, sendo parcialmente claro no desenvolvimento matemático, com elevado erro experimental.			Foi capaz de calcular o tamanho da esfera de modo indireto de maneira clara, com baixo erro experimental.				

Na tabela 6 temos sombreado os extremos inferior e superior do desempenho do aluno. Seguindo as linhas horizontais o professor tem o grau de desenvolvimento que pode ser alcançado, segundo a Teoria da Aprendizagem significativa (TAS), com a diferenciação progressiva (DP) e reconciliação integrativa (RI). Cabe lembra que DP e RI não acontecem isoladamente, elas são complementares, e há momentos do processo de aprendizagem que uma evidencia-se mais que a outra. Contudo, a RI ocorre especialmente com o tempo de dedicação aos estudos.



Conheça importantes referências sobre este experimento.

CARUSO JUNIOR, F., OGURI, V. **Física Moderna: origens clássicas e fundamentos quânticos.** Elsevier Editora Ltda. Rio de Janeiro, Brasil, 2006, p. 365 - 369.

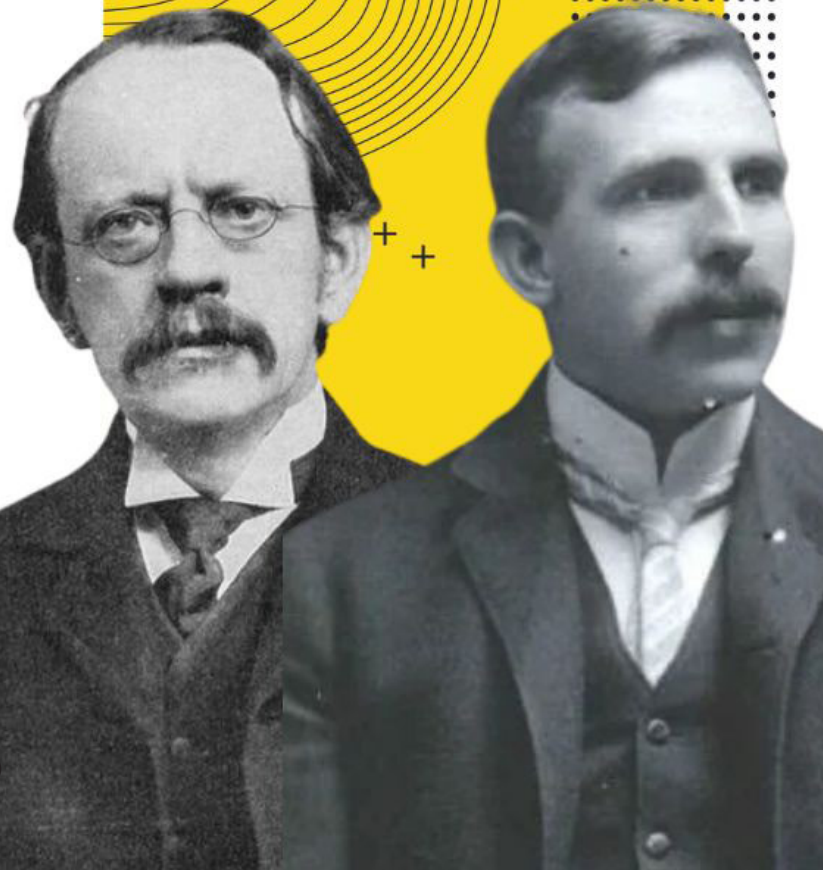
SOUSA, J. J. F.; PORTES, D. F.; BARROS, S. B. Experimento para a medida indireta do raio de uma esfera e a compreensão da construção do modelo atômico de Rutherford. **In:** XVIII Simpósio Nacional de Ensino de Física – SNEF 2009 – Vitória, ES.

UNIDADE 03

O PAPEL DA EXPERIMENTAÇÃO
NA PRODUÇÃO DO
CONHECIMENTO

AULA 04

SIMULANDO OS MODELOS
DE THOMSON E RUTHERFORD



Neste momento, aula 4, vamos aprender mais sobre os modelos atômicos e algumas de suas características: modelos de Thomson e Rutherford, seguindo o plano desta aula mostrado no quadro 8.

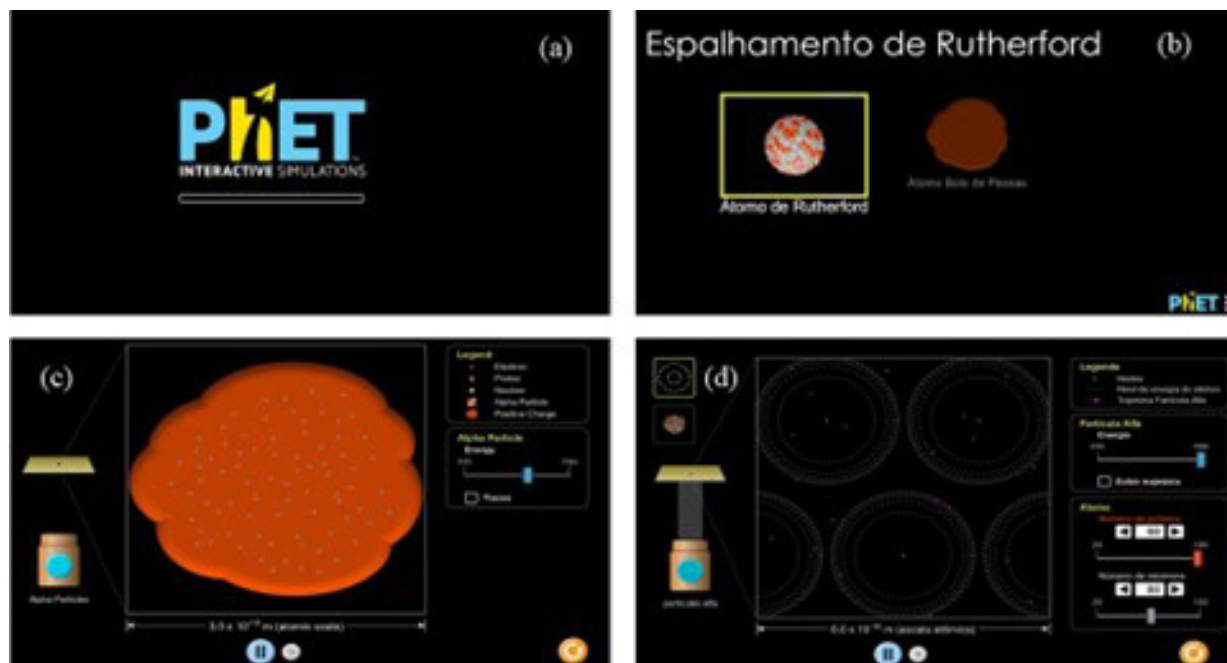
Quadro 8: Plano de aula 4.

Aula 4: Simulando os modelos de Thomson e Rutherford.				
1. Identificação:				
Escola:			Data:	
Curso:		Série:	3 ^a	Turma
Disciplina:	Física 3	Professor:		
2. Resultados pretendidos de aprendizagem				
2.1 Identificar qualitativamente as principais características dos átomos a partir da compreensão de Thomson e Rutherford; e				
2.2 Descrever qualitativamente as características destes modelos.				
2.3 Comparar os modelos observando suas diferenças.				
3. O que faz o professor?				
3.1 Disponibiliza com uso de computador o simulador Phet disponível em: https://phet.colorado.edu/pt_BR/ .				
3.2 Orienta os estudantes quanto ao uso da simulação do Phet intitulada Espalhamento de Rutherford.				
3.3 Expõe sobre as características dos modelos e sua relação com a estrutura da matéria.				
4. O que faz o aluno?				
Ouve, participa e toma nota destes modelos atômicos clássicos, desenvolve atividades no simulador respondendo questões encaminhadas pelo professor.				
5. Estratégia de ensino				
A partir de diferenças existentes entre modelos atômicos clássicos discute-se sobre a necessidade de avançar na compreensão da estrutura do átomo.				
6. Recursos				
Projetor e computador.				
7. Avaliação				
Por meio de questões fechadas observa-se o desempenho do estudante quanto a conceitos abordados durante esta aula.				

Para acessar o simulador na página do Phet (Physical Education Tecnology) siga as seguintes instruções:

- Ao acessar a página do Phet encontrará várias opções de simuladores nas áreas das Ciências da Natureza e na Matemáticas. Mas, para este momento, clique no menu (canto superior direito da página, representado por três traços) e na caixa “localizar” escreva “Espalhamento de Rutherford”.
- Aparecerá um novo ambiente com um botão “play”, clique nele, e assim você terá disponível o simulador na tela do computador.

Figura 9: Tela do simulador Espalhamento de Rutherford.




Fonte: https://phet.colorado.edu/sims/html/rutherford-scattering/latest/rutherford-scattering_all.html?locale=pt_BR.


Para executar a primeira parte da simulação siga as seguintes instruções:

- 1) Clique na ilustração (artística) do átomo de Thomson: “Átomo Pudim de Passas” [Figura 9(b)];
- 2) Na tela do computador aparecerá a ilustração do átomo de Thomson [Figura 9(c)], uma fonte emissora de partículas (partícula alfa, que são núcleo do elemento químico hélio), uma legenda e um botão de intensidade e abaixo desse a opção “exibir trajetória”;
- 3) Escolha uma intensidade, clique na opção “exibir trajetória” e clique no botão da fonte emissora de partículas;
- 4) Observe o que acontece quando as partículas alfas atravessam o átomo de Thomson e tome nota;

A segunda parte da simulação você inicia retornando ao ambiente inicial do simulador e clicando na ilustração “Átomo de Rutherford”. Além dos elementos citados anteriormente, temos: duas opções de ilustração do núcleo e botões para as quantidades de prótons e nêutrons dentro do núcleo [Figura 9(d)].

1) Escolha a ilustração que corresponde a escala atômica $6,0 \times 10^{-10} m$ clicando no botão do canto esquerdo superior, botão .

2) Ajuste o número de prótons (Np) e de nêutrons (Nn) para 20, escolha uma intensidade para a energia da partícula alfa com a opção de exibir trajetória, clique botão da fonte emissora, observe o que acontece tome nota;

3) Mantendo a mesma quantidade de prótons e nêutrons clique no botão correspondente a escala $1,5 \times 10^{-13} m$, botão . Observe a tome nota;

4) Repita esses passos com Np = 50 e Nn = 50, Np = 100 e Nn = 100. Observe a tome nota;

5) Agora escolha os seguintes valores para o número de prótons e nêutrons: Np = 50 e Nn = 100, Np = 100 e Nn = 50. Observe a tome nota.

Ao concluir as simulações, para auxiliar da estabilidade dos novos conceitos, para consolidar o que foi aprendido, sugerimos aplicação de um questionário com questões fechadas (Quadro 9). O professor pode utilizar do Google Forms e disponibiliza-lo via internet, assim como, obter relatório do desempenho dos estudantes.

Questionário 1

Com base na atividade desenvolvida responda:

1) O modelo atômico sugerido por Thompson propôs que o átomo era uma esfera sólida carregada positivamente salpicada de elétrons como uvas passas em um pudim. A definição de Thomson proposta pela simulação “átomo bolo de passa” identifica que:

- a) O átomo tinha um enorme vazio.
- b) As partículas alfas atravessariam o átomo com um desvio mínimo.
- c) O átomo possuía um núcleo central muito pequeno.
- d) O átomo possuía carga elétrica.
- e) O átomo tinha grande massa.

2) Identifique a alternativa errada para proposta do modelo atômico de Thompson.

- a) O átomo era constituído por uma esfera sólida e neutra.
- b) Era encrustado de elétrons com cargas negativas.
- c) Seu modelo era conhecido com pudim de passas.
- d) Sua maior parte era vazia mais possuía um núcleo sólido.
- e) Partículas poderiam atravessa-lo com um pequeno desvio.

3) Sabendo que partículas alfas possuem carga elétrica positiva identifique o motivo de sua interação com o núcleo do átomo segundo o simulador “átomo de Rutherford” ou porque se desviam?

- a) O desvio observado era causado pela carga negativa do núcleo.
- b) As partículas eram desviadas por serem muito pesadas.

c) O átomo possui um núcleo positivo e sua parte mais massiva se concentra em um volume extremamente pequeno.

d) O átomo possuía um núcleo volumoso impossibilitando as partículas alfa de não interação.

e) O átomo possuía um núcleo sem carga elétrica.

4) Identifique para o modelo atômico proposto por Rutherford a característica que melhor representa a estrutura atômica?

a) Uma estrutura sólida e positiva carregada de elétrons negativos que o manteria neutro.

b) Os elétrons permaneciam parados em sua órbita circular.

c) Sua maior parte era um grande vazio mais possuía um núcleo com grande massa concentrada com elétrons circulando em órbita esféricas.

d) Uma maçaroca positiva diferente para cada elemento químico.

e) Era indivisível e indestrutível não podendo ser criado.

5) Descreva o significado das trajetórias descritas pelas partículas alfa no experimento de Rutherford de acordo com seu modelo proposto.

6) Descreva diferenças entre os modelos de Thompson “átomos bolo de passas” e “átomo de Rutherford” pelo que foi observado no simulador.

7) Comparando a trajetória das partículas no simulador para os modelos do “bolo de passas” (Thompson) e do “átomo de Rutherford” o que você conclui sobre as mudanças para estrutura interna do átomo segundo as teorias apresentadas.

Além disso, o professor pode discutir as observações dos estudantes e suas respostas ao questionário orientado pelo fato das partículas alfa não sofrer desvio ao “colidir” com o átomo, já que se tratava de uma esfera:

(1) Considerando o modelo de Thomson, que tratava o átomo como uma esfera (como a bola de gude da aula 3) e nessa estavam encrustados os elétrons, qual deveria ser o comportamento da partícula alfa ao encontrar com o átomo? (Caso considere necessário, retorne para a simulação “Átomo Pudim de Passas” e observe o que acontece.);

(2) O resultado mostrado na simulação “Átomo Pudim de Passas” conduziu Rutherford a uma nova compreensão do átomo? Se sim, o que deveria ser mudado?

(3) Sabendo que partículas alfas possuem carga elétrica positiva, por que motivo elas têm suas trajetórias desviadas quando aproximam-se do núcleo? (Caso considere necessário, retorne para a simulação “Átomo de Rutherford” e observe o que acontece.)

Tabela 7: Referencial de desempenho na forma de rubricas para a aula 4.

		Grau de desenvolvimento									
		Marginal		Adequado			Bom			Excelente	
		D	C-	C	C+	B-	B	B+	A-	A	A+
		2,5	3,5	4,5	5,0	6,0	6,7	7,5	8,5	9,0	10
Grau de complexidade	↙	Não foi capaz de identificar características dos modelos atômicos estudados.	Foi capaz de identificar uma das características dos modelos atômicos estudados.			Foi capaz de identificar certas características dos modelos atômicos, sem demonstrar coerência nas ideias.			Foi capaz de identificar as principais características dos modelos atômicos com clareza nas ideias.		
	↔	Não foi capaz de descrever nenhuma das características dos modelos atômicos estudados.	Foi capaz de descrever apenas uma das várias características dos modelos atômicos estudados.			Foi capaz de descrever algumas características dos modelos atômicos sem demonstrar clareza nas ideias.			Foi capaz de descrever as principais características dos modelos atômicos com escrita fundamentada.		
	↘	Não foi capaz de comparar alguma das características dos modelos atômicos estudados.	Foi capaz de comparar somente uma das diferentes características dos modelos atômicos estudados.			Foi capaz fazer comparações parciais das características dos modelos atômicos, sem fundamentação qualitativa.			Foi capaz de comparar as principais características dos modelos atômicos com fundamentação consistente.		



Conheça importantes referências.

SOUZA, A. P. G., BINDES, I. M. C. A dinâmica OLIVEIRA, J. B., HIDALGO, J. M. **“Pudim de passas”, #soquenao:** O modelo de Thomson em sequência didática. A Física na Escola, v.20, n.1, 2022.

ANDRADE, M. F. S., VIVAS, P. G., SILVA, S. L. L. **A História do átomo:** uma abordagem profunda e interdisciplinar para o Ensino Médio. A Física na Escola, v.20, n.1, 2022.



UNIDADE 03

O PAPEL DA EXPERIMENTAÇÃO
NA PRODUÇÃO DO
CONHECIMENTO

AULA 05

CARGA ELÉTRICA NUM
CAMPO MAGNÉTICO UNIFORME



Na aula anterior, aula 4, observamos que a partícula alfa muda sua trajetória quando se aproxima do núcleo do átomo, podendo ser até repelida pelo núcleo. Portanto, destaca-se dessa observação a propriedade chamada carga elétrica: partícula alfa tem carga positiva e o núcleo também tem carga positiva. Outra partícula com carga elétrica é o elétron, que “orbita” em torno do núcleo do átomo. Mas, como estimar o valor da carga elétrica considerando ser esta uma propriedade importante para a compreensão de átomo?

Antes de responder à pergunta, é importante conhecer o propósito desta aula 5 e as atividades que serão desenvolvidas, tanto pelo professor quanto pelo estudante.

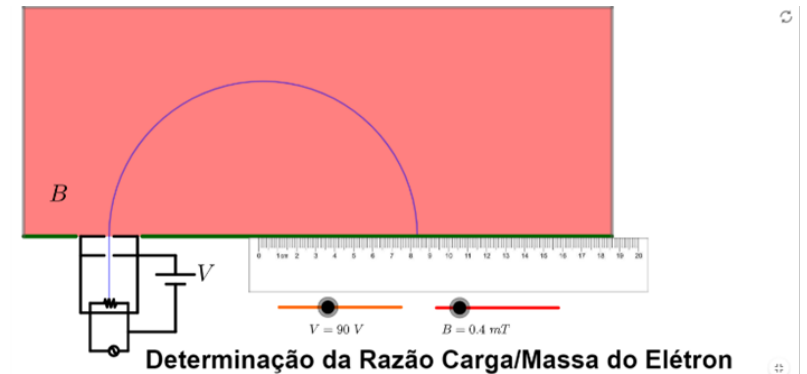


Quadro 10: Plano da aula 5.

Aula 5: Carga elétrica num campo magnético uniforme			
1. Identificação:			
Escola:		Data:	
Curso:		Série:	3 ^a
Disciplina:	FÍSICA	Professor:	
2. Resultados pretendidos de aprendizagem			
2.1 Demonstrar habilidade para calcular a razão carga/massa do elétron;			
2.2 Reconhecer que a carga elétrica é uma propriedade importante na discussão sobre estrutura da matéria.			
3. O que faz o professor?			
3.1 Disponibiliza com uso de computador o simulador Carga/Massa do elétron.			
3.2 Orienta os estudantes quanto ao uso do simulador.			
3.3 Relembra os estudantes do formalismo usado para determinar a relação carga/massa do elétron.			
4. O que faz o aluno?			
4.1 Ouve, participa e toma nota dos dados extraídos do simulador.			
4.2 Calcula o valor Carga/Massa.			
5. Estratégia de ensino			
A partir da simulação discute-se a importância da propriedade carga elétrica.			
6. Recursos			
Projetor e computador.			
7. Avaliação			
Por meio de questões fechadas observa-se o desempenho do estudante quanto a conceitos abordados durante esta aula.			

Para responder essa pergunta vamos utilizar de outro simulador denominado “Determinação da Carga/Massa do elétron”, desenvolvido pela Universidade Federal do Ceará (UFC), depositado no Laboratório Virtual de Física da UFC, simulações interativas para o ensino de física, disponível em: <https://www.laboratoriovirtual.fisica.ufc.br/razao-carga-massa-do-eletron> (Figura 11).

Figura 11: Ambiente do simulador Carga/Massa do elétron



Fonte: <https://www.laboratoriovirtual.fisica.ufc.br/razao-carga-massa-do-eletron>.

A figura 10 mostra uma área cor-de-rosa por onde passará um feixe de elétrons representado por um semicírculo de cor azul. Há no ambiente uma régua milimetrada e dois botões de ajuste. A régua pode ser deslocada para medir o raio da trajetória (semicírculo). Já os botões: uma para ajuste do valor do potencial elétrico V (ou ddp), que pode assumir valores entre 50V a 150V, e outro (ao lado desse) para ajuste do módulo campo magnético B cujos valores vão de 0 mT a 2,1 mT.

Inicie a simulação escolhendo valores para V e B (preferencialmente em ordem crescente), meça o raio da trajetória e anote os dados na forma de tabela (Tabela 8).

Tabela 8: Dados coletados do simulador Carga/Massa do elétron.

Medida	ddp (V)	B (mT)	r (m)	e/m (C/Kg)
1				
2				
⋮				
N				

Para encontrar o valor da razão Carga/Massa do elétron utilizamos a relação $\frac{e}{m} = \frac{2 ddp}{(Br)^2}$. Com os dados inseridos na tabela 8, calcule:

- 1) O valor médio da razão carga/massa (q/m) obtido pelo simulador;
- 2) Sabendo que a massa do elétron é $9,109 \times 10^{-31}$ kg, calcule o valor de sua carga elétrica do elétron;
- 3) Considerando que $\frac{e}{m} = 1,759 \times \frac{10^{11} C}{Kg}$, determine o erro percentual do valor encontrado pela média calculada;
- 4) Qual seria a provável trajetória da partícula se a mesma tivesse uma carga elétrica positiva (pósitron)?



Tabela 9: Referencial de desempenho na forma de rubricas para a aula 5.

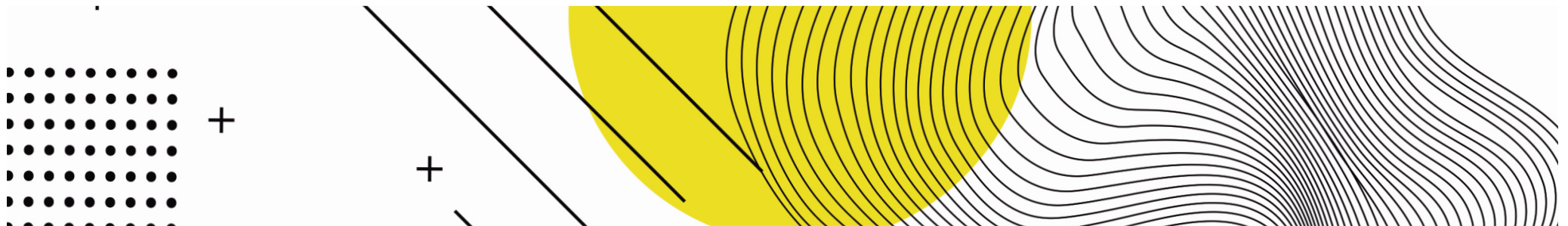
		Grau de desenvolvimento									
		Marginal	Adequado			Bom			Excelente		
		D 2,5	C- 3,5	C 4,5	C+ 5,0	B- 6,0	B 6,7	B+ 7,5	A- 8,5	A 9,0	A+ 10
Grau de complexidade	Reconhecer	Não foi capaz de reconhecer os modos experimentais e propriedades estudadas do elétron.	Foi capaz de reconhecer parcialmente os modos experimentais e propriedades estudadas do elétron.			Foi capaz de reconhecer os modos experimentais e parcialmente as propriedades estudadas do elétron.			Foi capaz de reconhecer com clareza os modos experimentais e propriedades estudadas do elétron.		
	Calcular	Não foi capaz de calcular a propriedade do elétron estudada.	Foi capaz de desenvolver muito parcialmente os cálculos da propriedade do elétron, sem completar a atividade de aprendizagem proposta.			Foi capaz de desenvolver alguns cálculos da propriedade do elétron de modo claro, sem completar as atividades.			Foi capaz de desenvolver completamente os cálculos da propriedade do elétron com baixo erro, completando toda atividade proposta.		



Conheça importantes referências.

SOUZA, M. A. M. **Campos escalares e suas aplicações da física.** A Física na Escola, v.18, n.1, 2020.

SOUSA, M. S. M. **A geleca magnética como de ensino sobre o magnetismo em espaços não formais: Construindo uma oficina didática para feira de ciências.** A Física na Escola, v.18, n.2, 2020.



UNIDADE 04

IDENTIFICANDO PARTÍCULAS
ELEMENTARES

AULA 06

DOCUMENTÁRIO VIAGEM
AO CERN



Na aula 5 vimos que a carga elétrica e a massa são propriedades importante para identificar partículas no mundo da Física, mas existem outras propriedades que foram descobertas quando os cientistas “olharam mais de perto”, por exemplo, o elétron. Quando dizemos “olhar mais de perto” tecnicamente estamos falando da Física Quântica, um outro mundo em que as leis da Física precisaram ser mudadas e outras criadas. Para compreender o átomo precisamos da Física Quântica.

Vamos iniciar esta aula 6 assistindo um vídeo disponível, que você ou seu professor podem fazer o download na plataforma de vídeos Youtube com o endereço <https://youtu.be/OW1dL6EYKDA>. No vídeo veremos o maior laboratório construído pelo homem e nele são desenvolvidos experimentos para descobre e compreender do que são feitas as coisas. O vídeo tem duração de aproximadamente 20 min e sugerimos ao professor que utilize o restante do tempo da aula para discussão sobre os conceitos físicos vistos no vídeo 50 min.

UNIDADE 04

IDENTIFICANDO PARTÍCULAS ELEMENTARES

AULA 07

SPRACE GAME



Agora vamos reconhecer partículas elementares, utilizando um jogo, o Sprace Game e identificando algumas de suas propriedades, a saber, carga elétrica e massa e assim também conhecer suas famílias ou grupos (tal como na tabela periódica dos elementos químicos). No quadro 11 temos a proposta de plano desta aula.

Aula 7: Sprace Game

1. Identificação:

Escola:		Data:	
Curso:		Série:	3ª
Disciplina:	Física 3	Professor:	

2. Resultados pretendidos de aprendizagem

- 2.1 Identificar as propriedades das partículas elementares;
- 2.2 Descrever as famílias ou grupo que compõe o Modelo Padrão;
- 2.3 Explicar o conceito "partícula elementar".

3. O que faz o professor?

- 3.1 Instala o software, o *Sprace Game*, nos computadores da escola;
- 3.2 Prepara os questionários e o material a ser utilizado;
- 3.3 Apresenta o jogo e suas funcionalidades;
- 3.4 Auxilia na identificação das propriedades das partículas elementares a partir do jogo.

4. O que faz o aluno?

- 4.1 Ouve, participa e toma nota dos dados extraídos do jogo.
- 4.2 Executa as missões proposta no jogo.

5. Estratégia de ensino

Utilizando dois recursos (vídeo e o jogo) para promover a construção do Modelo Padrão

6. Recursos

Projetor, vídeo, caixa de som, jogo e computador.

7. Avaliação

Por meio de questões fechadas observa-se o desempenho do estudante quanto a conceitos abordados durante esta aula.

O Sprace game foi desenvolvido para ensinar conceitos de física de partículas que explica do que são constituídos prótons e nêutrons: os quarks. Mas também, apresenta outras partículas elementares que compõe a família dos léptons, transportando o jogado para um mundo subatômico. Para instalar o jogo use este endereço: <https://sprace.org.br/index.php/education-outreach/sprace-game>, e seguir as seguintes instruções:

- 1) O jogo requer que seu computador tenha o aplicativo Java atualizado, então, atualize;
- 2) No ambiente aberto por meio do endereço fornecido acima clique na versão do Windows e instalação iniciará;
- 3) Será aberta pasta no arquivo downloads com nome sprace2. Clique nesse e o jogo iniciará;
- 4) Clique na opção “novo jogo” e depois “piloto novato” e o jogo iniciara uma série de orientações sobre os comandos. Além disso, o jogo proporciona um treinamento antes de começar as missões;
- 5) Com o treinamento concluído, clique na tecla F1 e aparecerá a missão 1 que deve ser cumprida, e faça suas anotações
- 6) Em seguida cumpra as missões 2, 3 e 4, fazendo suas anotações.

Ao final das missões responda o questionário mostrado no quadro 10 a seguir.

QUESTIONÁRIO 2

Missão 1:

1) Em que universo no jogo você foi inserido?

- () Microscópico
() Macroscópico

2) Complete a tabela A identificando os Férmions capturados na missão 1, sua massa e carga elétrica, selecionando F1 para obter as informações.

Tabela A

Partículas	Nome	Símbolo	Massa	Carga Elétrica
1				

3) Assinale uma das alternativas abaixo, identificando o significado do traço apontado na figura A.

- () Anti-tau
() Carga elétrica negativa
() Antimatéria
() Massa desprezível



QUESTIONÁRIO 2

Missão 2:

4) Complete a tabela B identificando os Mésons capturados na missão 2, sua massa, carga elétrica e composição, selecionando F1 para obter informações.

Tabela B

Partículas	Nome	Símbolo	Massa	Carga Elétrica	Composição
1					

5) Assinale uma das alternativas abaixo, identificando o significado do traço apontado na figura B:

Figura B

- Anti-átomo
- Carga elétrica negativa
- Antimatéria (anti quark down)
- Massa negativa



6) Qual o nome das partículas que compõem um dos Mésons capturados observando a indicação apontada pela figura B; procure informações nas famílias das partículas teclando F1.

7) Complete a tabela C identificando os Bárions capturados na missão 3, sua massa, carga elétrica e composição, selecionando F1 para obter informações.

Tabela C

Partículas	Nome	Símbolo	Massa	Carga Elétrica	Composição
1					

QUESTIONÁRIO 2

8) Descreva o nome das partículas que compõem um dos Bárions capturados, se necessário procure informações nas famílias das partículas teclando F1.

9) Descreva o nome da família que constitui os Mésons e Bárions.

10) Descreva uma diferença observada na composição dos Mésons e Bárions.

Missão 4 – composição do núcleo do hidrogênio

11) Descreva a composição elementar encontrada no próton?

12) descreva o significado para as 3 cores dos quarks Up e Dowd na construção do próton?

13) Descreva o conceito de partícula elementar explicando seu entendimento sobre o tema.

14) Assinale as alternativas abaixo, identificando as partículas que você julga serem elementares:

- Férmions
- Elétrons
- Prótons
- Quark up
- Átomo
- Neutrino do tau
- Hádrons
- Quark down
- Mésons
- Múon

Tabela 10: Rubricas para a averiguação da aprendizagem da aula 6.

		Grau de desenvolvimento							
		→							
		Marginal D 2,5	Adequado C- C C+ 3,5 4,5 5,0			Bom B- B B+ 6,0 6,7 7,5			Excelente A- A A+ 8,5 9,0 10
Grau de complexidade ↓	Identificar	Não foi capaz de identificar a composição dos Férmions e Hádrons na atividade.	Foi capaz de identificar a composição de poucos Férmions e Hádrons na atividade.			Foi capaz de identificar a composição de alguns Férmions e Hádrons sem completar a atividade.			Foi capaz de identificar a composição da maioria dos Férmions e Hádrons contidos na atividade.
	Descrever	Não foi capaz de descrever a composição dos Férmions e Hádrons na atividade.	Foi capaz de descrever a composição de poucos Férmions e Hádrons na atividade.			Foi capaz de descrever a composição de alguns Férmions e Hádrons, sem demonstrar clareza na escrita.			Foi capaz de descrever a composição da maioria dos Férmions e Hádrons, demonstrando clareza na escrita.
	Explicar	Não foi capaz de explicar o significado conceitual de partícula elementar.	Foi capaz de explicar de modo não claro o significado conceitual de partícula elementar, sem relacionar seus conhecimentos prévios.			Foi capaz de explicar de modo não claro o significado conceitual de partícula elementar, fazendo algumas relações com seus conhecimentos prévios.			Foi capaz de explicar de modo claro e objetivo o significado conceitual de partícula elementar, relacionando seus conhecimentos prévios.

Para auxiliar no processo de averiguação da aprendizagem manifestada por meio da participação, das conversas e do questionário sugeridos as rubricas mostradas na tabela 10.

UNIDADE 05

O MODELO PADRÃO

AULA 08

QUEM EU SOU?



Nesta aula 8 utilizamos um jogo de cartas intitulado **“Quem eu sou?”** para conhecer as famílias que compõem o Modelo Padrão, os hádrons e os férmions (no Quadro 12 temos o plano da aula). O Jogo é composto de 65 cartas. Em 61 delas temos representadas partículas elementares e suas propriedades quânticas: carga elétrica, carga de massa (ou massa), carga de cor e spin. As outras 04 cartas são auxiliares: 03 para as famílias e 01 para as cores. O jogo permite entre 04 a 06 participantes, que exigirá a formação de grupos em sala de aula. A dinâmica do jogo é a seguinte:

- 1) Após a formação dos grupos, embaralhe as cartas e a seguir cada pessoa escolhe 01 carta: a carta não deve ser mostrada;
- 2) Escolha a pessoa do grupo que está à sua direita e fixe a carta com cuidado na testa da pessoa;
- 3) Escolham quem começa a rodada de perguntas. Com a carta na testa o jogador deve fazer uma pergunta que possa levá-lo a identificar a partícula que está na carta. Se conseguir identificar qual é a partícula, vence o jogo. Se não, anota as observações e passa a vez para o próximo.

- 4) A cada três rodadas os participantes recebem uma carta auxiliar distribuída pelo jogador que iniciou a rodada, que será observada por 1 min e devolvida ao jogo;
- 5) Ganha o jogo o primeiro jogador que na sua jogada apontar: o nome da partícula que representa a sua carta, citando três propriedades quânticas representadas na mesma, de modo correto;
- 6) O professor recolhe as anotações e conversa com os estudantes sobre suas observações e conclusões.

Quadro 12: Plano de aula 8.

Aula 8: Quem eu sou?			
1. Identificação:			
Escola:		Data:	
Curso:		Série:	3 ^a
Disciplina:	Física 3	Professor:	
2. Resultados pretendidos de aprendizagem			
2.1 Nomear as famílias e partículas elementares de acordo com o Modelo Padrão; 2.3 Identificar propriedades quânticas das partículas.			
3. O que faz o professor?			
3.1 Imprime na Escola as cartas do jogo “Quem eu sou?”; 3.2 Informa as regras do jogo de cartas.			
4. O que faz o aluno?			
4.1 Ouve, participa e toma nota dos dados extraídos do jogo. 4.2 Responde um questionário.			
5. Estratégia de ensino			
Utilizando um jogo para promover a aprendizagem.			
6. Recursos			
Projektor jogo de cartas.			
7. Avaliação			
Por meio de questões fechadas observa-se o desempenho do estudante quanto a conceitos abordados durante esta aula.			

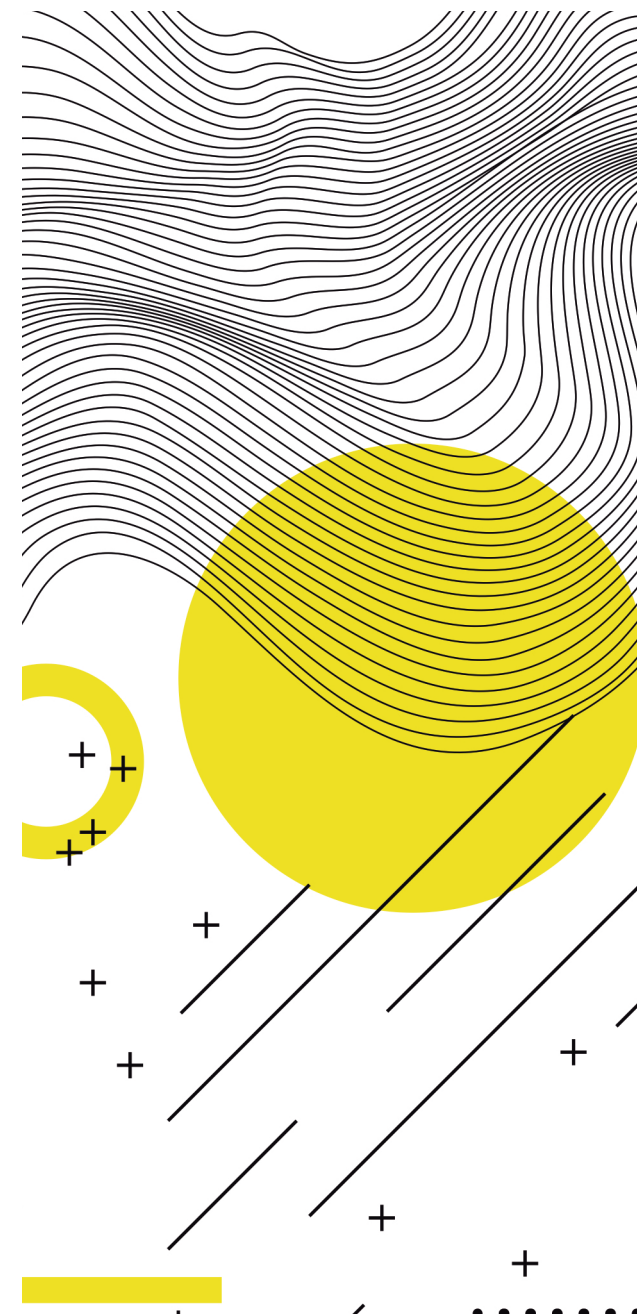


Tabela 11: Rubricas para averiguar da aprendizagem da aula 7.

		Grau de desenvolvimento									
		Marginal			Adequado			Bom			Excelente
		D	C-	C	C+	B-	B	B+	A-	A	A+
		2,5	3,5	4,5	5,0	6,0	6,7	7,5	8,5	9,0	10
Grau de complexidade	Nomear	Não foi capaz de nomear nenhuma família e partícula do modelo padrão na atividade.	Foi capaz de nomear uma família e poucas partículas do modelo padrão na atividade.			Foi capaz de nomear a maioria das famílias e algumas partículas do modelo padrão na atividade.			Foi capaz de nomear as famílias e a maioria das partículas do modelo padrão na atividade.		
	Identificar	Não foi capaz de identificar nenhuma das propriedades quântica das partículas do modelo padrão apresentadas na atividade.	Foi capaz de identificar apenas uma das propriedades quântica das partículas do modelo padrão apresentadas na atividade.			Foi capaz de identificar poucas propriedades quântica das partículas do modelo padrão apresentadas na atividade., sem mostrar clareza nas afirmações.			Foi capaz de identificar a maioria das propriedades quântica das partículas do modelo padrão apresentadas na atividade, de modo claro nas afirmações.		
	Descrever	Não foi capaz de descrever as propriedades quântica das partículas na atividade.	Foi capaz de descrever algumas das propriedades quântica das partículas na atividade.			Foi capaz de descrever a maioria das propriedades quântica das partículas na atividade.			Foi capaz de descrever todas as propriedades quântica das partículas na atividade, demonstrando clareza e objetividade.		



UNIDADE 05

O MODELO PADRÃO

AULA 09



Finalizando esta sequência de aulas temos a aula 9 , que tem por objetivo organizar todas as informações e as aprendizagens adquiridas durante as 8 aulas. Para isso, sugerimos ao professor que:

- Apresente aos alunos o vídeo:

O Modelo Padrão explicado

Tempo: 12min 27seg

(link: <https://youtu.be/Kn4pAoucyMg>)



- Projete no quadro a tabela periódica da Física (Figura 7) discutindo em uma roda de conversa a frase: “coisas são feitas de férmions e acontecem por causa dos Bósons” contextualizando o estudo feito.

- Aplique um questionário para verificação dos resultados pretendidos na aprendizagem.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta sequência didática foi projetada para que professores e estudantes do Ensino Médio possam ensinar e aprender, respectivamente, conceitos que embasam a compreensão da natureza da matéria, sua composição. Iniciamos historicizando o processo de compreensão de átomo até chegarmos aos quarks, as famílias de partículas elementares e partículas mediadoras. Esperamos que a caminhada tenha sido proveitosa.

Caro professor, o processo de ensino e aprendizagem e sua metodologia é uma decisão sua. Você pode escolher vários caminhos para discutir estes conceitos na aulas de física, mas este produto é projetado para que o estudante tenha participação ativa, com uso de recursos tecnológicos e jogos digital e de cartas.



REFERENCIAL TEÓRICO

ABDALLA, M. C. B. O discreto charme das Partículas Elementares. São Paulo: Editora UNESP, 2006.

AGUIAR, R. ICTP-SAIFR realiza Escola em Lima sobre Física de Altas Energias e Cosmologia. ictp-saifr.org, 2021. Disponível em: < <https://www.ictp-saifr.org/ictp-saifr-realiza-escola-em-lima-sobre-fisica-de-altas-energias-e-cosmologia/>>. Acesso em: 29 out. 2021.

AUSUBEL, D. P.; NOVAK, J. D.; HANESIAN, H. Psicologia Educacional. Trad. Eva Nick e outros. Rio de Janeiro: Interamericana. 1980.

BALTHAZAR, W. F.; OLIVEIRA, A. L. Partículas Elementares no Ensino Médio: uma abordagem a partir do LHC. São Paulo: Editora Livraria da Física: Rio de Janeiro: CBPF – Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (Coleção Tópicos em Física). 2010.

BATISTA, C. Modelos atômicos. Disponível em: <https://www.todamateria.com.br/modelos-atomicos/>. Acesso em: 16 ago. 2023

BIGGS, J.; TANG, C. Teaching for Quality Learning at University. 4. ed. Berkshire, England: Society for Research into Higher Education & Open University Press, 2011.

BRASIL, Ministério da Educação. Base Nacional Curricular Comum. Brasília, DF: MEC, 2018. Disponível em: < <http://basenacionalcomum.mec.gov.br/>>. Acesso em 24 de mar. 2022.

BROOKHART, S. M. How to create and use rubrics for formative assessment and grading. Alexandria, VA: ASCD, 2013.

CARUSO, F.; OGURI, V. Física Moderna: Origens Clássicas e Fundamentos Quânticos, Rio de Janeiro: Elsevier Editora Ltda, 2006.

CERN.org. a 2022. Disponível em: <https://www.home.cern/>. Acesso em 02 de jun. 2022.

CHÉROLET, B. Carga elétrica positiva constituída por três quarks. 24 abr. 2019. Disponível em: <https://www.educamaisbrasil.com.br/enem/quimica/proton>. Acesso em: 16 ago. 2023.

_____. Disponível em: <https://www.home.cern/news/news/physics/moriond-2012->

[uncertain-signals-higgs-boson](#). Acesso em 02 de jun. 2022.

DIAS, N. L. Determinação da razão da carga massa do elétron. Laboratório virtual da Universidade Federal do Ceará. Disponível em: <https://www.laboratoriovirtual.fisica.ufc.br/materiais-fisica-moderna>. Acesso em: 23 maio 2022.

DIDACTALIA. Modelo atômico de Bohr (fácil). Disponível em: <https://cienciasnaturales.didactalia.net/pt/recurso/modelo-atomico-de-bohr-facil/0be36cb2-accb-9ba2-816b-0e80dfaca1a1>. Acesso em: 16 ago. 2023.

ENDLER, A. M. F. Introdução a Física de partículas. São Paulo: Editora Livraria da Física: Rio de Janeiro: CBPF – Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (Coleção Tópicos em Física). 2010.

LOS MODELOS ATÓMICOS PRIMITIVOS. *ficacuantica*, 13 ago. 2014. Disponível em: <https://www.fisicacuantica.es/los-modelos-atomicos-primitivos/>. Acesso em: 16 ago. 2023.

MENDONÇA, A. P.; COELHO, I. M. W. Rubrica e suas contribuições para avaliação de desempenho de estudantes. In: Souza, Ana C. R. de. et. al. (Organizadores). Formação de Professores e Estratégias de Ensino: perspectivas teórico-práticas. 1ª ed. ISBN: 978-85-473-1021-9, Curitiba: Appris, 2018.

MOREIRA, M. A. Aprendizagem Significativa: a teoria e textos complementares. São Paulo: Editora Livraria da Física. 2012.

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

_____. Teorias de aprendizagem. São Paulo: EPU. 2011a.

SOUZA, P. R.; Aprendizagem significativa e alinhamento construtivo: uma proposta para o ensino de circuitos elétricos. Manaus: IFAM, 2016

RAMOS, Juliano Carvalho et al. Determinação de cálcio, potássio e sódio em bananas de cultivo convencional e orgânico. *Revista Técnico-Científica do IFSC*, v. 1, n. 10, p. 04-04, 2020.

VALIM, P. Modelo atômico de Rutherford. 23 fev. 2019. Disponível em: <https://cienciaemacao.com.br/modelo-atomico-de-rutherford/>. Acesso em: 16 ago. 2023.

VALIM, P. Modelo atômico de Thomson. 06 fev. 2019. Disponível em: <https://cienciaemacao.com.br/modelo-atomico-de-thomson/>. Acesso em: 16 ago. 2023.

CARTAS





Massa $2,15 \text{ MeV}/c^2$
 Carga $-2/3$
 Spin $1/2$
 Nome \bar{u}
 anti up

Massa $2,15 \text{ MeV}/c^2$
 Carga $-2/3$
 Spin $1/2$
 Nome \bar{u}
 anti up

Massa $2,15 \text{ MeV}/c^2$
 Carga $-2/3$
 Spin $1/2$
 Nome \bar{u}
 anti up

Massa $2,15 \text{ MeV}/c^2$
 Carga $-2/3$
 Spin $1/2$
 Nome \bar{u}
 anti up

Massa $2,15 \text{ MeV}/c^2$
 Carga $-2/3$
 Spin $1/2$
 Nome \bar{u}
 anti up

Massa $2,15 \text{ MeV}/c^2$
 Carga $-2/3$
 Spin $1/2$
 Nome \bar{u}
 anti up



Massa $2,15 \text{ MeV}/c^2$
 Carga $+2/3$
 Spin $1/2$
 Nome u
 up

Massa $2,15 \text{ MeV}/c^2$
 Carga $+2/3$
 Spin $1/2$
 Nome u
 up

Massa $2,15 \text{ MeV}/c^2$
 Carga $+2/3$
 Spin $1/2$
 Nome u
 up

Massa $2,15 \text{ MeV}/c^2$
 Carga $+2/3$
 Spin $1/2$
 Nome u
 up

Massa $2,15 \text{ MeV}/c^2$
 Carga $+2/3$
 Spin $1/2$
 Nome u
 up

Massa $2,15 \text{ MeV}/c^2$
 Carga $+2/3$
 Spin $1/2$
 Nome u
 up



Card 1 (Yellow):

- Top-left: Yellow smiley face
- Top-right: Massa $4,8 \text{ MeV/c}^2$, Carga $+1/3$, Spin $1/2$, Nome \bar{d} anti down
- Center: Yellow background with 'I'
- Bottom-left: Massa $4,8 \text{ MeV/c}^2$, Carga $+1/3$, Spin $1/2$, Nome \bar{d} anti down
- Bottom-right: Yellow sad face

Card 2 (Pink):

- Top-left: Pink smiley face
- Top-right: Massa $4,8 \text{ MeV/c}^2$, Carga $+1/3$, Spin $1/2$, Nome \bar{d} anti down
- Center: Pink background with 'I'
- Bottom-left: Massa $4,8 \text{ MeV/c}^2$, Carga $+1/3$, Spin $1/2$, Nome \bar{d} anti down
- Bottom-right: Pink sad face

Card 3 (Blue):

- Top-left: Blue smiley face
- Top-right: Massa $4,8 \text{ MeV/c}^2$, Carga $+1/3$, Spin $1/2$, Nome \bar{d} anti down
- Center: Blue background with 'I'
- Bottom-left: Massa $4,8 \text{ MeV/c}^2$, Carga $+1/3$, Spin $1/2$, Nome \bar{d} anti down
- Bottom-right: Blue sad face



Card 4 (Green):

- Top-left: Green sad face
- Top-right: Massa $4,8 \text{ MeV/c}^2$, Carga $-1/3$, Spin $1/2$, Nome d down
- Center: Green background with 'I'
- Bottom-left: Massa $4,8 \text{ MeV/c}^2$, Carga $-1/3$, Spin $1/2$, Nome d down
- Bottom-right: Green smiley face

Card 5 (Blue):

- Top-left: Blue sad face
- Top-right: Massa $4,8 \text{ MeV/c}^2$, Carga $-1/3$, Spin $1/2$, Nome d down
- Center: Blue background with 'I'
- Bottom-left: Massa $4,8 \text{ MeV/c}^2$, Carga $-1/3$, Spin $1/2$, Nome d down
- Bottom-right: Blue smiley face

Card 6 (Red):

- Top-left: Red sad face
- Top-right: Massa $4,8 \text{ MeV/c}^2$, Carga $-1/3$, Spin $1/2$, Nome d down
- Center: Red background with 'I'
- Bottom-left: Massa $4,8 \text{ MeV/c}^2$, Carga $-1/3$, Spin $1/2$, Nome d down
- Bottom-right: Red smiley face



Massa 92,4 MeV/c²
Carga +1/3
Spin 1/2
Nome anti strange

S

II

Massa 92,4 MeV/c²
Carga +1/3
Spin 1/2
Nome anti strange

S

Massa 92,4 MeV/c²
Carga +1/3
Spin 1/2
Nome anti strange

S

II

Massa 92,4 MeV/c²
Carga +1/3
Spin 1/2
Nome anti strange

S

Massa 92,4 MeV/c²
Carga +1/3
Spin 1/2
Nome anti strange

S

II

Massa 92,4 MeV/c²
Carga +1/3
Spin 1/2
Nome anti strange

S



Massa 92,4 MeV/c²
Carga -1/3
Spin 1/2
Nome strange

S

II

Massa 92,4 MeV/c²
Carga -1/3
Spin 1/2
Nome strange

S

Massa 92,4 MeV/c²
Carga -1/3
Spin 1/2
Nome strange

S

II

Massa 92,4 MeV/c²
Carga -1/3
Spin 1/2
Nome strange

S

Massa 92,4 MeV/c²
Carga -1/3
Spin 1/2
Nome strange


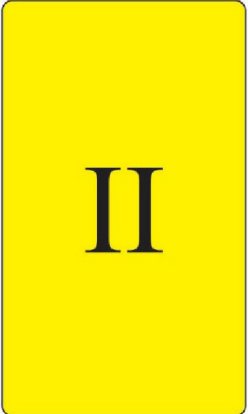

S


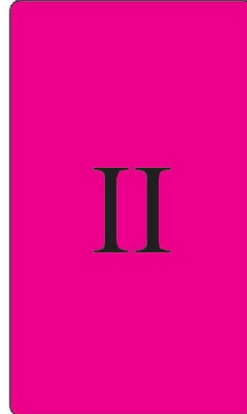

II


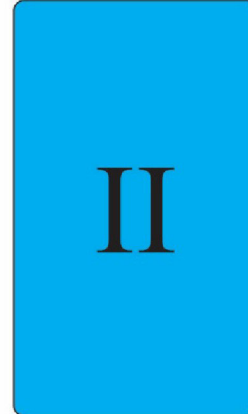

Massa 92,4 MeV/c²
Carga -1/3
Spin 1/2
Nome strange

S


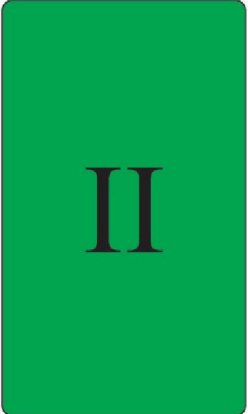




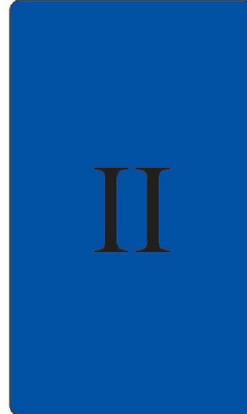

 C	Massa Carga Spin Nome	1,27 GeV/c ² -2/3 1/2 anti charm
		
Massa Carga Spin Nome	1,27 GeV/c ² -2/3 1/2 anti charm	 C

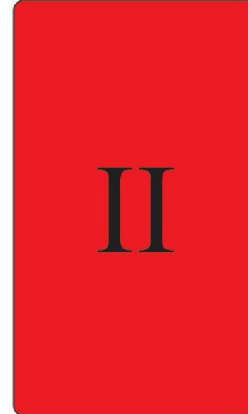
 C	Massa Carga Spin Nome	1,27 GeV/c ² -2/3 1/2 anti charm
		
Massa Carga Spin Nome	1,27 GeV/c ² -2/3 1/2 anti charm	 C

 C	Massa Carga Spin Nome	1,27 GeV/c ² -2/3 1/2 anti charm
		
Massa Carga Spin Nome	1,27 GeV/c ² -2/3 1/2 anti charm	 C



 C	Massa Carga Spin Nome	1,27 GeV/c ² +2/3 1/2 charm
		
Massa Carga Spin Nome	1,27 GeV/c ² +2/3 1/2 charm	 C

 C	Massa Carga Spin Nome	1,27 GeV/c ² +2/3 1/2 charm
		
Massa Carga Spin Nome	1,27 GeV/c ² +2/3 1/2 charm	 C



 C	Massa Carga Spin Nome	1,27 GeV/c ² +2/3 1/2 charm
		
Massa Carga Spin Nome	1,27 GeV/c ² +2/3 1/2 charm	 C



Massa $172 \text{ GeV}/c^2$
 Carga $-2/3$
 Spin $1/2$
 Nome \bar{t} anti top

III



Massa $172 \text{ GeV}/c^2$
 Carga $-2/3$
 Spin $1/2$
 Nome \bar{t} anti top

Massa $172 \text{ GeV}/c^2$
 Carga $-2/3$
 Spin $1/2$
 Nome \bar{t} anti top

III



Massa $172 \text{ GeV}/c^2$
 Carga $-2/3$
 Spin $1/2$
 Nome \bar{t} anti top

Massa $172 \text{ GeV}/c^2$
 Carga $-2/3$
 Spin $1/2$
 Nome \bar{t} anti top

III



Massa $172 \text{ GeV}/c^2$
 Carga $-2/3$
 Spin $1/2$
 Nome \bar{t} anti top


Massa $172 \text{ GeV}/c^2$
 Carga $+2/3$
 Spin $1/2$
 Nome t top

III



Massa $172 \text{ GeV}/c^2$
 Carga $+2/3$
 Spin $1/2$
 Nome t top

Massa $172 \text{ GeV}/c^2$
 Carga $+2/3$
 Spin $1/2$
 Nome t top

III



Massa $172 \text{ GeV}/c^2$
 Carga $+2/3$
 Spin $1/2$
 Nome t top

Massa $172 \text{ GeV}/c^2$
 Carga $+2/3$
 Spin $1/2$
 Nome t top

III

Massa $172 \text{ GeV}/c^2$
 Carga $+2/3$
 Spin $1/2$
 Nome t top



Massa $4,18 \text{ GeV}/c^2$
 Carga $+1/3$
 Spin $1/2$
 Nome **\bar{b}** anti bottom

\bar{b}

III

\bar{b}

Massa $4,18 \text{ GeV}/c^2$
 Carga $+1/3$
 Spin $1/2$
 Nome **\bar{b}** anti bottom

Massa $4,18 \text{ GeV}/c^2$
 Carga $+1/3$
 Spin $1/2$
 Nome **\bar{b}** anti bottom

\bar{b}

III

\bar{b}

Massa $4,18 \text{ GeV}/c^2$
 Carga $+1/3$
 Spin $1/2$
 Nome **\bar{b}** anti bottom

Massa $4,18 \text{ GeV}/c^2$
 Carga $+1/3$
 Spin $1/2$
 Nome **\bar{b}** anti bottom

\bar{b}

III

\bar{b}

Massa $4,18 \text{ GeV}/c^2$
 Carga $+1/3$
 Spin $1/2$
 Nome **\bar{b}** anti bottom



Massa $4,18 \text{ GeV}/c^2$
 Carga $-1/3$
 Spin $1/2$
 Nome **b** bottom

b

III

b

Massa $4,18 \text{ GeV}/c^2$
 Carga $-1/3$
 Spin $1/2$
 Nome **b** bottom

Massa $4,18 \text{ GeV}/c^2$
 Carga $-1/3$
 Spin $1/2$
 Nome **b** bottom

b

III

b

Massa $4,18 \text{ GeV}/c^2$
 Carga $-1/3$
 Spin $1/2$
 Nome **b** bottom

Massa $4,18 \text{ GeV}/c^2$
 Carga $-1/3$
 Spin $1/2$
 Nome **b** bottom

b

III

b

Massa $4,18 \text{ GeV}/c^2$
 Carga $-1/3$
 Spin $1/2$
 Nome **b** bottom



Massa $0,511 \text{ MeV}/c^2$
 Carga $+1$
 Spin $1/2$
 Nome **e**
 pósitron

I

Massa $0,511 \text{ MeV}/c^2$
 Carga -1
 Spin $1/2$
 Nome **e**
 elétron



Massa $0,511 \text{ MeV}/c^2$
 Carga -1
 Spin $1/2$
 Nome **e**
 elétron

I

Massa $0,511 \text{ MeV}/c^2$
 Carga -1
 Spin $1/2$
 Nome **e**
 elétron

Massa $105,6 \text{ MeV}/c^2$
 Carga $+1$
 Spin $1/2$
 Nome **$\bar{\mu}$**
 anti múon

II

Massa $105,6 \text{ MeV}/c^2$
 Carga -1
 Spin $1/2$
 Nome **μ**
 múon

Massa $105,6 \text{ MeV}/c^2$
 Carga -1
 Spin $1/2$
 Nome **μ**
 múon

II

Massa $105,6 \text{ MeV}/c^2$
 Carga -1
 Spin $1/2$
 Nome **μ**
 múon

Massa $1,777 \text{ GeV}/c^2$
 Carga $+1$
 Spin $1/2$
 Nome **$\bar{\tau}$**
 anti tau

III

Massa $1,777 \text{ GeV}/c^2$
 Carga -1
 Spin $1/2$
 Nome **τ**
 tau

Massa $1,777 \text{ GeV}/c^2$
 Carga -1
 Spin $1/2$
 Nome **τ**
 tau

III

Massa $1,777 \text{ GeV}/c^2$
 Carga -1
 Spin $1/2$
 Nome **τ**
 tau



Massa < 2,2 eV
 Carga 0
 Spin 1/2
 Nome $\bar{\nu}_e$
 anti neutrino do elétron

$\bar{\nu}_e$

I

$\bar{\nu}_e$

Massa < 2,2 eV
 Carga 0
 Spin 1/2
 Nome $\bar{\nu}_e$
 anti neutrino do elétron

Massa < 0,17 eV
 Carga 0
 Spin 1/2
 Nome $\bar{\nu}_\mu$
 anti neutrino do múon

$\bar{\nu}_\mu$

II

$\bar{\nu}_\mu$

Massa < 0,17 eV
 Carga 0
 Spin 1/2
 Nome $\bar{\nu}_\mu$
 anti neutrino do múon

Massa < 15,5 eV
 Carga 0
 Spin 1/2
 Nome $\bar{\nu}_\tau$
 anti neutrino do tau

$\bar{\nu}_\tau$

III

$\bar{\nu}_\tau$

Massa < 15,5 eV
 Carga 0
 Spin 1/2
 Nome $\bar{\nu}_\tau$
 anti neutrino do tau



Massa < 2,2 eV
 Carga 0
 Spin 1/2
 Nome ν_e
 neutrino do elétron

ν_e

I

ν_e

Massa < 2,2 eV
 Carga 0
 Spin 1/2
 Nome ν_e
 neutrino do elétron

Massa < 0,17 eV
 Carga 0
 Spin 1/2
 Nome ν_μ
 neutrino do múon

ν_μ

II

ν_μ

Massa < 0,17 eV
 Carga 0
 Spin 1/2
 Nome ν_μ
 neutrino do múon

Massa < 15,5 eV
 Carga 0
 Spin 1/2
 Nome ν_τ
 neutrino do tau

ν_τ

III

ν_τ

Massa < 15,5 eV
 Carga 0
 Spin 1/2
 Nome ν_τ
 neutrino do tau



Massa 0
 Carga 0 γ
 Spin 1
 Nome fóton

γ

$\gamma \lambda$

λ

Massa 0
 Carga 0 λ
 Spin 1
 Nome fóton

Massa 80,4 GeV/c
 Carga +1 W^+
 Spin 1
 Nome bóson W^+

W^+

$W^+ W^+$

W^+

Massa 80,4 GeV/c
 Carga +1 W^+
 Spin 1
 Nome bóson W^+

Massa 80,4 GeV/c
 Carga -1 W^-
 Spin 1
 Nome bóson W^-

W^-

$W^- W^-$

W^-

Massa 80,4 GeV/c
 Carga -1 W^-
 Spin 1
 Nome bóson W^-



Massa 91,2 GeV/c
 Carga 0 Z^0
 Spin 1
 Nome bóson Z^0

Z^0

$Z^0 Z^0$

Z^0

Massa 91,2 GeV/c
 Carga 0 Z^0
 Spin 1
 Nome bóson Z^0

Massa 0
 Carga 0 H
 Spin 2
 Nome higgs

H

$H H$

H

Massa 0
 Carga 0 H
 Spin 2
 Nome higgs



g

Massa	0	g
Carga	0	
Spin	1	
Nome	glúon	

g₆

g

Massa	0	
Carga	0	g
Spin	1	
Nome	glúon	

g

Massa	0	g
Carga	0	
Spin	1	
Nome	glúon	

g₆

g

Massa	0	
Carga	0	g
Spin	1	
Nome	glúon	

g

Massa	0	g
Carga	0	
Spin	1	
Nome	glúon	

g₆

g

Massa	0	
Carga	0	g
Spin	1	
Nome	glúon	



g

Massa	0	g
Carga	0	
Spin	1	
Nome	glúon	

g₆

g

Massa	0	
Carga	0	g
Spin	1	
Nome	glúon	

g

Massa	0	g
Carga	0	
Spin	1	
Nome	glúon	

g₆

g

Massa	0	
Carga	0	g
Spin	1	
Nome	glúon	

g

Massa	0	g
Carga	0	
Spin	1	
Nome	glúon	


g₆

g

Massa	0	
Carga	0	g
Spin	1	
Nome	glúon	



g




Massa	0
Carga	0
Spin	1
Nome	glúon

g


g_B

g

Nome	glúon
Spin	1
Carga	0
Massa	0



g




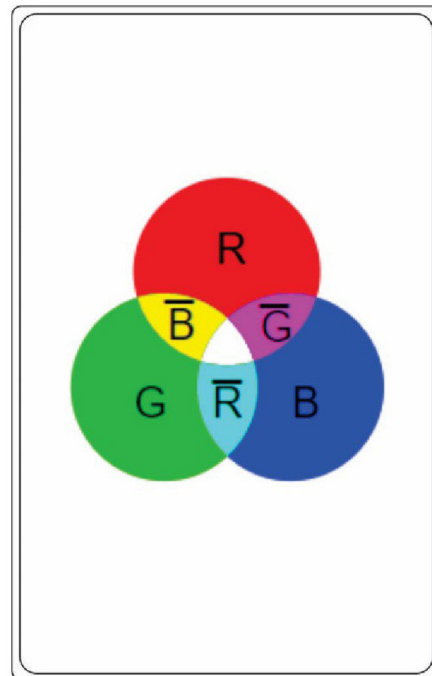
Massa	0
Carga	0
Spin	1
Nome	glúon

g

g_B

g

Nome	glúon
Spin	1
Carga	0
Massa	0

	Quarks	
nome	spin	carga
up	1 / 2	+ 2/3 e
down	1 / 2	- 1/3 e
charm	1 / 2	+ 2/3 e
strange	1 / 2	- 1/3 e
top	1 / 2	+ 2/3 e
bottom	1 / 2	- 1/3 e
anti up	1 / 2	- 2/3 e
anti down	1 / 2	+ 1/3 e
anti charm	1 / 2	- 2/3 e
anti strange	1 / 2	+ 1/3 e
anti top	1 / 2	- 2/3 e
anti bottom	1 / 2	+ 1/3 e

	Léptons	
nome	spin	carga
elétron	1 / 2	- 1 e
múon	1 / 2	- 1 e
tau	1 / 2	- 1 e
neutrino U	1 / 2	0
neutrino μ	1 / 2	0
neutrino τ	1 / 2	0
pósitron	1 / 2	+ 1 e
anti múon	1 / 2	+ 1 e
anti tau	1 / 2	+ 1 e
anti neut e	1 / 2	0
anti neut μ	1 / 2	0
anti neut τ	1 / 2	0

	Bósons	
nome	spin	carga
fóton	1	0
glúon	1	0
W ⁺	1	+ 1
W ⁻	1	- 1
Z ⁰	1	0
higgs	0	0

