

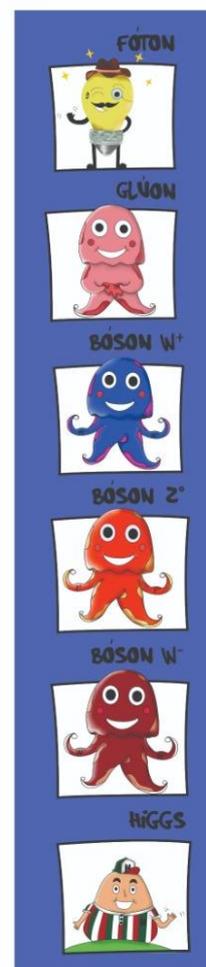
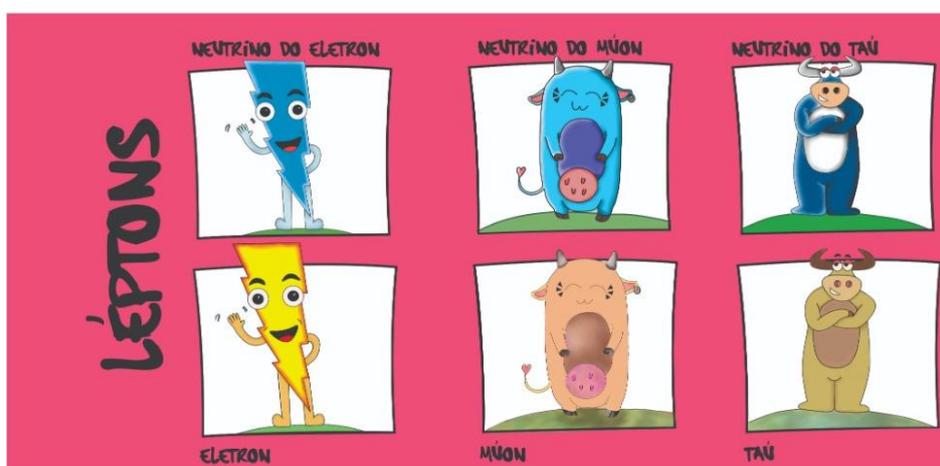
PRODUTO EDUCACIONAL

UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA PARA ENSINAR: A ESTRUTURA DA MATÉRIA

MODELO PADRÃO

FÉRMIONS

BÓSONS



MNPEF
Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

EDNA DE SOUZA DA SILVA

FLÁVIO GIMENES ALVARENGA

**UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA PARA
ENSINAR: A ESTRUTURA DA MATÉRIA**

Vitória – ES
2021

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Átomo de acordo com a teoria atômica de Dalton	11
Figura 2 - Experimento de Thomson com tubo de raios catódicos.....	12
Figura 3 - O modelo de átomo de Thomson.....	13
Figura 4 - Esquema da experiência de Rutherford.....	13
Figura 5 - Esquema das partículas α atravessando e sendo defletidas pelo núcleo.	14
Figura 6 - Modelo atômico de Rutherford.....	16
Figura 7 - Espectro de diferentes fontes.	20
Figura 8 - Espectros de emissão do hidrogênio.	20
Figura 9 - Catástrofe do ultravioleta.	21
Figura 10 - Efeito fotoelétrico.	22
Figura 11 - Modelo atômico de Bohr.	23
Figura 12 - Esquema do aparelho utilizado na experiência de Stern- Gerlach.....	26
Figura 13 - Resultado da experiência de Stern-Gerlach sem campo magnético.....	26
Figura 14 - Resultado da experiência de Stern-Gerlach com campo magnético.....	27
Figura 15 - Modelo atômico de Schrödinger	28
Figura 16 - Modelo Padrão.....	30
Figura 17 - Equação violando o princípio de conservação do momento de spin.....	38
Figura 18 - Equação conservando o momento de spin.	38
Figura 19 - Constituição da matéria comum.....	42
Figura 20 - Escala de massas dos quarks.....	44
Figura 21 - Tubo de raios catódicos.	50
Figura 22 - SLAC (Centro de Aceleração Linear de Stanford).	52
Figura 23 - Tevatron.....	53

Figura 24 - Vista geral da fonte de luz síncrotron do LNSL em operação desde 1997.	53
Figura 25 - Vista aérea do CERN.....	56
Figura 26 - Túnel do LHC.....	57
Figura 27 - O complexo acelerador CERN.....	58
Figura 28 - Detectores LHC.....	61
Figura 29 – ATLAS (detector).....	62
Figura 30 - ATLAS.....	62
Figura 31 - Vista em corte do detector CMS.	63
Figura 32 - François Englert e Peter Higgs.	64
Figura 33 - Ilustração do detector ALICE.	65
Figura 34 - O detector LHCb.	66
Figura 35 - Caixa Misteriosa.....	69
Figura 36 - O que é um átomo?	70
Figura 37 - Maquetes dos modelos atômicos.....	72
Figura 38 - "Raio x da caixa misteriosa".....	73
Figura 39 - cartazes usando o nome das partículas.....	76

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Modelos de átomos da Física Clássica.....	18
Quadro 2 - Resumo das características dos léptons.....	40
Quadro 3 - Resumo das características dos quarks.....	44
Quadro 4 - Resumo das características dos bósons mediadores.....	49
Quadro 5 - Dados do LHC.....	57

SUMÁRIO

1. APRESENTAÇÃO	8
2. A ESTRUTURA DA MATÉRIA	9
2.1 O ÁTOMO DE DEMÓCRITO.....	9
2.2 A EVOLUÇÃO DOS MODELOS ATÔMICOS	10
2.2.1 MODELO ATÔMICO DE DALTON.....	10
2.2.2 MODELO ATÔMICO DE THOMSON	11
2.2.3 MODELO ATÔMICO DE RUTHERFORD	13
2.2.4 MODELO ATÔMICO DE BOHR.....	18
2.2.5 – MODELO DA MECÂNICA QUÂNTICA.....	24
2.3 O MODELO PADRÃO DAS PARTÍCULAS ELEMENTARES.....	29
2.4 AS PARTÍCULAS ELEMENTARES	30
2.4.1 LÉPTONS.....	33
2.4.2 QUARKS	40
2.4.3 BÓSONS	45
2.5 ACELERADORES E DETECTORES	49
2.6 O LHC (THE LARGE HADRON COLLIDER)	54
3. A SEQUÊNCIA DIDÁTICA	68
3.1 AULA 1	68
3.2 AULA 2	69
3.3 AULA 3.....	71

3.4 AULA 4.....	71
3.5 AULA 5.....	73
3.6 AULA 6.....	73
3.7 AULA 7.....	74
3.8 AULA 8.....	75
3.9 AULA 9.....	75
3.10 AULAS 10, 11 E 12.....	75
3.11 AULA 13.....	76
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	78
APÊNDICE A – TESTE INICIAL.....	83
APÊNDICE B – SLIDES DAS AULAS.....	85
APÊNDICE C – TEXTO: A EVOLUÇÃO DOS MODELOS ATÔMICOS.....	93
APÊNDICE D – TESTE DE PREPARAÇÃO (INDIVIDUAL E EM EQUIPE).....	96
APÊNDICE E – UMA PARTIDA DE ATOMOBOL.....	102
APÊNDICE F – BRINCANDO COM CARGAS ELÉTRICAS.....	103
APÊNDICE G – TEXTO: VENDO ATRAVÉS DA PELE – A DESCOBERTA DO RAIOS X.....	104
APÊNDICE H – FOLDER: AS PARTÍCULAS ELEMENTARES.....	108
APÊNDICE I – MODO DE JOGAR.....	110
APÊNDICE J – CARTAS DO BARALHO.....	111
APÊNDICE L – TESTE FINAL.....	117

1. Apresentação

Este é o Produto da Dissertação de Mestrado de Edna de Souza da Silva, orientada pelo Professor Flávio Gimenes Alvarenga, que foi apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física - Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, ofertado pela Sociedade Brasileira de Física em parceria com a Universidade Federal do Espírito Santo.

Este trabalho é uma pesquisa quali-quantitativa por meio do qual foi investigada uma proposta de ensino sobre a estrutura da matéria que podem e devem ser discutidos no Ensino Médio, apresentando a evolução dos menores constituintes da matéria ao longo da História. Para isso usou-se uma abordagem didática baseada na Aprendizagem Significativa desenvolvida por David Ausubel, na visão de Moreira (2017). A pesquisa foi desenvolvida na Escola Estadual de Ensino Fundamental e Médio “Ceciliano Abel de Almeida”, localizada na cidade de São Mateus no Espírito Santo, com duas turmas da terceira série do Ensino Médio, através da aplicação de uma sequência didática baseada numa Unidade de Ensino Potencialmente Significativa, segundo Moreira (2011). Para o desenvolvimento metodológico, utilizamos diversas abordagens, tais como textos, jogos e filmes.

Após a aplicação da sequência didática, verificamos, baseados nos resultados dos testes, análise dos mapas conceituais, bem como a interação e participação dos alunos, indícios de aprendizagem significativa e o material se mostrou potencialmente significativo.

2. A ESTRUTURA DA MATÉRIA

Neste capítulo apresentamos a evolução histórica da concepção da estrutura da matéria, desde o modelo de Demócrito até o Modelo Padrão. Destacamos também a importância dos aceleradores e detectores para a Física de Partículas, em especial, o LHC, o maior e mais potente acelerador de partículas da atualidade e sua importância para a validação do Modelo Padrão.

O domínio da estrutura da matéria permitiu ao homem revolucionar a História, propiciando grande desenvolvimento do campo científico e inúmeros avanços tecnológicos, mas tudo começou com uma simples, mas complexa, pergunta: Qual é a menor porção de uma matéria? Ela pode ser dividida indefinidamente ou existe um limite para essa divisão?

2.1 O ÁTOMO DE DEMÓCRITO

No século V a.C. os filósofos gregos Demócrito e seu mestre Leucipo acreditavam que toda matéria era composta de partículas muito pequenas, invisíveis e indivisíveis, chamada de átomo.

Para Demócrito, se dividíssemos a matéria em partes cada vez menores chegaríamos em uma partícula indivisível, que em grego significa átomo. Para ele, existiam diversos formatos de átomos que se combinavam entre si através de ganchos e engates, o que explica a diversas substâncias existentes. (PIRES, 2008).

De acordo com Rocha (2002, p. 59):

O atomismo é um sistema de pensamento extremamente avançado para a sua época e possui, ao nosso ver, grandes virtudes, sendo uma delas a de eliminar o pensamento antigo o medo e a superstição provados pela intervenção de deuses vingativos e ciumentos, permitindo ao universo uma evolução livre feita de acordo com a dança combinatória dos átomos. Além disso, o atomismo sustenta até hoje a base do pensamento científico ocidental, qual seja, a de dividir um sistema complexo e mutante em partes indivisíveis e, portanto, sem estrutura interna. É a técnica de “dividir por partes para entender o todo”. Essa concepção científico-filosófica constitui-se numa das grandes sínteses do pensamento ocidental, que persiste na

ciência moderna, e que se harmoniza perfeitamente com a cosmovisão cartesiana-newtoniana na qual um Deus bíblico cria o universo a partir de matéria informe e desorganizada, provendo-o de leis mecânicas que regerão a sua evolução dentro de uma cadeia de causas e efeitos primários e secundários.

A hipótese atômica dos gregos não pode ser considerada um modelo científico pois não faziam experiências, o que importava era o raciocínio filosófico que permitia explicar, por meio da lógica, a composição da matéria.

Durante a idade média o atomismo desenvolvido por Demócrito desapareceu por completo, mas a corrente que afirmavam a existência de uma mínima parte dos corpos não havia morrido. Em comentários gregos a Aristóteles, por exemplo, é citada a ideia dos chamados "os mínimos" (mínimas partes) dos corpos. (MORA, 2004).

Como bem nos assegura Mora (2004), pode-se dizer que a proposta atômica de Demócrito ficou esquecida por muito tempo, quando em 1803, John Dalton, por meio do estudo de reações químicas, redescobriu o átomo.

2.2 A EVOLUÇÃO DOS MODELOS ATÔMICOS

2.2.1 MODELO ATÔMICO DE DALTON

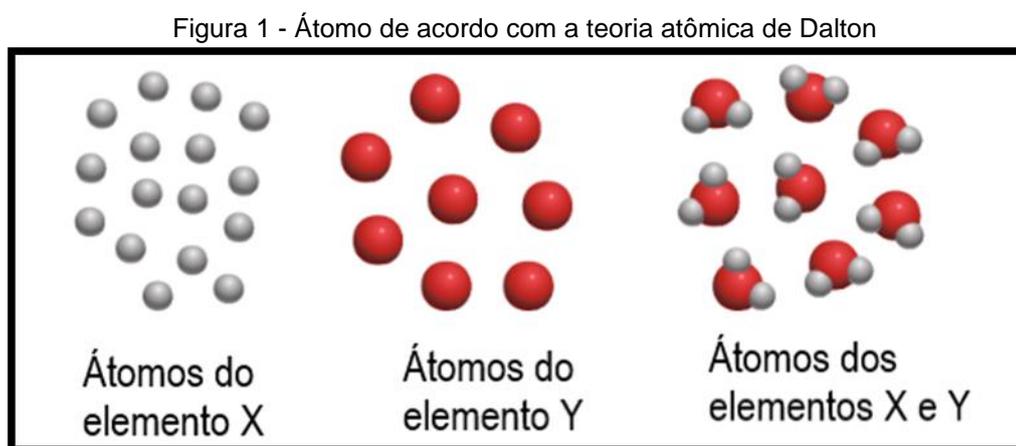
Em 1803 John Dalton (1766-1844) retoma a formulação do átomo. Nesse modelo os átomos são representados por pequenas partículas esféricas, maciças, indivisíveis e tão pequenas que são invisíveis.

O cientista inglês John Dalton, a partir de bases experimentais, propôs em 1803 a sua teoria atômica. Segundo ele a matéria é constituída de pequenas partículas esféricas maciças e indivisíveis, denominada átomos. (PERUZZO, 2012, p. 2)

A diferença entre o modelo de Dalton e o átomo de Demócrito resume-se ao fato de Dalton ter apresentado seu modelo baseado em experiências, logo seu modelo é considerado a primeira evidência consistente do modelo da matéria constituído de átomos.

Segundo Peruzzo (2012), Dalton ainda verificou, através de experiências, que os átomos de diferentes elementos deviam ter tamanhos diferentes e, em seu modelo, eram representados por esferas de massas e tamanhos diferentes.

Conforme verificado por Peruzzo (2012), para a teoria atômica de Dalton, mesmos elementos têm átomos iguais, mas os átomos de elementos distintos são diferentes (Figura 1).



Fonte: Chang e Goldsby (2013, p.39)

Entretanto, através de pesquisas realizadas, descobriu que esse átomo aparentemente indivisível tinha uma estrutura interna. Apesar desse fato, a teoria atômica de Dalton serviu de base para o conhecimento do átomo e de suas propriedades.

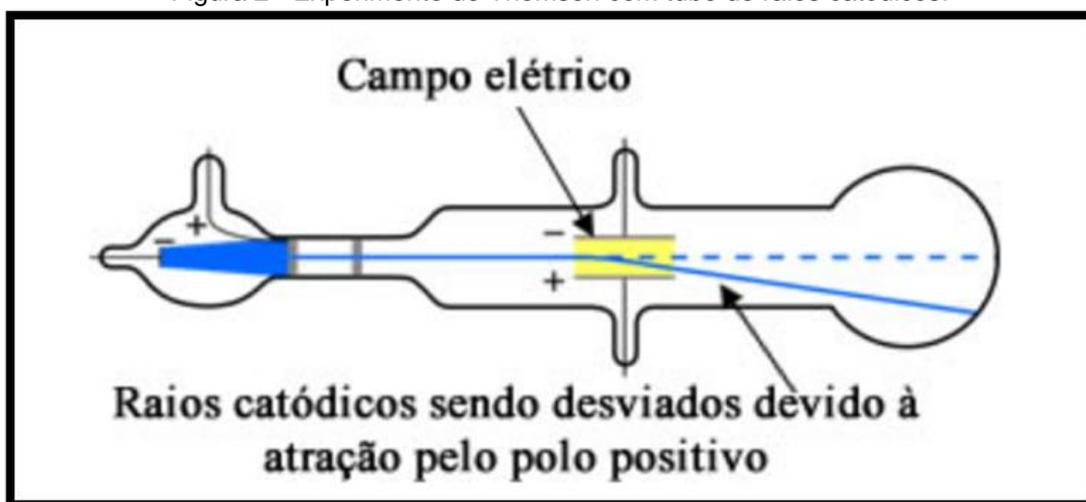
2.2.2 MODELO ATÔMICO DE THOMSON

Concebido no final do século XIX, o modelo de J.J.Thomson (1856-1940) surgiu após a descoberta do elétron. Segundo Abdala (2016, p. 40), " O físico inglês Joseph John Thomson, em uma experiência com raios catódicos, flagrou a divisibilidade do átomo! Descobriu o elétron - a primeira partícula elementar a ter suas características identificadas."

Ao investigar os raios catódicos, raios emitidos quando é aplicado uma grande diferença de potencial entre dois eletrodos, em um tubo de vidro sob vácuo, conhecido como tubos de Crookes, Thomson percebeu o desvio do feixe causado

pelo campo elétrico e campo magnético aplicado aos eletrodos e concluiu que os raios emitidos são partículas negativas provenientes do átomo do catodo (Figura 2), ou seja, do eletrodo de carga negativa, ele ainda percebeu que essas partículas, que posteriormente foram chamadas de elétrons, eram sempre as mesmas, independente do metal usado no catodo. (ATKINS, JONES e LAVERMAN, 2018).

Figura 2 - Experimento de Thomson com tubo de raios catódicos.



Fonte: Fogaça, Jennifer Rocha Vargas

Disponível em <https://www.manualdaquimica.com/quimica-geral/modelo-atomico-thomson.htm>

Pode-se dizer, portanto, que toda matéria é constituída de elétrons (Figura 3). Neste contexto, para Atkins, Jones e Laverman (2018) fica claro que o átomo é divisível.

Para Thomson o átomo continha elétrons incrustado em uma superfície esférica positiva e para manter o átomo estável os elétrons estariam em repouso. Esse modelo ficou conhecido com pudim de passas. (ROZENBERG, 2002).

Figura 3 - O modelo de átomo de Thomson.



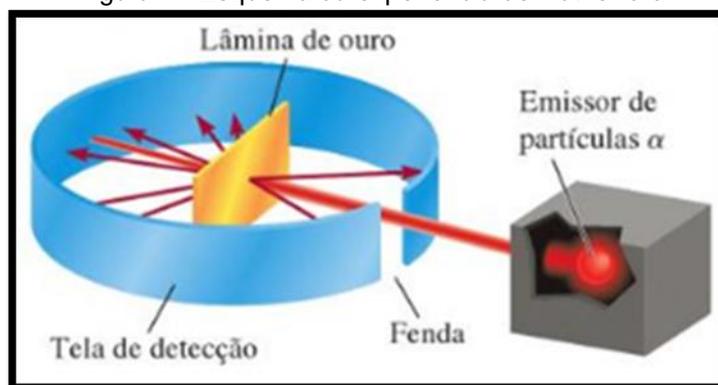
Fonte: (CHANG e GOLDSBY, 2013, p. 43)

Esse modelo, porém, foi abandonado por não conseguir explicar fenômenos ligados ao átomo, tais como, a emissão de luz pelos corpos incandescentes e o espalhamento de partículas alfa pelas lâminas metálicas.

2.2.3 MODELO ATÔMICO DE RUTHERFORD

Em 1911, o ex-aluno de Thomson, Ernest Rutherford (1871-1937), juntamente com seus alunos Hans Geiger (1882-1945) e Ernest Marsden (1889-1970), investigavam o bombardeamento de uma finíssima folha de ouro com um feixe de partículas alfa (partículas positivas) emitidas pelo elemento radioativo polônio (Figura 4).

Figura 4 - Esquema da experiência de Rutherford.



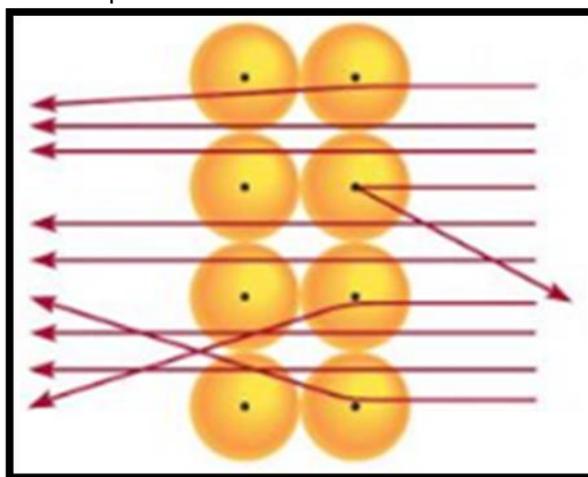
Fonte: Fonte: (CHANG e GOLDSBY, 2013, p. 44)

De acordo com Peruzzo (2012, p. 4-5):

Rutherford e seus alunos H. Geiger e Marsden realizaram um importante experimento em 1911, o qual consistia em bombardear uma finíssima lâmina de ouro (Au) com partículas alfa provenientes do elemento polônio (Po). O material radioativo Po foi colocado dentro de um invólucro de chumbo (Pb) que era dotado de um orifício para focalizar o feixe de radiação. Em volta da placa de Au foi colocada uma tela de sulfeto de zinco que se tornava fluorescente com a incidência de partículas alfa.

No experimento, Rutherford observou que a maioria das partículas atravessou a lâmina de ouro, mas algumas partículas sofriam desvios acentuados de direção e outras voltavam em direção ao sentido que incidiram (Figura 5). Essas observações não eram explicadas pelo modelo atômico vigente na época, ou seja, o modelo atômico de Thomson, pois esperava-se que as partículas alfa atravessassem a folha de ouro quase sem desvio.

Figura 5 - Esquema das partículas α atravessando e sendo defletidas pelo núcleo.



Fonte: Fonte: Chang e Goldsby (2013, p.44)

Surpreso com as observações, Rutherford declarou:

Foi tão inacreditável como se você atirasse um obus (peça de artilharia semelhante a um morteiro comprido) de 15 toneladas sobre um pedaço de seda e ele atingisse e voltasse. (CHESMAN, ANDRÉ e MACÊDO AUGUSTO, 2004, p. 124)

Então concluiu:

Refletindo, percebi que esse retroespalhamento deveria ser produzido por uma única colisão, e fazendo as contas vi que seria impossível obter qualquer coisa dessa ordem de grandeza, exceto em um sistema em que a maior parte da massa do átomo estivesse concentrada em um núcleo diminuto. Foi, então, que tive a ideia de um átomo com a carga (positiva) e a massa concentrada em uma minúscula região central. (CHESMAN, ANDRÉ e MACÊDO AUGUSTO, 2004, p. 125)

A passagem sem desvios das partículas alfa pela lâmina de ouro fez Rutherford concluir que nos átomos prevalecia um espaço quase totalmente vazio e que deveria existir uma carga elétrica positiva no átomo para criar a enorme força de repulsão necessária para mudar a direção da partícula alfa e que essa carga deve estar concentrada em um volume muito pequeno, ou seja, o núcleo, então quando a partícula alfa se aproxima do núcleo ela é repelida, pois ambas têm carga positiva (PERUZZO, 2012).

De acordo com Peruzzo (2012, p. 6):

Rutherford afirmou ainda que os elétrons encontram-se em movimento circular em torno do núcleo, numa região denominada eletrosfera, com uma velocidade tal que a força elétrica de atração exercida pelo núcleo é equilibrada pela força centrípeta. Através de muitos cálculos Rutherford chegou à conclusão de que o tamanho do átomo seria de 10.000 a 100.000 vezes maior que o tamanho do núcleo. O diâmetro do átomo, em termos aproximados, varia de 1×10^{-8} cm a 3×10^{-8} cm e o diâmetro do núcleo, de cerca de 1×10^{-12} cm à 3×10^{-12} cm.

Sendo assim, podemos concluir que a lâmina de ouro é constituída por átomos formados por um núcleo muito pequeno e denso carregado positivamente no seu centro, rodeado de uma região comparativamente grande onde estão os elétrons, a eletrosfera, esses elétrons precisam estar orbitando ao redor do núcleo positivo com determinada velocidade, pois de outro maneira seriam atraídos eletricamente pelo núcleo.

Assim, Rutherford propôs outro modelo atômico, que veio a substituir o modelo do seu ex-professor, segundo o qual o átomo possui as seguintes características:

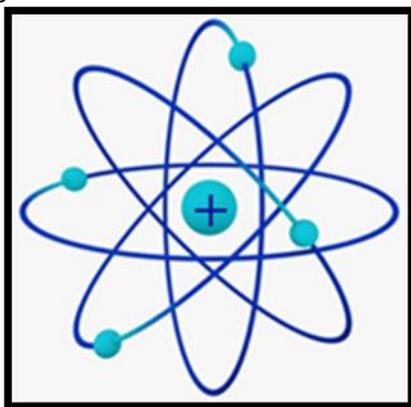
I) O átomo não é maciço, mas formado por uma região central, denominada de núcleo, que é muito pequeno em relação ao diâmetro do átomo, ou seja, o átomo é praticamente um vazio.

II) O núcleo concentra toda a massa do átomo e é dotado de carga elétrica positiva.

III) Na eletrosfera, região ao redor do núcleo, giram em órbitas circulares os elétrons.

O modelo de Rutherford ficou conhecido como modelo planetário, pois era comparado ao sistema solar, onde os planetas são atraídos pela força gravitacional do sol e não seguem em direção a ele (Figura 6).

Figura 6 - Modelo atômico de Rutherford.



Fonte: <http://modelosatomicos101.blogspot.com/2018/04/modeloatomico-de-rutherford-este-modelo.html>

Apesar do modelo atômico de Rutherford prever a existência de carga positiva no núcleo do átomo, essa partícula só foi descoberta em 1919 pelo próprio Rutherford.

Finalmente, em junho de 1919, Ernest Rutherford publica seus resultados sobre a primeira desintegração artificial, num artigo sobre as colisões da partícula α contra átomos leves. No trabalho, mostra que, quando as partículas α incidem sobre o nitrogênio, produzem núcleos de hidrogênio (prótons) transmutando o nitrogênio em outro elemento, o ${}^8\text{O}^{17}$, um isótopo do oxigênio – descoberta de forma inequívoca o próton. (ABDALLA, 2016, p. 48).

O próton é formado por outras partículas e sua massa de $1,673 \times 10^{-27}$ kg é cerca de duas vezes maior do que a do elétron.

Já para o parceiro do próton no núcleo, Rutherford não tem o mesmo êxito.

Para manter a estabilidade do núcleo, Rutherford e outros físicos, sugeriram, em 1920, a existência de uma partícula neutra formada por um próton e um elétron, pois dessa forma, o elétron constituinte de tal partícula poderia escapar do núcleo dando origem aos raios β . Entretanto, essa ideia não triunfou, pois a Mecânica Quântica providenciou contraprovas que culminaram no abandono do modelo. Apesar disso, a ideia de partículas neutras no núcleo não foi abandonada, ao contrário, muitas observações corroboraram para sua permanência, dentre elas, a descoberta dos isótopos, que se diferem uns dos outros pela diferença de seus núcleos, e essa diferença poderia ser um indicativo de partículas neutras, que receberam o nome de nêutrons. (ABDALA, 2016).

Alguns pesquisadores chegaram perto de evidenciar a existência dos Nêutrons, entre eles, Walter Bothe, Herbert Becker e o casal Jean Frédéric Joliot e Irène Curie, mas coube a James Chadwick, em 1932, a descoberta.

Assim como Bothe e Becker e os Joliot-Curie, Chadwick usou uma amostra de polônio como fonte de partícula (α). Essa radiação α era tão forte que, ao colidir com hidrogênio, hélio, lítio, berílio, carbono, ar e argônio, emitia uma radiação com um poder de penetração realmente muito grande. Essa radiação foi interpretada pelo casal como espalhamento de raios γ pelos prótons. Além disso, era impossível explicar, a menos que se abandonasse as leis de conservação de momento e energia. Chadwick preferiu a solução que previa a existência do parceiro do próton – o nêutron – a abandonar as leis de conservação fundamentais da Física. (ABDALLA, 2016, p.69).

Em 1935 James Chadwick recebe o prêmio Nobel de Física pela descoberta do nêutron.

Apesar do grande avanço, o modelo planetário não conseguia explicar a hipótese dos elétrons orbitarem ao redor no núcleo, pois segundo a teoria eletromagnética de Maxwell, cargas elétricas aceleradas emitem radiação e ao emitir radiação perdem energia mecânica o que resultaria em perda de velocidade, e conseqüentemente, o elétron descreveria uma órbita espiralada até chocar-se com o núcleo e a matéria ser destruída, porém esse fato não é observado, pois a estrutura atômica é estável. Além disso, os resultados de pesquisas realizadas na época, envolvendo o espectro eletromagnético, não eram condizentes com esse modelo atômico.

Todos os modelos de átomos que vimos até agora fazem parte da física clássica, pois seus movimentos e suas estruturas eram explicados pelas leis de Newton, formuladas no século XIX. No Quadro 1 apresentamos um resumo desses modelos.

Quadro 1 - Modelos de átomos da Física Clássica.

DATA	CIENTISTA	MODELO	ESTRUTURAS
1808	Dalton	Esferas maciças e indivisíveis	Redescobre o átomo como partícula, a partir de experiências químicas
1897	Thomson	“Pudim de passas”: uma massa positiva com elétrons incrustados.	Descobre o elétron, ao estudar a corrente elétrica em gases.
1911	Rutherford	“Modelo planetário”: elétrons girando em torno do núcleo, como a Terra gira em torno do sol.	Descobre o núcleo atômico e verifica que o átomo é “mais vazio do que cheio”.

Fonte: Produzido pela autora.

2.2.4 MODELO ATÔMICO DE BOHR

As incoerências apresentadas pelo modelo de Rutherford, em especial não explicar o fato de uma carga elétrica emitir energia na forma de radiação eletromagnética quando se movimenta, não podiam ser solucionadas com modelos e teorias existentes na época.

Fazendo assim, a física clássica entrar em crise, pois se por um lado os resultados experimentais de Rutherford indicavam a existência de um núcleo com elétrons orbitando ao seu redor, por outro lado, a teoria eletromagnética de Maxwell afirmava que elétrons em movimento perdem energia sob forma de radiação o que faria os elétrons em torno do núcleo percorrerem órbitas cada vez menores até chocarem com o núcleo do átomo, impossibilitando, assim, a existência do átomo.

Em 1860, James Clerk Maxwell desenvolveu a teoria que todas as formas de radiação são propagadas no espaço vibrando um campo elétrico e outro magnético, perpendiculares entre si. Com a irradiação contínua de energia, os elétrons teriam suas órbitas diminuídas progressivamente, tendo de girar mais rápido para compensar a atração eletrostática do núcleo continuamente aumentada com a diminuição da distância entre as cargas. (BIEHL, 2003, p. 111).

De acordo ainda com Biehl (2003, p. 111):

Usando as equações de Maxweel, pode ser demonstrado que o átomo modelo de Rutherford duraria apenas 10^{-11} segundos.

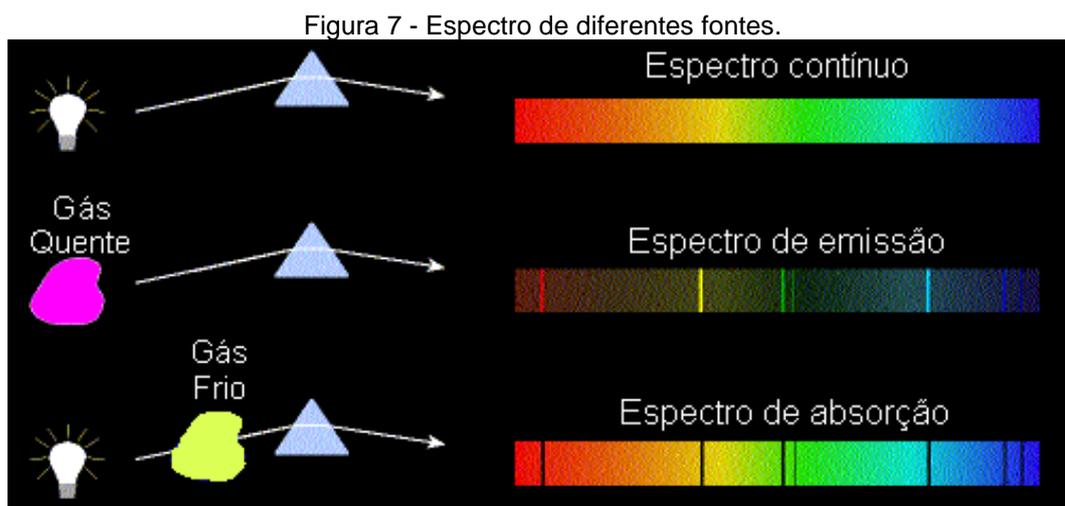
Essa contradição só foi resolvida, quando em 1913 Niels Bohr (1885-1962), propôs uma solução para conciliar as leis da física clássica com os resultados experimentais de Rutherford, ficando o modelo conhecido como Rutherford-Bohr ou simplesmente modelo de Bohr. Esse novo modelo atômico foi fundamentado no conhecimento da estrutura do modelo planetário de Rutherford e incluía algumas propostas em voga na época.

Sabia-se na época que certos materiais, quando aquecidos a certas temperaturas, brilham emitindo luz. Essa luz quando atravessa um prisma é separado em suas cores fundamentais, sendo que cada elemento químico apresenta um padrão próprio de emissão de luz, conhecido como seu espectro. (ABDALLA, 2006).

A análise das cores de qualquer tipo de luz emitida pelos corpos se chama espectroscopia e o espectro da luz decomposta é registrado em filmes fotográficos.

Quando é feita a espectroscopia da luz branca, obtém-se um espectro contínuo, mas ao analisar o espectro de qualquer substância aquecida, suficientemente, até atingir o estado gasoso, o espectro apresenta algumas cores concentradas, denominadas linhas espectrais ou raias, revelando que apenas algumas frequências são emitidas

pela luz capturada pelo espectrômetro, isso porque cada substância possui um espectro de emissão diferente. Além do espectro de emissão, existe o espectro de absorção. A análise dos espectros permite inferir quais substâncias ou elementos químicos estão sendo analisados (Figura 7).

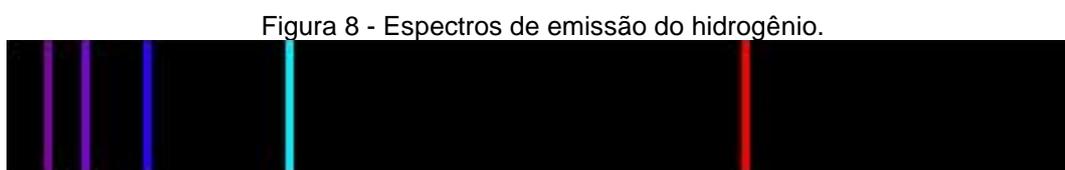


Fonte: http://www.if.ufrgs.br/fis02001/aulas/aula_espec.htm

De acordo com Rocha(2002, p. 319):

Um outro tipo de espectro é denominado "espectro de absorção" ou "espectro de linhas escuras", e o mesmo aparece quando a luz branca é forçada a atravessar os vapores de uma substância a uma temperatura relativamente baixa. Nesse caso, os vapores frios irão absorver as mesmas frequências de luz que irradiariam (emitiriam) se estivesse muito quentes. Tais frequências (cores) absorvidas são, então, extraídas da luz branca que atravessa os vapores. O espectro resultante surge com linhas escuras, nos mesmos lugares onde surgiriam num espectro de linhas brilhantes da mesma substância.

Vale ressaltar que o modelo atômico de Rutherford não era consistente com os espectros observados, foi quando então Bohr propôs um modelo fundamentado nos espectros de emissão do hidrogênio (Figura 8).

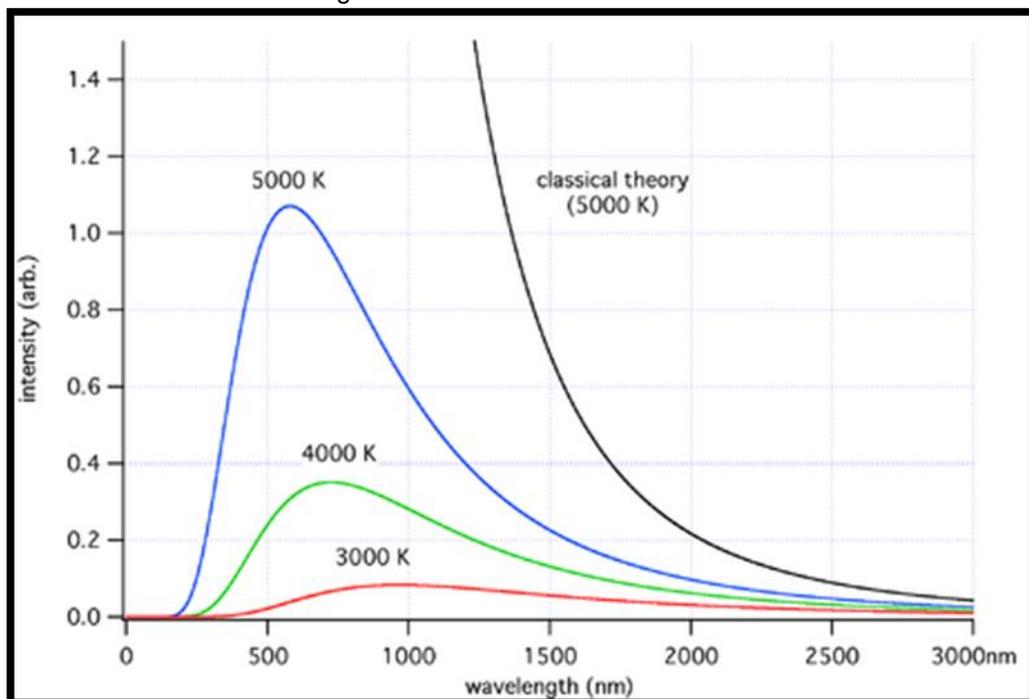


Fonte: <http://www.if.ufrgs.br/cref/camiladebom/Aulas/Pages/3.html>

O modelo de Bohr também foi alicerçado na quantização de energia proposta por Max Planck (1858-1947), proposta esta que solucionou o problema do corpo negro (corpo ideal que absorve toda radiação incidente sobre ele) e na teoria dos fótons de Einstein, que explicou o efeito fotoelétrico.

O problema do corpo negro era que os dados experimentais não condiziam com as previsões da física clássica, que dizia que um corpo, quando aquecido, emite radiação eletromagnética em um espectro contínuo característico, que depende basicamente da temperatura. Observando o gráfico (Figura 9) para pequenas frequências (grandes comprimentos de onda) o resultado da curva experimental corresponde com a previsão teórica (clássica), mas para pequenos comprimentos de onda, enquanto a teoria clássica previa que a densidade de energia tende ao infinito, a experiência mostrava a densidade de energia tendendo a zero. Essa discrepância entre dados teóricos e experimentais ficou conhecida como catástrofe do ultravioleta, por ser mais notável na região do comprimento de onda do ultravioleta.

Figura 9 - Catástrofe do ultravioleta.



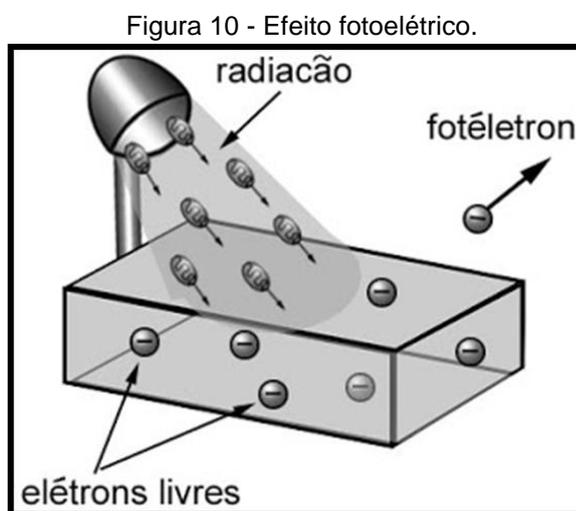
Fonte: https://pt.wikipedia.org/wiki/Mec%C3%A2nica_cl%C3%A1ssica.

A solução para esse problema foi realizada por Planck em 1900 ao introduzir a teoria dos quanta.

A teoria de uma emissão contínua não concordava com os experimentos sobre a relação entre a intensidade e a frequência de energia. Planck postulou a emissão ou absorção de energia em forma descontínua, segundo certos quanta ou "quantidades". A fórmula $E = hf$, em que 'E' se lê 'energia', 'f' se lê 'frequência de vibração' e 'h' se lê 'constante de Planck' ou 'quantum', significa que a energia de um quantum é diretamente proporcional à frequência da onda associada. (MORA, 2004, p. 2426).

De acordo com Planck, a matéria só pode absorver ou emitir energia em quantidades discretas e bem definidas, chamadas de "pacotes" ou "quantum" de energia.

Em 1905, Albert Einstein (1879-1955), valeu-se da hipótese de Planck para explicar o efeito fotoelétrico (Figura 10), fenômeno no qual determinadas substâncias liberam elétrons quando atingidas por radiação eletromagnética. Assumindo o pressuposto da quantização, Einstein sugere que a luz é formada por pequenos "pacotes de energia", chamados de fóton, proporcionais à sua frequência.



Fonte: <http://modeloatomico3.blogspot.com/2011/04/efeito-fotoeletrico.html>

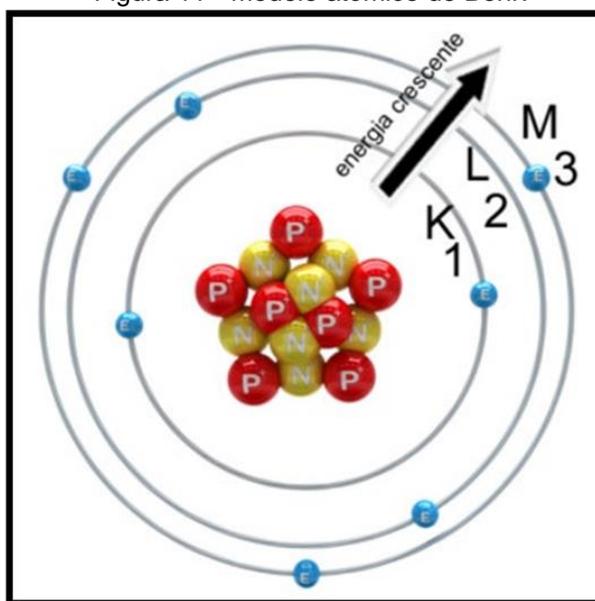
Quando a luz incide sobre uma placa metálica, a luz transmite energia necessária para liberar elétrons, tornando a placa carregada positivamente. O elétron para ser libertado da placa precisa de uma certa quantidade de energia fornecida pelo fóton, ou seja, deve existir uma frequência mínima da radiação incidente para que os elétrons sejam emitidos.

O efeito fotoelétrico não podia ser explicado pela teoria ondulatória da luz. No entanto, Einstein fez uma suposição extraordinária. Sugeriu que um feixe de luz é, na realidade, um feixe de partículas. Essas partículas de luz são agora conhecidas como fótons. Usando a teoria quântica da radiação proposta por Planck como ponto de partida, Einstein deduziu que cada fóton deve possuir uma energia E , dada pela equação $E = hf$, em que f é a frequência da luz. (CHANG, 2010, p. 206).

A partir de então, a radiação eletromagnética passou a ser compreendida através do seu caráter ondulatório e seu caráter corpuscular.

Bohr, aplicando todo esse conhecimento e certo de que não havia sentido em tratar classicamente a energia dos elétrons, estabeleceu um novo modelo atômico para o átomo (Figura 11).

Figura 11 - Modelo atômico de Bohr.



Fonte: <https://www.manualdaquimica.com/quimica-geral/modelo-atomico-rutherford-bohr.htm>

De acordo com Abdalla(2006, p. 54):

Convicto de que a Mecânica Clássica não seria mesmo capaz de descrever o átomo de hidrogênio, Bohr imaginou uma variação do modelo de Rutherford formada por um núcleo carregado positivamente no centro e um elétron, carregado negativamente, orbitando em torno da carga positiva. Bohr imaginou também que a soma das duas cargas tinha um valor total igual a zero, sendo o átomo eletricamente neutro. Mas onde posicionar o elétron? o modelo postulava uma série de órbitas possíveis para acomodá-lo, chamadas de "órbitas estacionárias", arranjadas em círculos concêntricos. O elétron só poderia mover-se em uma das órbitas disponíveis em torno do núcleo.

Depois de formular seu modelo, Bohr postulou:

1) Postulado dos estados estacionários

Bohr admitiu que o átomo de hidrogênio podia existir, sem irradiar, em qualquer estado de um conjunto discreto de estados estacionários, com energias bem determinadas. (HALLIDAY, RESNICK e WALKER, 1995, p. 162).

2) Postulado da frequência

Bohr admitiu que o átomo de hidrogênio podia absorver ou emitir energia exclusivamente quando o átomo passava de um estado estacionário para outro. A energia do fóton absorvido, ou emitido, seria igual à diferença das energias dos dois estados. (HALLIDAY, RESNICK e WALKER, 1995, p. 162).

Com seus postulados Bohr proporcionou uma grande evolução no entendimento do átomo, porém sua teoria só atingiu êxito para o átomo de hidrogênio, não apresentando resultados tão precisos para os outros átomos. O seu modelo mistura conceitos da Física Clássica com Física Quântica, contudo apresenta contradições com esta.

2.2.5 – MODELO DA MECÂNICA QUÂNTICA

As contradições do Modelo de Bohr com a Física Quântica só começaram a ser resolvidas em 1925, com as proposições de Erwin Schrödinger (1887-1961), que introduziu equações baseadas nas equações de ondas, mostrando que os elétrons podem se comportar como ondas, e Werner Heisenberg (1901-1976) com a formulação do princípio de incerteza.

Em 1927, Heisenberg formula o princípio de incerteza, segundo o qual, não se pode determinar simultaneamente a posição e a velocidade de uma partícula, ou seja, se medirmos a posição de uma partícula, perdemos a informação sobre a sua velocidade, e se determinamos a velocidade dessa partícula, tornamos indeterminada sua posição. Logo, essas medidas não podem ser feitas concomitantemente, pois a natureza não nos permite, sendo um limite fundamental do conceito de partícula.

Segundo Halliday, Resnick e Walker (1995, p. 185): o princípio da incerteza de Heisenberg proporciona a medida quantitativa desta limitação:

Suponhamos que tentemos medir, simultaneamente, a posição e o momento de um elétron que se move sobre o eixo x. Seja Δx a incerteza na medida da posição e Δp_x a incerteza na medida do seu momento. O princípio de incerteza de Heisenberg afirma que $\Delta x \cdot \Delta p_x \approx \hbar$.

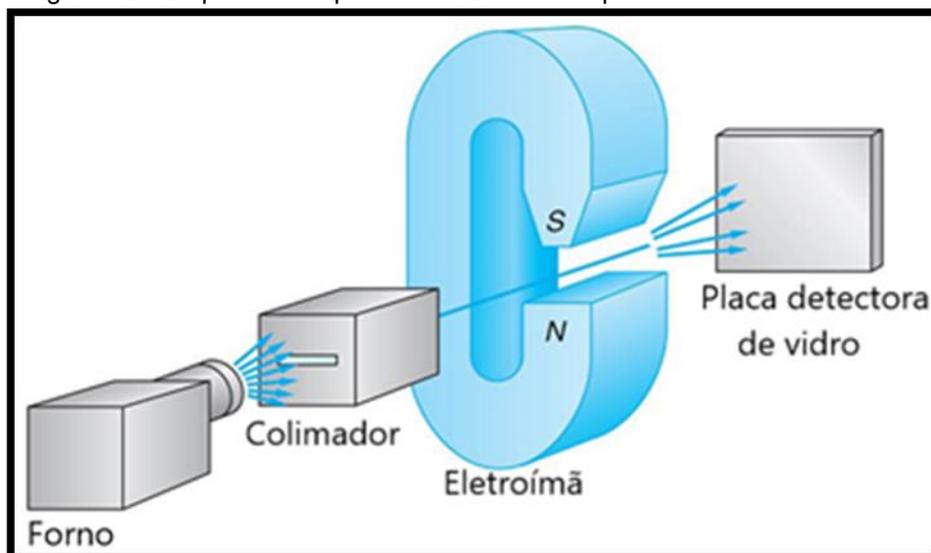
Com a verificação do princípio de incerteza em diversos experimentos, ficou demonstrada a impossibilidade de se determinar um caminho a ser percorrido pelo elétron no interior de um átomo, fato em desacordo com o modelo de Bohr, que previa órbita circulares para o movimento dos elétrons.

Além de Schrödinger e Heisenberg, outros físicos contribuíram para a criação de um novo modelo para o átomo, o chamado modelo da mecânica quântica, entre eles, Planck, Einstein, De Broglie e Dirac.

Nesse novo modelo, a ideia de órbita é substituída pelo conceito de orbital, que é uma região no espaço, ao redor do núcleo, em que é mais provável encontrar o elétron, contradizendo o modelo de Bohr, onde cada nível de energia corresponde a uma órbita onde o elétron deveria estar. No modelo da Mecânica Quântica, a energia é associada a cada orbital atômico, sendo os orbitais definidos por quatro números quânticos, que correspondem à localização mais provável de um determinado elétron. Sendo esses números quânticos: número quântico principal (n), número quântico secundário ou azimutal (l), número quântico magnético (m ou ml) e número quântico spin (S ou m_s).

Em 1922, Otto Stern e Walter Gerlach, a partir de experiências com campos magnéticos não-uniforme, forneceram mais evidências da natureza quântica do átomo, verificando a quantização espacial. A Figura (12) mostra o esquema do aparelho utilizado por Stern e Gerlach.

Figura 12 - Esquema do aparelho utilizado na experiência de Stern- Gerlach.



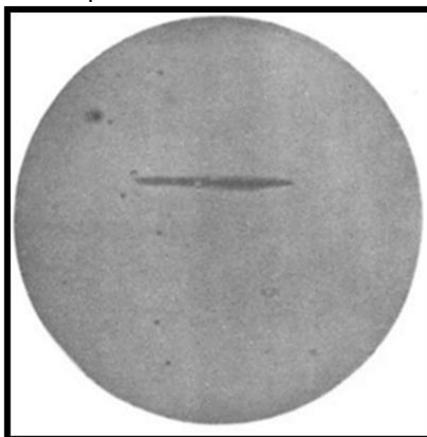
Fonte: <https://www.filofima.com.br/fisica/quantica/5c-hidrogenoides.html>

Conforme Halliday, Resnick e Walker (1995, p. 206), a experiência de Stern-Gerlach pode ser descrita assim:

Átomos de prata provenientes da vaporização da prata num “forno” eletricamente aquecido se espalham por efeito de vácuo através de um pequeno orifício na parede do forno. A seguir, esses átomos (que são elementos neutros, mas têm momento magnético) passam por uma fenda colimadora formando um feixe estreito. Esse feixe atravessa a região entre os pólos de um eletroímã e, finalmente, deposita-se numa placa detectora de vidro.

A experiência de Stern-Gerlach mostra que quando o eletroímã do aparelho está desligado, os átomos do feixe não são desviados, formando uma linha sobre a placa detectora (Figura 13).

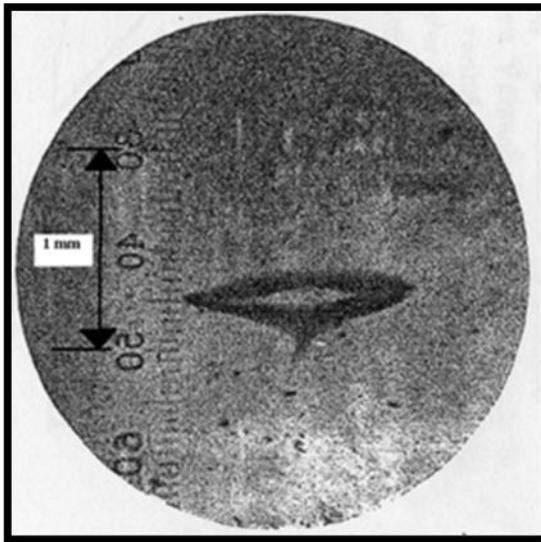
Figura 13 - Resultado da experiência de Stern-Gerlach sem campo magnético.



Fonte: https://www.researchgate.net/figure/Pattern-created-by-a-ray-of-silver-atoms-in-the-original-Stern-Gerlach-experiment-left_fig1_325217695

Entretanto, quando o eletroímã está ligado, o feixe se divide em dois subfeixes, ou seja, todas as partículas foram desviadas para cima ou para baixo, com a mesma intensidade, desenhando uma figura simétrica, sem nenhum átomo atingir a zona central, sugerindo, então, que os átomos de prata possuíam apenas duas orientações em seu momento magnético, e, portanto, de seu momento angular, verificando, assim, a quantização espacial (Figura 14), um resultado inexplicável para a física da época.

Figura 14 - Resultado da experiência de Stern-Gerlach com campo magnético.



Fonte: http://www.fisicacuantica.es/experimento_stern-gerlach/

O resultado observado na experiência de Stern-Gerlach ficou sem explicação até 1925, quando a introdução do spin permitiu sua interpretação.

Segundo Halliday, Resnick e Walker (1995, p. 207):

Os momentos angulares de spin e os momentos angulares orbitais dos elétrons de um átomo de prata cancelam-se uns aos outros, com exceção do momento angular de spin de seu único elétron de valência. Este spin só pode ter duas orientações, descritas por $m_s = +1/2$ e $m_s = -1/2$: é por isso que são dois subfeixes, e não um outro número.

Portanto, na experiência Stern-Gerlach, as partículas com um componente de spin, com valor $+1/2$, são desviadas para cima, e partículas com componente de spin, com valor $-1/2$, são desviadas para baixo.

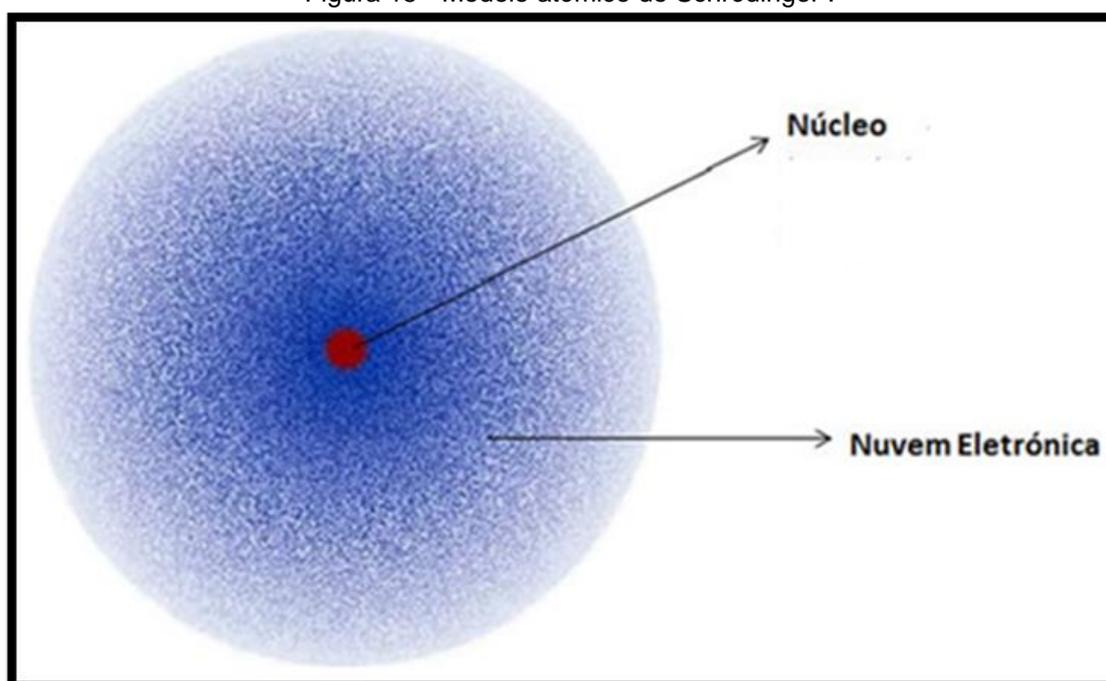
A partir de então, a ideia clássica do átomo teve de ser abandonada. As partículas, que até então, eram representadas sob a forma de objetos, geralmente pequenas esferas, passaram a ser descritas por equações matemáticas (sem forma e sem tamanho).

Entre os modelos atômicos da mecânica quântica, podemos citar os de Broglie e o de Schrödinger.

De Broglie insere em seu modelo atômico a dualidade do elétron (partícula-onda), postulando que “a todo elétron em movimento está associada uma onda característica”.

Por fim, Schrödinger, usando o princípio de incerteza de Heisenberg, abandona a ideia de órbitas ao redor do núcleo atômico, propondo o modelo de orbitais atômicos, que como já descrevemos, são regiões no espaço que apresentam a máxima probabilidade de se encontrar um elétron, essa região se assemelha a uma nuvem eletrônica (Figura 15). Cabe ressaltar que o modelo atômico atual é o modelo de Schrödinger.

Figura 15 - Modelo atômico de Schrödinger .



Fonte: <http://www.explicatorium.com/cfq-9/modelo-nuvem-eletronica.html>

2.3 O MODELO PADRÃO DAS PARTÍCULAS ELEMENTARES

No século XX descobriram-se várias novas partículas e fez surgir um novo ramo na Física, denominado Física de Partículas ou Física de Altas Energias, que estuda o menores constituintes da matéria e radiação, bem como as interações entre elas.

Cabe ressaltarmos que uma das referências na Física de Partículas no Brasil é o professor de Física da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), Alberto Santoro.

Santoro fez parte do experimento que descobriu o quark top, partícula elementar encontrada em 1995 no experimento (D0) DZero do Fermilab.

Como o aumento do número de partículas descobertas, houve a necessidade de organizá-las através de uma teoria, surgiu assim o Modelo Padrão das Partículas Elementares, ou simplesmente Modelo Padrão, uma teoria sobre as partículas elementares, as forças que atuam entre elas e as leis que governam essas forças. Esse modelo tem sido um sucesso, pois os dados obtidos em experimentos, principalmente nos aceleradores de partículas, podem ser explicados por tal teoria.

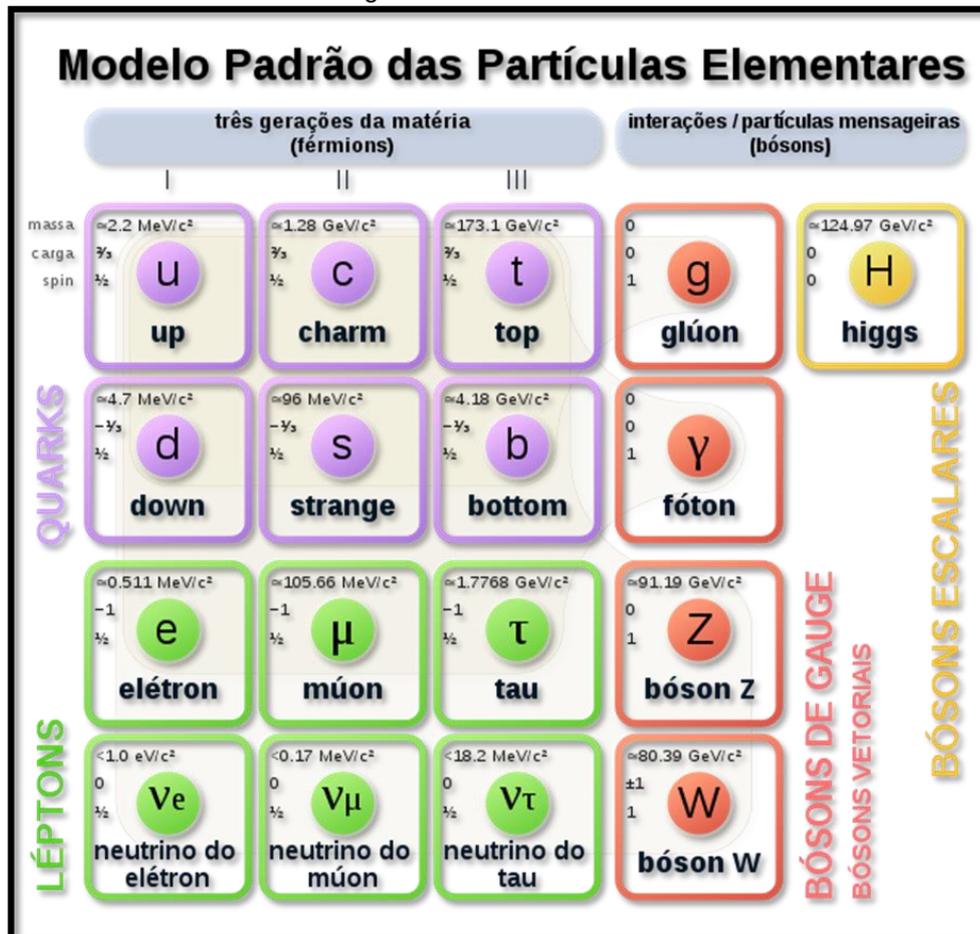
O modelo que tenta descrever a natureza da matéria, ou de que é feito o universo e como se aglutinam suas partes, em termos de quatro forças, quatro partículas (virtuais) mediadoras e 12 partículas fundamentais é o chamado modelo padrão. (MOREIRA, 2011, p. 84).

Surgiram tantas partículas subatômicas que foi necessário organizá-las em famílias. Partículas de spin semi-inteiros são chamados de férmions, já as que têm spin inteiros são chamados de bósons. Os férmions com carga elétrica fracionária são chamados de quarks e os outros chamados de léptons.

Existem seis tipos de léptons, e seis antiléptons, somando doze partículas elementares. Existem seis quarks, cada um aparecendo em três cores, totalizando 18 quarks, sendo que cada um tem seu antiquark, adicionando mais 36 partículas elementares. Existem, ainda, 13 tipos de bóson mediadores, sendo 8 glúons, as partículas W^+ , W^- , Z^0 , fóton e o bóson de Higgs. Sendo, portanto, um total de sessenta e uma partículas elementares.

De acordo com o Modelo Padrão (Figura 16), os quarks, os léptons e os bóson mediadores formam o quadro das partículas elementares que compões toda a matéria.

Figura 16 - Modelo Padrão.



Fonte: https://www.wikiwand.com/pt/B%C3%B3son_de_calibre

2.4 AS PARTÍCULAS ELEMENTARES

Partículas elementares são partículas sem estrutura interna, ou seja, partículas que não podem ser quebradas. Como bem nos assegura Marques (2010), partículas elementares são, de forma metafórica, tijolinhos que formam todas as coisas que existem ou já existiram.

Apesar das definições acima serem bem simples, na perspectiva da Mecânica Quântica, como afirma Abdalla (2016, p. 30), a explicação é mais complicada:

Do ponto de vista teórico, o conceito que define uma partícula elementar é antes de tudo, de natureza abstrata e matemática. Todas as partículas elementares são descritas por objetos matemáticos denominados funções de onda, a partir das quais são extraídas informações sobre a dinâmica de tais partículas. A função de onda que descreve uma partícula elementar não pode ser redutível à função de onda de outras partículas.

Para Marques (2005, p. 1), o estudo das partículas elementares facilita entendermos a constituição da matéria, suas propriedades e interações:

A Física de Partículas tem como seu objetivo o estudo dos constituintes fundamentais da matéria, suas propriedades e suas interações, sendo que a Física de Partículas moderna é o mais ambicioso e organizado esforço humano para compreender a matéria no seu nível mais básico. Para tanto, utilizamos grandes aceleradores de partículas, os quais são os maiores microscópios já construídos, chegando a explorar distância da ordem de 10^{-18} m, ou seja, 10^{-8} do tamanho do átomo!

No final do séc. XIX, devido aos limites experimentais, acreditava-se que o átomo fosse a partícula elementar que formava todas as coisas. Entretanto, no final do mesmo século o átomo foi quebrado por J. J. Thomson e a primeira partícula elementar, o elétron, foi então descoberta. No início do séc. XX ficou claro que os átomos eram formados por uma eletrosfera onde orbitavam os elétrons, e um núcleo formado por prótons e nêutrons, que na época também eram consideradas partículas elementares.

As partículas elementares são bem diferentes dos objetos que observamos no nosso dia a dia, o que dificulta sua compreensão, sendo que poucas delas são eternas, como por exemplo o decaimento de uma partícula. A maioria delas jamais serão encontradas livres, ou seja, elas só são encontradas em associação com outras (confinadas), e algumas passam por processo de mutação de um tipo para outro, como acontece com os neutrinos.

Para o processo de entendimento das partículas elementares é importante considerar alguns atributos que lhes são peculiares, entre os quais destacamos a massa, a carga e o spin.

A massa das partículas elementares deve ser examinada através do entendimento da Teoria da relatividade Restrita. Segundo Albert Einstein, através da relação $E = mc^2$, onde E é energia, m a massa e c a velocidade da luz, logo podemos associar a massa de um corpo com uma determinada energia. (MARQUES, 2010).

Outro atributo bem típico das partículas elementares é a carga elétrica, a qual se manifesta em quantidades discretas.

A carga elétrica de uma partícula lhe permite atrair ou repelir outras partículas. Assim como a massa, algumas partículas elementares não possuem esse atributo, como por exemplo, o neutrino.

O spin também é um atributo das partículas elementares, porém seu entendimento é difícil, pois é uma grandeza física sem um correspondente clássico.

De acordo com Abdalla (2016, p. 34):

Spin é um dos números quânticos característicos das partículas elementares. É a propriedade associada ao movimento de rotação devido a velocidade angular em torno do seu próprio eixo e que independe de sua velocidade linear. ... O spin de uma partícula é revelado mediante a ação de um campo magnético externo ao qual a partícula é submetida.

Como já dito, o spin também é usado para classificar as partículas, sendo as partículas com spins semi-inteiros chamadas de férmions, como por exemplo os elétrons, já as partículas com spins inteiros são chamadas de bósons, como o fóton.

A importância da classificação das partículas através do seu spin é que: “Os férmions obedecem ao princípio de exclusão de Pauli, que afirma que um certo estado quântico só pode ser ocupado por uma única partícula. Os bósons não obedecem a este princípio. A um certo estado quântico pode ser atribuído um número qualquer de bósons. Uma vez que as partículas procuram os estados de menor energia, os bósons tendem a se aglomerar nos estados de menor energia.” (HALLIDAY, RESNICK e WALKER, 1995, p. 301).

Segundo Halliday (1995), as partículas também podem ser classificadas através das forças que atuam sobre elas. Lembrando que existem quatro forças fundamentais, que são: A força gravitacional, que apesar de atuar em todas as partículas, seus efeitos são desprezíveis para partículas subatômicas, a força eletromagnética que atua em partículas carregadas, a força forte que é responsável por manter o núcleo coeso e que age somente em algumas partículas, e a força fraca, que age em todas as partículas e que está envolvida, como por exemplo, no decaimento beta e em processos análogos.

Agora, apresentaremos as partículas elementares, através da sua divisão em famílias: léptons, quarks e bósons mediadores.

2.4.1 LÉPTONS

Os léptons são partículas elementares que não são afetados pela força forte. Existem seis tipos de léptons, três que possuem carga elétrica e três chamados de neutrinos.

Os que possuem carga elétrica são:

a) Elétron (e)

Como já relatado o elétron foi a primeira partícula elementar descoberta, quando em uma experiência com raios catódicos, em 1897, J. J. Thomson descobre a partícula. Os elétrons existem desde o início do universo, sendo suas propriedades utilizadas no nosso dia a dia, através de fenômenos associadas a essa partícula.

O elétron é o mais leve dos léptons, cuja massa de apenas $9,10938 \cdot 10^{-31}$ kg = $0,511$ MeV/c² resulta na sua estabilidade, como bem afirma Marques (2010):

“O elétron é, portanto, cerca de 2000 vezes mais leve que o próton. É uma das partículas mais leve dentre todas. Só os neutrinos têm massas menores que essa. A leveza do elétron é sua fonte de estabilidade. Por não existirem partículas mais leves do que o elétron, simplesmente ele não tem como desaparecer. Ou seja, sua estabilidade resulta da conservação da carga elétrica e da energia.” (MARQUES, 2010, P.152).

O elétron tem carga negativa, cujo módulo foi medido com precisão em 1909 por Robert Andrews Milikan, obtendo-se o valor de $1,602 \cdot 10^{-19}$ Coulombs.

O número quântico de spin do elétron é descrito pelo número $\frac{1}{2}$, o que significa que o elétron só pode existir em dois estados distintos.

De acordo com Marques (2010, p.153):

Devido ao seu spin, o elétron se comporta como um pequeno ímã. Assim, o spin tem relação direta com as propriedades magnéticas dos materiais. Em particular, o magnetismo dos ímãs tem a ver unicamente com o spin do elétron. Em geral, a orientação dos spins num determinado material se dá ao acaso. Assim, a soma dos spins resulta ser nula. Nos materiais ferromagnéticos (ímãs), os spins atuam cooperativamente de forma tal que a soma dos diminutos ímãs não seja nula.

b) Múon (μ)

O múon foi a quinta partícula elementar a ser descoberta (1937) e o seu processo de previsão, detecção e interpretação envolveu um enigma cheios de conclusões apressadas.

A origem desse enigma se dá em 1933 quando Hideki Yukawa (1907-1981) propôs a partícula Méson π ou pión. Ele sugeriu a existência de uma partícula com massa cerca de duzentas vezes maior que a do elétron e que poderia ser emitida e absorvida por prótons e nêutrons. A troca dessa partícula entre as partículas do núcleo atômico seria a responsável pela atração de curto alcance, um raio da ordem de 10^{-13} cm, entre eles. Para Yukawa essa força de atração seria bem mais forte que a força eletromagnética, explicando assim, a estabilidade nuclear. (ABDALLA, 2016).

Cerca de três anos após a proposição de Yukawa, Carl Anderson (1905-2004) e Seth H. Neddermeyer (1907-1988), realizando pesquisas com raios cósmicos, anunciam evidências do Méson π . Porém estudos posteriores mostraram se tratar de uma outra partícula, o Méson μ ou Múon, sendo o valor da sua carga elétrica e de seu spin os mesmos do elétron e sua massa 207 vezes maior que a do elétron, cuja

interação com a matéria é muito fraca, não podendo ser, portanto, o méson de Yukawa que age através da interação forte.

Segundo Eisberg e Resnick (1979, p. 802), “Os muons não participam na teoria de Yukawa sobre a origem da interação forte, embora tal fato tenha sido percebido muito tempo depois de sua descoberta, em 1936, por Anderson e Neddermeyer”.

O dilema da partícula de Yukawa, o méson π , só foi resolvido em 1947, quando então, a partícula é detectada. E apesar de não ser uma partícula elementar, vamos abordá-la devido sua importância para a Física, em especial, para a Física no Brasil, pois é nesse ponto que entra a enorme contribuição do físico brasileiro César Lattes.

O méson π , ou pión, foi descoberto logo após a segunda guerra mundial com a brilhante e fundamental participação de Cesare Mansueto Giulio Lattes (1924-2005), ou simplesmente César Lattes, quando tinha apenas 23 anos.

Aluno Precoce, Lattes concluiu sua graduação em Física e Matemática aos 19 anos de idade na Universidade de São Paulo (USP). Precoce também foi sua carreira científica. “Em 1946 foi para Bristol, na Inglaterra, trabalhar com o físico nuclear inglês Cecil Frank Powell (1903-1969). Foi lá que Lattes viu indicações, em chapas fotográficas, de um segundo tipo de méson.” (PIRES e CARVALHO, 2014, p. 102).

As chapas fotográficas com espessas camadas de emulsão (chamadas emulsões nucleares) eram utilizadas para fotografar o rastro de um méson e os produtos de sua desintegração e pelo estudo dessas trilhas, examinava-se a massa, energia e outras propriedades da partícula. Porém essas experiências, que eram realizadas no Pic du Midi, na França, a 2800 m de altitude, utilizando esses tipos de chapas, o registro era praticamente zero. Foi quando, então, Lattes pede ao físico Giuseppe Occhialini, que seguia para o Pic du Midi, levar algumas emulsões, diferentes das usadas até então, embebidas em bórax.

De acordo com Lattes (2001, p. 11):

Pedi a Occhialini, que havia decidido tirar férias nos Pireneus (Pic-du-Midi e cercanias), que levasse com ele, para uma exposição de cerca de um mês, caixas de emulsões. Algumas estavam carregadas com bórax e outras eram normais (sem bórax). Todas eram feitas com o novo tipo de emulsão concentrada B1, para o qual já estava disponível uma relação alcance-energia. As chamadas chapas normais deveriam ser usadas no estudo de raios cósmicos de baixa energia e também como controles, para ver se estávamos detectando nêutrons de raios cósmicos.

Ainda segundo Lattes (2001, p.11):

Quando Occhialini processou as emulsões, na mesma noite em que chegaram do Pic-du-Midi, ficou claro que as emulsões carregadas com bórax tinham muito mais eventos que as não-carregadas; que o bórax, de algum modo, evitava que a imagem latente desaparecesse (as chapas normais exibiam muito fading). A variedade de eventos nas chapas com bórax e a riqueza de detalhes tornaram evidente que a detecção de energia do nêutron era apenas um resultado colateral.

Lattes descobre uma estação meteorológica, localizada em Chacaltaya na Bolívia, com mais de 5 quilômetros de altitude e lá deixa as placas fotográficas expostas por um mês. A análise dessas fotografias revela a existência de duas partículas. O já conhecido Méson μ ou múon e o méson π , também chamado de pión. O pión é criado por partículas cósmicas de alta energia sofrendo colisões nucleares ao atravessar a atmosfera. (PIRES e CARVALHO, 2014).

Em 1947 Lattes vai a Berkeley, Califórnia onde através do acelerador de partículas existente lá detecta tanto píons positivos, quanto negativos.

Assim, em 1947 termina a procura da partícula de Yukawa, com a descoberta do pión pelos físicos Cecil Frank Powell, Giuseppe Occhialini e César Lattes. Lattes ganha, assim, fama internacional, porém quem ganha em 1950 o prêmio Nobel de Física pela descoberta da partícula, por ser chefe da equipe, é Powell.

c) Tau (τ)

O tau foi descoberto em 1975 por Martin Perl ao observar o processo de aniquilação entre elétrons e pósitrons. Fazendo parte da terceira geração de léptons, essa partícula, tem massa cerca de duas vezes maior do que o próton e três mil e quinhentas vezes mais maciço que o elétron, sendo, assim, o lépton mais pesado (ABDALLA, 2016).

Assim como o múon, o tau também é uma partícula instável e apresenta tanto carga positiva quanto negativa.

Os léptons sem carga elétrica são chamados de neutrinos, sendo eles:

a) Neutrino do elétron (ν_e)

Um nêutron do núcleo, no decaimento β , emite um elétron e se transforma em um próton, violando, aparentemente, a conservação de energia e do momento angular de spin.

Para explicar a aparente violação na conservação de energia, o físico Wolfgang Pauli (1900-1958), em 1930, propõe que uma partícula era emitida juntamente com o elétron levando com ela a energia desaparecida.

Essa partícula foi inicialmente chamada apenas de neutrino e depois de neutrino do elétron, sendo a terceira partícula elementar a ser estudada.

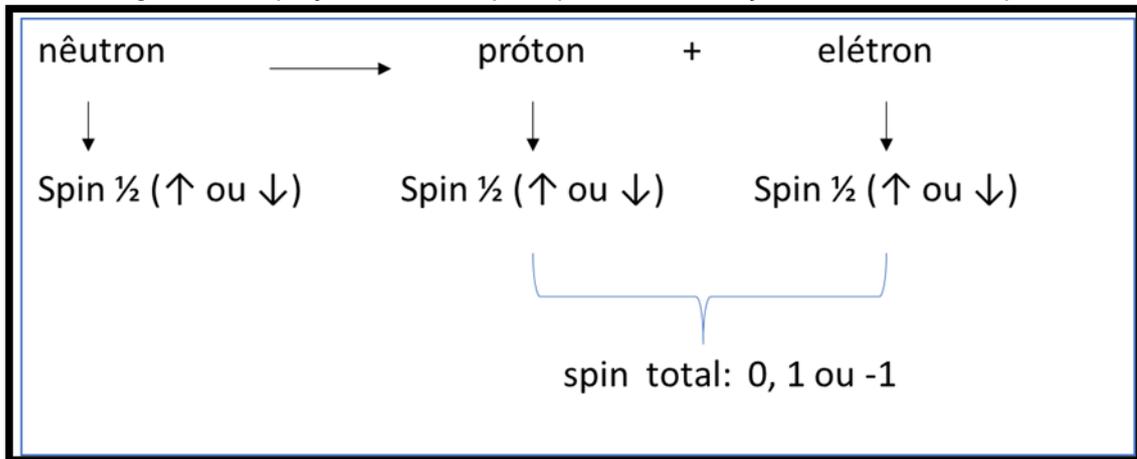
De acordo com Abdalla (2016, p. 54):

Pauli postulou a existência de uma partícula leve, neutra e fracamente interagente com a matéria, para explicar a aparente falha da conservação de energia nas medidas do chamado decaimento β .

Com a descoberta do nêutron em 1932, por James Chadwick, ficou provado que não há elétrons no núcleo, então, além do problema da conservação de energia no decaimento β , havia também o problema da conservação do momento angular de

spin. Sendo um férmion, o momento angular de spin do nêutron é (\uparrow ; $+\frac{1}{2}$) ou (\downarrow ; $-\frac{1}{2}$) e conforme a equação abaixo (Figura 17), seria impossível decompô-lo em próton e elétron, pois violaria o princípio de conservação do momento de spin.

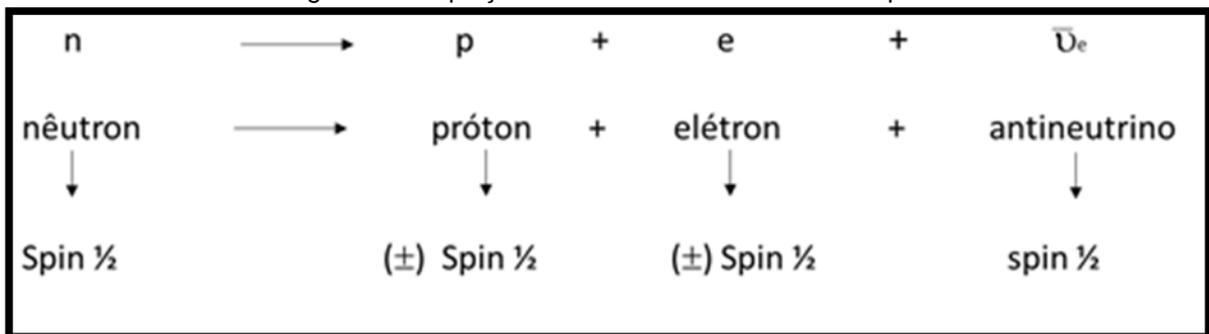
Figura 17 - Equação violando o princípio de conservação do momento de spin.



Fonte: Produzida pela autora

Para resolver o problema, Enrico Fermi sugere uma força capaz de converter um nêutron em um próton, junto com a emissão de um elétron e uma partícula, o neutrino, de carga elétrica e massa de repouso iguais a zero, resolvendo, então, a falha na conservação do momento de spin, conforme demonstrado na equação a seguir (Figura 18).

Figura 18 - Equação conservando o momento de spin.



Fonte: Produzida pela autora.

É importante, lembrarmos que, na verdade, a partícula que resulta desse processo é o antineutrino e não o neutrino como achavam.

O neutrino do elétron só foi detectado em 1956, no reator nuclear Savannah River, na Carolina do Sul, Estados Unidos, sendo que sua confirmação foi realizada por Clyde Cowan e Frederick Reines. (ABDALLA, 2016).

Apesar dos neutrinos não existirem de forma permanente na natureza, eles podem ser produzidos em raios cósmicos e em aceleradores de partículas. Sendo, os que são gerados nos raios cósmicos, abundantes e bilhões deles cruzam nosso corpo a cada segundo. (PIRES E CARVALHO, 2014)

b) Neutrino do Múon (ν_μ)

Utilizando o acelerador AGS – Alternating Gradient Synchrotron, os pesquisadores, Leon Lederman, Melvin Schwartz e Jack Steinberger, da Universidade de Columbia, Estados Unidos, descobrem, em 1962, a primeira evidência do neutrino do múon. (ABDALLA, 2016)

O neutrino do múon é uma partícula, assim como todos neutrino, estável.

c) Neutrino do Tau (ν_τ)

O neutrino do tau foi a penúltima partícula elementar a ser descoberta. Assim como o elétron e o múon tinham seus neutrinos, esperava-se que o tau também deveria vir acompanhado por seu neutrino.

A busca dessa partícula, iniciou-se, oficialmente, em 1997, por físicos que trabalhavam no acelerador Tevatron do Fermilab. O aparato utilizado para detectar o neutrino do tau foi chamado de DONUT – Direct Observation of de Nu Tau, que no ano 2000 exibiu evidências concretas da existência do neutrino do tau. (ABDALLA, 2016).

O Quadro (2), resume as características dos léptons.

Quadro 2 - Resumo das características dos léptons.

Família de Spin ½	Partícula	Carga Elétrica	Quem descobriu (ano)	Onde/como de	Massa (Mev/C²)
Elétron	e	-1	J. J. Thomson (1897)	Ampola Crookes	0,511
	ν_e	0	C. Cowan e F. Reines (1956)	Reator	<0,00001
Múon	μ	-1	S. Neddermeyer e C. Anderson (1937)	Raios cósmicos	105,648
	ν_μ	0	L. Lederman, M. Shwartz e J. Steinberger (1962)	BNL	<0,27
Tau	τ	-1	M. Perl (1975)	SLAC	1776,99
	ν_τ	0	DONUT (2000)	Fermilab	<31

Fonte: Abdalla (2016, p.145).

Assim finalizamos a família dos léptons, lembrando que para cada um dos léptons existe um antilépton com a mesma massa, porém com carga elétrica oposta.

2.4.2 QUARKS

Existem seis tipos de quarks, também chamados de sabores. Sendo eles: up (u), down (d), Charm (c), Strange (s), top (t) e bottom (b). Todos possuem spin ½ e carga elétrica fracionária.

Conforme Pires (2008, p. 432) "Os quarks d, s, e b possuem uma carga elétrica de -1/3 (em unidades de carga do próton) e os outros carga de 2/3. A existência destas cargas com valores fracionários foi um "resultado assustador" pois até então não havia nenhuma evidência experimental de cargas isoladas menores do que a carga do próton". Dessa forma fica evidente que a carga de uma partícula pode ser fracionária, porém ela não é observada, pois os quarks sempre se juntam em combinações com carga elétrica total inteira.

Por possuírem spin meio, os quarks, pelo princípio de exclusão de Pauli, não podem ocupar o mesmo estado quântico. Entretanto existem partículas formadas por mais de um quark idêntico no mesmo estado. Para resolver este dilema, o físico O. W. Greenberg sugeriu que cada sabor dos quarks podia existir em três estados diferentes que ele chamou de cor (vermelho, verde e azul), sendo que a cor não tem nada a ver com o sentido real do nome, ela representa um estado quântico, assim sendo, é possível existir partículas de quarks idênticos (sabor) desde que cada um tenha cor diferente. (PIRES, 2008).

Existem mais de duzentos hádrons e todos eles podem ser descritos pelo modelo de quarks, mostrando quão notável é esse modelo.

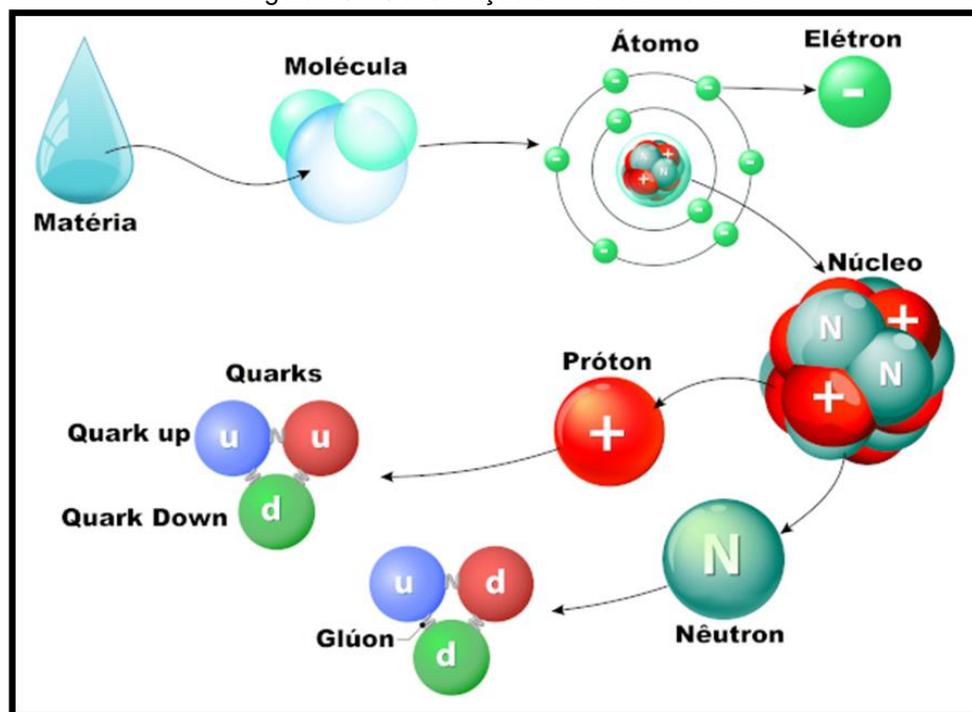
Vamos a partir desse ponto apresentar a descobertas dos quarks:

a) Up (u), Down (d) e Strang (s)

Os físicos Jerome Friedman, Henry Kendal e Richard Taylor do SLAC – Stanford Linear Accelerator Center, observaram a primeira evidência dos quarks dentro do próton. Antes disso, em 1964, o físico Murray Gell-Mann propôs que todos os hádrons seriam formados por três partículas fundamentais, sendo elas: up (u), down (d) e strang (s), as quais deu o nome de quarks. (ABDALLA, 2016).

Toda matéria comum é feita pelos quarks up e down (Figura 19), citando como exemplos, o próton (uud) e o nêutron (udd). Esses quarks também formam outras partículas observáveis apenas em laboratório.

Figura 19 - Constituição da matéria comum.



Fonte: <https://www.manualdaquimica.com/quimica-geral/atomo.htm>

Quanto a proposta do quark strang ou estranho (s), surgiu em 1965, dez anos após a divulgação de uma nova lei de conservação chamada estranheza, que surgiu para explicar estranhos comportamentos de algumas partículas. (ABDALLA, 2016).

O número quântico estranheza foi sugerido do Gell-Mann, que propôs sua conservação nas interações fortes, mas não nas interações fracas, o que vem a explicar o tempo tão pequeno (10^{-23} s) para a produção abundante de partículas estranhas, que é regida pela força forte, enquanto seu decaimento, regido pela força fraca, era bem mais lento (10^{-8} s). (ABDALLA, 2016).

As fontes de observação das partículas estranhas eram apenas os raios cósmicos, mas hoje elas também são produzidas em laboratório.

b) Charme (c)

Gell-Mann havia proposto que todos os hádrons seriam formados por apenas três partículas fundamentais, mas ainda em 1964, James Daniel Bjorken e Sheldon Lee Glashow propuseram a existência do quark charmoso. A ideia da introdução desse

quarto quark se deve a uma simples questão de simetria, pois para os autores deveriam existir quatro quarks, pois na época, existiam quatro léptons (elétron, múon e seus neutrinos). (ABDALLA, 2016).

Assim como o quark estranho, o quark charme é uma partícula instável que pode ser observada em raios cósmicos e em laboratórios.

Após dez anos de sua proposição, o quark charme (c) é descoberto simultaneamente por Burton Richter, do SLAC, que chamou a partícula de Psi, e C. C. Ting, do BNL, que nomeou a partícula de J. Por isso, o quark charmoso ficou conhecido como partícula J/Psi. (ABDALLA, 2016).

c) Bottom (b)

Em 1977, Leon Lederman, líder de um grupo do Fermilab, observa o quinto quark, bem mais pesado do que qualquer partícula já descoberta, que deu o nome de bottom (b). (ABDALLA, 2016).

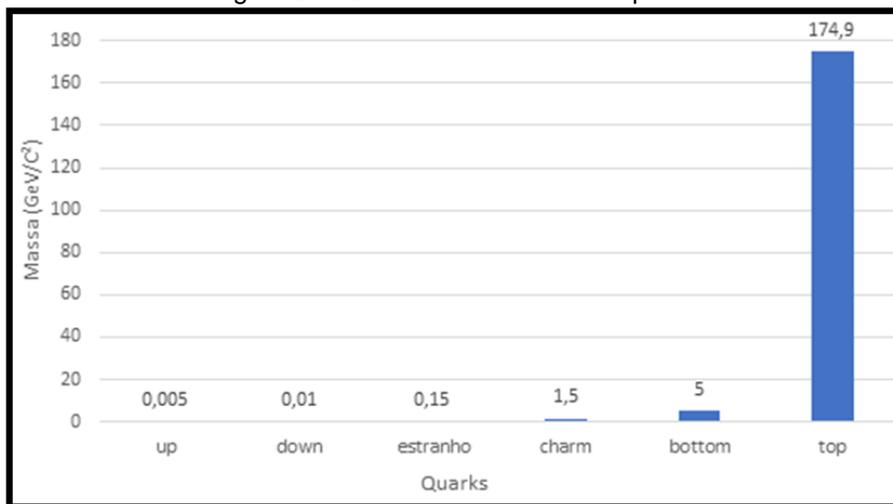
d) Top (t)

Com a descoberta do quark bottom, teóricos começaram a especular sobre a existência de um sexto quark para completar a simetria. Após várias tentativas para detectá-lo, em 1995, no acelerador Tevatron no Fermilab, o sexto e último quark, de nome top (t) foi finalmente observado, cuja massa é da ordem de um átomo inteiro de ouro. (ABDALLA, 2016).

O quark top só existiu em condições naturais na época do Big-bang e agora só pode ser recriado, por um breve instante, em aceleradores de altas energias.

Assim, finalizamos a família dos quarks, mostrando na Figura (20) a relação de massas dos quarks e no Quadro (3) um resumo de suas características.

Figura 20 - Escala de massas dos quarks.



Fonte: Produzido pela autora

Quadro 3 - Resumo das características dos quarks.

Família de Spin ½	Partícula	Carga Elétrica	Quem descobriu (ano)	Onde/como	Massa (Mev/C²)
Primeira Geração	up (u)	2/3	M. Gell-Mann e G. Zweig (1964)	Modelo de quarks	3
	Down (d)	-1/3	M. Gell-Mann e G. Zweig (1964)	Modelo de quarks	6
Segunda Geração	estranho (s)	-1/3	G. D. Rochester e C. C. Butler (1947)	Partículas V	100
	charme (c)	2/3	Richter e Ting (1974)	SLAC e BNL	1.300
Terceira Geração	bottom (b)	-1/3	L. Lederman (1977)	Fermilab	4.300
	top (t)	2/3	Colaboração CDF, DØ (1995)	Fermilab	175.000

Fonte: Abdalla (2016, p.140).

2.4.3 BÓSONS

Os bósons são partículas com spin inteiro, logo não obedecem ao princípio de exclusão de Pauli. Existem duas classes de bósons, os mésons, que não são fundamentais e os bósons mediadores das interações entre léptons e quarks, que são partículas elementares. Os bósons fundamentais são: o fóton, os bósons w e z, os glúons, e o bóson de Higgs.

Suspeita-se que as interações gravitacionais sejam intermediadas por um bóson, de massa zero e que interage fracamente com a matéria, chamado gráviton. Considerando a incerteza da existência dessa partícula, nós a excluiremos da nossa pesquisa.

a) Fóton (γ)

O fóton foi a segunda partícula elementar a ser descoberta, quando ao explicar o efeito fotoelétrico em 1905, Einstein propõe que a luz é formada por partículas denominadas fótons.

Conforme Abdalla (2016, p. 44) "Einstein explicou o efeito fotoelétrico propondo a luz formada por partículas elementares às quais hoje damos o nome de fótons". Entretanto, o reconhecimento do fóton como uma partícula elementar, só ocorreu após a descoberta e interpretação do efeito Compton em 1923.

O Fóton é uma partícula sem massa e sem carga elétrica, responsável por intermediar a força eletromagnética. Sendo mais veloz que qualquer outra partícula, sua velocidade é de aproximadamente $c = 299.792.458\text{m/s}$ (velocidade da luz). Essa velocidade independe do referencial adotado e da energia do fóton.

Os fótons existem desde o início do universo, e são bastante numerosos, sendo que para cada próton existe pelo menos um bilhão de fótons no universo. (MARQUES, 2010).

De acordo com Marques (2010, p. 64):

As cores têm uma íntima ligação com uma propriedade dos fótons: a sua energia. Assim, a luz ultravioleta é aquela composta por fótons de maior energia. Os fótons menos energéticos compõem a luz vermelha. A luz branca resulta de uma soma de fótons com as mais variadas energias, mas com energia entre os dois extremos citados acima. Estes extremos (violeta e vermelha) se referem à parte visível do espectro de frequências.

Frisamos que fótons com energia muita alta, dependendo da dose, provocam danos aos seres humanos, pois produzem a ionização da matéria, como é o caso do raio x.

b) Bósons de Gauge: Z^0 , W^+ , W^-

Em 1967, Steven Weinberg, lança uma teoria para explicar a força eletrofraca usando quatro bóson intermediadores. De acordo essa teoria, três bósons eram responsáveis por intermediar a força fraca, sendo eles, os Bósons Z^0 , W^+ , W^- , denominados bósons de gauge e o último bóson é o fóton, que intermedeia a força eletromagnética. (ABDALLA, 2016).

De acordo com Marques (2010, p. 204):

No ano de 1983, dois grupos independentes, trabalhando no CERN, anunciaram a descoberta dos bósons intermediários das interações fracas. Pela descoberta, Carlo Rubia e Simon Van der Meer receberam o prêmio Nobel de Física de 1984.

Os bósons de gauge, são partículas efêmeras, o que leva a instabilidade das partículas que com elas interagem, logo o atributo mais marcante das interações fracas é a instabilidade. Outra característica marcante, dessas partículas, é terem massas muito grandes.

c) Glúons

Como já vimos, os quarks estão sempre confinados, logo deve existir uma força atrativa muito grande entre eles. Essa força é mediada pelo glúon, referindo-se a

palavra em inglês glue, que significa cola, isto significa que os glúons colam os quarks e os mantém unidos.

Então os glúons são partículas mediadoras das interações fortes e foram propostas em 1973. Existem oito tipos de glúons, todos não possuem massa e carga, mas possuem o atributo cor que os diferenciam.

Lembramos que o número quântico cor foi proposto para resolver o problema do princípio de exclusão de Pauli nas partículas de spin $\frac{1}{2}$, como os quarks. Entretanto, segundo Abdalla (2016, p.127) existiu outra razão:

... a razão mais profunda da necessidade desse número quântico extra consiste no fato de a força forte que inter-relaciona os quarks ser mediada pela cor. Em outras palavras, a força entre os quarks tem sua origem na cor. A cor é uma espécie de carga que origina a força forte, da mesma forma que a carga elétrica é fonte da interação eletromagnética.

Também de acordo com Marques (2010, p. 206):

Por serem dotados do estranho atributo denominado cor, os glúons nunca são observados isoladamente. Ninguém jamais encontrará um glúon livre, existem apenas coletivamente, verdadeiras sacolas no interior das quais estão os quarks. Quando dizemos que dois ou três quarks ficam confinados, fica subentendido que confinamos também os glúons, uma vez que eles são trocados continuamente no interior da sacola.

Portanto, os glúons jamais serão identificados isoladamente, sendo sua observação feita apenas de forma indireta.

d) Bóson de Higgs

Algumas partículas foram propostas baseadas em noções de simetria, porém, sabemos que algumas dessas simetrias são apenas aproximações. Havia, então, a necessidade de construir teorias onde a simetria fosse quebrada, sem contradição, é claro, com as observações experimentais.

Em 1964, três artigos foram escritos, de forma independente, sobre uma teoria que descreve o mecanismo de quebra de simetria, entre eles o artigo de Peter Higgs. Entretanto, apenas Higgs menciona a existência de um novo bóson com massa, diferente do bóson sem massa, proposto em 1960, pelos físicos Yoichiro Nambu e Jeffrey Goldstone, para explicar a violação da simetria. O mecanismo descrito por Higgs ficou conhecido como mecanismo Higgs, e o bóson resultante desse mecanismo foi chamado bóson de Higgs. (ROSENFELD, 2013).

O bóson de Higgs é conhecido mundialmente, pelos leigos, como partícula de Deus, esse bóson é uma partícula elementar que, segundo a teoria Higgs, cedeu massa a matéria logo após o Big Bang, o que condicionou o surgimento de tudo que existe no Cosmos. Sendo assim, o bóson de Higgs representa a chave para explicar a origem da massa das outras partículas.

Contudo, não havia, na época, tecnologia necessária para investigar a existência desse bóson. Isso só foi possível a partir de 2008, quando entra em operação o LHC – Grande Colisor de Hádrons, localizado no CERN – Organização Europeia para Pesquisa Nuclear.

Em julho de 2012, cientistas do CERN descobrem uma nova partícula que poderia ser o bóson de Higgs, sua confirmação, entretanto, só ocorre em 14 de março de 2013, quase cinquenta anos após a sua predição por Higgs. No mesmo ano Peter Higgs e Francois Englert recebem o prêmio Nobel de Física pela proposta do mecanismo que dá massa as partículas elementares.

Após a descoberta do bóson de Higgs, os bósons mediadores podem ser resumidos conforme Quadro 4.

Quadro 4 - Resumo das características dos bósons mediadores.

Tipo de interação	Partícula	Spin	Carga	Massa (Gev/C ²)
Eletromagnética	Fóton (γ)	1	0	0
Forte	Glúon (g)	1	0	0
Fraca	Z ⁰	1	0	91,187 ± 0,002
	W ⁺	1	+1	80,423 ± 0,039
	W ⁻	1	-1	80,423 ± 0,039
Fraca	Bóson de Higgs (H)	0	0	125,7 ± 0,4

Fonte: Abdalla (2016, p.229).

Resumindo, existem 61 partículas elementares: trinta e seis quarks, sendo seis sabores, cada um existindo em três cores, mais seus antiquarks; seis léptons e seus antiléptons correspondentes; oito glúons, responsáveis pela força forte; o fóton, que intermedeia a força eletromagnética; os bósons Z⁰, W⁺, W⁻ que descrevem a força fraca; e o bóson de Higgs responsável pela massa das partículas elementares.

2.5 ACELERADORES E DETECTORES

Nesta seção abordaremos os equipamentos e dispositivos que nos permitiram desvendar o mundo das partículas subatômicas, que são os aceleradores e detectores de partículas.

Os aceleradores de partículas são máquinas que aceleram partículas eletricamente carregadas, fazendo com que elas atinjam altas velocidades, lançando-as, em seguida, sobre um alvo ou fazendo-as colidirem com partículas que se movimentam em sentidos opostos.

Segundo Marques (2010, p.72):

O precursor dos aceleradores foi o tubo de raios catódicos. O tubo é um acelerador de elétrons bastante primitivo. Com esse acelerador primitivo J.J. Thomson foi capaz de determinar a relação entre a carga e a massa do elétron.

Na Figura 21, temos o primeiro acelerador de partículas, o tubo de raios catódicos.

Figura 21 - Tubo de raios catódicos.



Fonte:

https://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:JJ_Thomson_Crookes_Tube_Replica.jpg#/media/Ficheiro:JJ_Thomson_Crookes_Tube_Replica.jpg

Antes de continuarmos, vamos relembrar dois conceitos fundamentais para conduzir uma partícula carregada em um acelerador.

O primeiro é que, segundo as leis do eletromagnetismo, uma partícula carregada ao ser submetida a um campo elétrico, tem o valor da sua velocidade alterado. Já o segundo, de acordo com as mesmas leis, diz que uma partícula carregada desvia sua trajetória ao passar por um campo magnético. Portanto, aceleradores de partículas são equipamentos que usam eletromagnetos para acelerar e curvar partículas carregadas.

Os aceleradores de partículas são máquinas utilizadas para estudar os constituintes da matéria, para isso eles convertem a alta energia de movimento das partículas em novos pedaços de matéria. Essa conversão feita pela fórmula $E = mc^2$, expressa a equivalência entre massa e energia. Para tal fim, os aceleradores promovem colisões entre partículas de matéria e quanto maior a energia de colisão, mais descobrimos sobre a estrutura da matéria. (GLEISER, 2014).

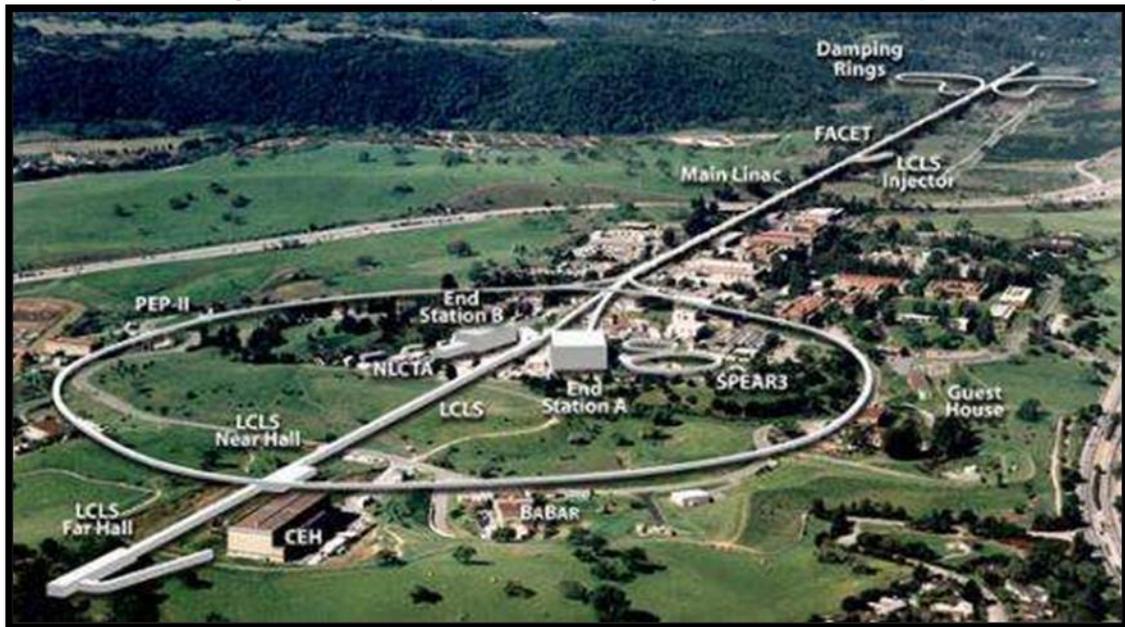
Existem várias maneiras de projetar um acelerador, cada um adaptado a objetivos específicos. Quanto à trajetória seguida pelas partículas, os aceleradores podem ser do tipo linear ou circular.

Nos aceleradores lineares as partículas seguem um caminho retilíneo, sendo submetidas a uma tensão elétrica e a ação de um campo elétrico. A grande vantagem desse tipo de gerador é que as partículas não perdem energia por radiação, porém para as partículas ganharem grandes energias, o acelerador deve possuir comprimento muito extenso, já que a partícula passa apenas uma vez por ele.

Dentre os aceleradores lineares existente, citamos o alojado no SLAC (Centro de Aceleração Linear de Stanford), um acelerador de partículas com 3,2 km de comprimento, que provoca a colisão de elétrons e pósitrons com energias de até 92 GeV. No SLAC foram descobertas as partículas: quark charme em 1974, o lépton tau em 1995, além da confirmação de quarks confinados nos prótons e nêutrons. (PERUZZO, 2012).

Na Figura (22) temos uma imagem aérea do SLAC.

Figura 22 - SLAC (Centro de Aceleração Linear de Stanford).



Fonte: <https://phys.org/news/2012-09-slac-taus-bottom-quarks-standard.html>

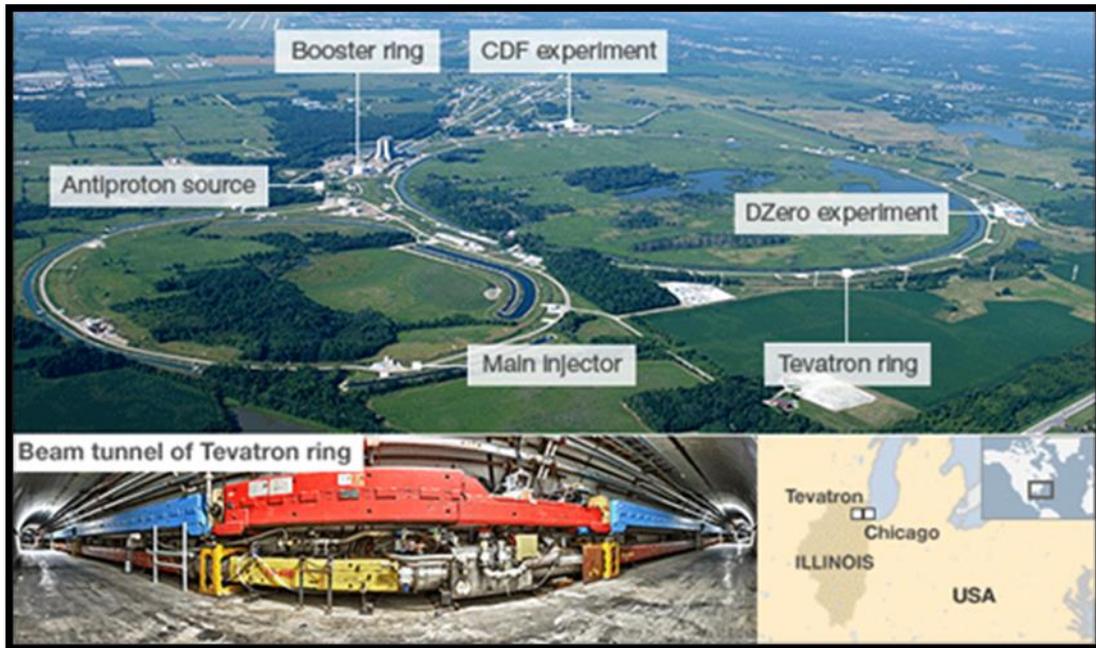
Nos aceleradores cíclicos as partículas são curvadas devido a ação de campos magnéticos, fazendo com que as partículas passem diversas vezes pelo sistema de aceleração, com isso, ganhando mais energia. Entretanto, na realização das trajetórias curvas, as partículas perdem energia por radiação. Os aceleradores circulares também são conhecidos como cíclotrons ou síncrotrons.

Nos cíclotrons as partículas a serem aceleradas são injetados pelo centro e descrevem uma trajetória espiralada, até saírem do acelerador, bombardeando um alvo. Já nos aceleradores síncrotrons, o trajeto das partículas ocorre em órbitas de raios fixos.

Um dos maiores aceleradores cíclicos é o acelerador Tevatron do Fermilab (Laboratório e Acelerador Nacional Fermi), localizado em Illinois. Tendo 6,3 km de circunferência, esse acelerador faz colidir prótons e antiprótons com energias de aproximadamente 2TeV. Seu custo total chega a 420 milhões de dólares, mas sua contribuição na física de partículas também é gigante, dentre as quais estão a descoberta do quark top em 1995 e a medida da sua massa em 2007. (PERUZZO, 2012).

Na Figura (23) temos uma imagem dos anéis do Tevatron.

Figura 23 - Tevatron.



Fonte: <https://physicsforme.com/tag/tevatron/>

Neste ponto, ressaltamos um dos mais relevantes aceleradores brasileiros, o LNLS (Laboratório Nacional de Luz Síncrotron) (Figura 24), inaugurado em 1997.

Figura 24 - Vista geral da fonte de luz síncrotron do LNLS em operação desde 1997.



Fonte: <https://cnpem.br/portfolio-item/geral-lnls/>

De acordo com Peruzzo (2012, p. 107):

Certamente um dos mais importantes aceleradores brasileiros é o LNLS (Laboratório Nacional de Luz Síncrotron), localizado em Campinas, SP. O mesmo é utilizado basicamente para pesquisas na área de física da matéria condensada e não na física de partículas. O LNLS é um anel no qual elétrons são acelerados. No movimento circular os elétrons são acelerados e acabam emitindo radiação, chamada luz síncrotron. Essa radiação é utilizada para investigar as propriedades de materiais a nível atômico e moléculas. O LNLS é o único laboratório deste tipo no Hemisfério Sul e foi inteiramente desenvolvido por cientistas, engenheiros e técnicos brasileiros.

Prevista teoricamente em 1944 por Dmitri Iwanenko e Isaak Pomeranchuk, a luz síncrotron é, portanto, um tipo de radiação eletromagnética produzida quando partículas carregadas próximas a velocidade da luz, têm sua trajetória desviada por campos magnéticos, revelando assim a estrutura molecular e atômica da matéria.

Graças a sua função de descobrir a estrutura de diferentes materiais compreendendo assim, suas propriedades fundamentais, a luz síncrotron pode ser utilizada em diversas áreas do conhecimento científico e tecnológico.

2.6 O LHC (THE LARGE HADRON COLLIDER)

Todos os dados dessa seção foram retirados do site do CERN, disponível em <<https://home.cern/>> acesso em 23 set. 2020.

Nessa seção abordaremos sobre o maior e mais poderoso acelerador da atualidade, o LHC (Large Hadron Collider ou Grande Acelerador de Hádrons). Também trataremos dos quatro detectores distribuídos ao longo do anel desse acelerador. Antes, porém, vamos falar do centro de pesquisa onde está localizado o LHC.

O CERN (Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire) em francês, ou em português, Conselho Europeu para Pesquisa Nuclear, fundado em 1954, na fronteira franco-suíça perto de Genebra, possui, atualmente, vinte e três Estados-Membros,

que contribuem para seus custos de capital e operacionais, sendo eles também representados no conselho, que é o órgão responsável por todas as decisões importantes.

O Brasil, apesar de não ser Estado-Membro, tem acordos de cooperação com o CERN.

O CERN tem como principal missão a pesquisa fundamental, fornecendo uma série de aceleradores de partículas aos pesquisadores, para avançar os limites do conhecimento humano, tendo também incumbência de unir pessoas de todo o mundo para expandir as fronteiras da ciência e da tecnologia para benefício de todos.

A cooperação entre nações, universidades e cientistas é o que move as pesquisas do CERN, que desde o seu início tem contribuído, com muitos avanços científicos e tecnológicos para a sociedade, incluindo a World Wide Web (www), inventada pelo cientista britânico Tim Berners-Lee em 1989, enquanto trabalhava no CERN, inicialmente a rede foi concebida para atender à demanda por compartilhamento de informações entre cientistas em todo o mundo. Em 30 de abril de 1993, o CERN colocou o software da World Wide Web em domínio público com a seguinte declaração:

“O CERN renuncia a todos os direitos de propriedade intelectual deste código, tanto a fonte quanto o binário, e a permissão é dada a qualquer pessoa para usá-lo, duplicá-lo, modificá-lo e destruí-lo.”

Na Figura 25 temos uma vista aérea do CERN.

Figura 25 - Vista aérea do CERN.



Fonte: <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=22544329>

Como já relatado, os aceleradores de partículas são os principais equipamentos utilizados pela ciência para investigação da estrutura da matéria e suas interações fundamentais. Em setembro de 2008 foi inaugurado o maior e mais poderoso acelerador de partículas já construído, o LHC (Grande Colisor de Hádrons) (Figura 26), criado com o objetivo de penetrar mais profundamente na estrutura da matéria e obter respostas sobre o Modelo Padrão, o mecanismo gerador de massa, o bóson de Higgs, violação de simetria e outros.

O Grande Colisor de Hádrons, é grande por causa do seu tamanho - um anel de aproximadamente 27 km de circunferência, colisor – porque feixes de partículas viajam em direções opostas e são levadas a colidir, hádrons – porque acelera partículas chamadas hádrons, como por exemplo o próton.

Figura 26 - Túnel do LHC.



Fonte: <https://home.cern/resources/image/accelerators/lhc-images-gallery>

No LHC tudo é grandioso, desde o nome até a quantidade de dados por ano armazenados dos experimentos, que são suficientes para preencher cerca de 1,2 milhão de discos Blu-ray, ou seja, 250 anos de vídeo HD. No Quadro (5) apresentamos alguns números do LHC.

Quadro 5 - Dados do LHC.

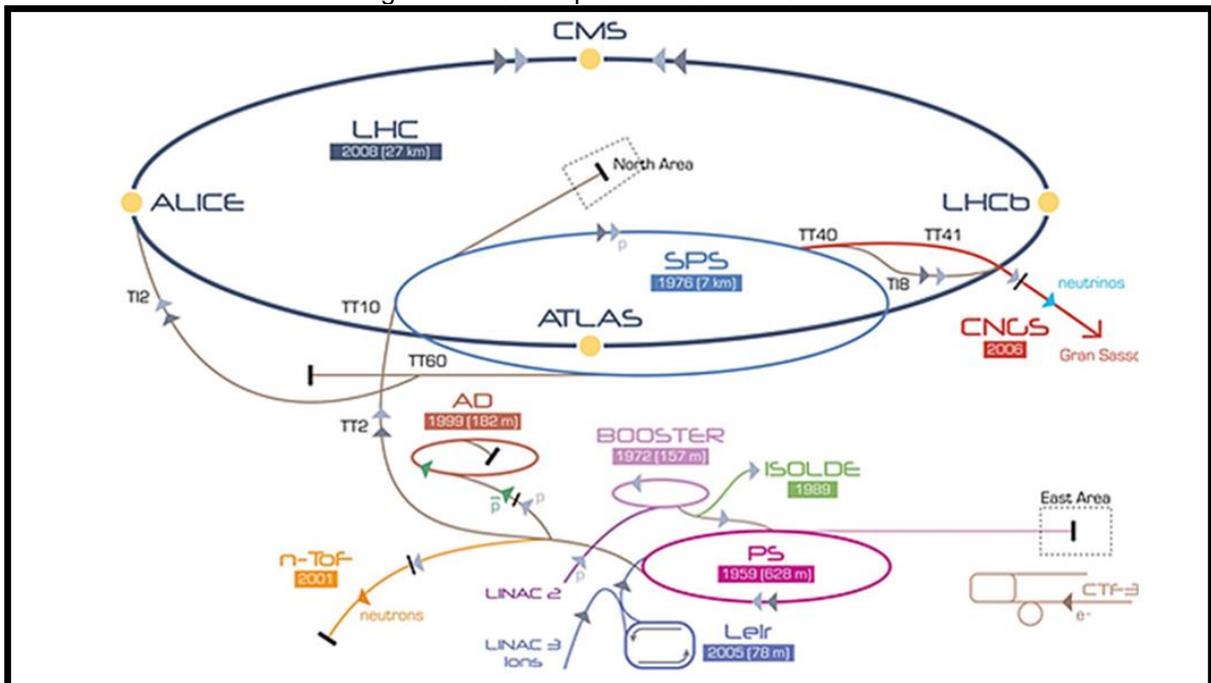
QUANTIDADE	NÚMERO
Circunferência	26.659 m
Temperatura de operação do dipolo	1,9 K (-271,3°C)
Número de ímãs	9593
Número de dipolos principais	1232
Número de quadropolos principais	391
Número de cavidades RF	8 por feixe
Energia nominal, prótons	6,5 Tev
Energia nominal, íons	2,56 Tev/u (energia por núcleo)
Energia nominal, colisões de prótons	13 Tev
Nº de pacotes por feixes de prótons	2808
Nº de prótons por grupo (no início)	1,2 x 10 ¹¹
Número de voltas por segundo	11.245
Número de colisões por segundo	1 bilhão

Fonte: <https://home.cern/resources/faqs>

O LHC fica aproximadamente a 100m de profundidade e está localizado na fronteira entre França e Suíça. Ele consiste em um anel de aproximadamente 27 km, sendo abastecido por feixes de prótons por uma cadeia de quatro aceleradores que impulsionam as partículas ao longo do caminho para aumentar a energia. Esses feixes de prótons são acelerados até energias de 6,5 TeV, logo, ao colidirem com os prótons que se movimentam em sentidos opostos, a energia total de colisão chega a 13 TeV, energia nunca alcançada, até então, por um acelerador.

Na Figura (27) temos o complexo de aceleradores CERN, que é uma sucessão de máquinas com energias cada vez mais altas. Cada máquina acelera um feixe de partículas até uma determinada energia antes de injetar o feixe na próxima máquina da cadeia. A próxima máquina leva o feixe a uma energia ainda mais alta e assim por diante. O LHC é o último elemento dessa cadeia, em que os feixes atingem suas energias máximas.

Figura 27 - O complexo acelerador CERN.



Fonte: <http://cds.cern.ch/images/OPEN-PHO-ACCEL-2013-056-1>

Dentro do acelerador, os feixes de partículas de alta energia viajam perto da velocidade da luz em direções opostas em tubos separados, os tubos são mantidos em vácuo ultra-alto, tornando o espaço onde viajam as partículas tão vazios como o

espaço interplanetário. Esse vácuo ultra-alto é necessário para evitar colisões das partículas com as moléculas de gás presente no acelerador. Os feixes de prótons são curvados por um forte campo magnético gerados por 1232 eletroímãs supercondutores, o que requer o resfriamento dos ímãs a $-271,3^{\circ}\text{C}$, temperatura que é mantida por um sistema de distribuição de hélio líquido, sendo que cada eletroímã tem 15 m de comprimento e 35 t de massa.

Passaremos, agora, a descrever as etapas da aceleração.

Antes de serem aceleradas no LHC, as partículas passam por quatro aceleradores auxiliares, que elevam sucessivamente sua energia. Tudo começa com um simples tubo que contém gás hidrogênio (H_2). Na câmara de ionização, é aplicado uma diferença de potencial de 100.000 V nesse gás, separando-se, assim, o próton do elétron. Os Prótons são ejetados por uma das extremidades do tubo e são inicialmente acelerados num acelerador linear, o Linac 2 do CERN, atingindo uma energia de 50 MeV e um terço da velocidade da luz.

Em seguida, os feixes de prótons são enviados para o PSB (Próton Synchrotron Booster), iniciando então, o segundo estágio de aceleração. Para maximizar a intensidade do feixe de prótons, o grupo é dividido em quatro, um para cada anel do Booster. Nesse ponto a aceleração linear é impraticável, por isso esse acelerador é circular com 157 m de diâmetro. Como o feixe de prótons circulam repetidamente nos anéis do Booster, para acelerá-los o campo elétrico passa a ser pulsante e eletroímãs poderosos são usados para dobrar os feixes em volta dos círculos. Nesse estágio os prótons atingem uma velocidade de 91,6% da velocidade da luz e sua energia chega a 1,4 GeV, sendo também comprimidos para que fiquem mais próximos um dos outros. Os grupos de prótons dos quatro anéis passam para mais um estágio de aceleração.

O terceiro estágio de aceleração ocorre em outro acelerador circular de 628 m de diâmetro, o PS (Próton Synchrotron), onde o grupo de prótons alcançam 99,9% da velocidade da luz. É aqui que chegamos ao ponto de transição, onde a energia adicionada aos prótons pelo campo elétrico pulsante não pode se converter em um aumento de velocidade, uma vez que eles já alcançaram praticamente a velocidade

da luz, ao invés disso a energia adicionada se manifesta na forma de um aumento na massa dos prótons. A energia de cada próton nesse estágio chega a 25 GeV, o que significa dizer que os prótons estão vinte e cinco vezes mais pesados do que quando estavam em repouso.

Os grupos de prótons, agora, são enviados ao quarto estágio de aceleração, mais um acelerador circular, o SPS (Super Próton Synchrotron), um imenso anel com 7 km de circunferência, projetado especificamente para aceitar os prótons já energizados e levá-los até 450 GeV de energia e prontos para serem lançados na órbita do LHC.

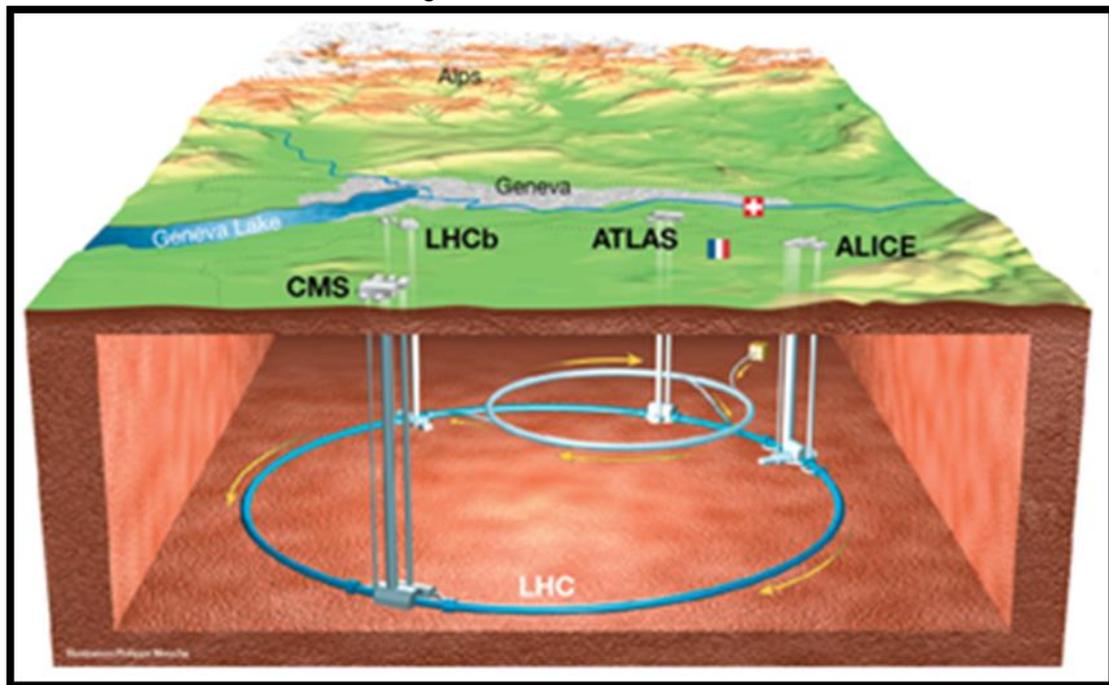
No fundo da terra, aproximadamente a 100m de profundidade existem dois tubos a vácuo no LHC onde são injetados os feixes de prótons que viajam em sentidos opostos. Usando lançadores super sofisticados, para sincronizar os grupos de prótons que chegam com os que já estão circulando, um tubo à vácuo injeta prótons que vão circular no sentido horário e outro injeta prótons que circularão no sentido oposto.

Durante meia hora o SPS injeta prótons no LHC, e durante este tempo o LHC adiciona mais energia a cada próton, cuja velocidade está tão próxima à da luz, que eles dão a volta no anel de aproximadamente 27 km mais de onze mil vezes por segundo, recebendo um acréscimo de energia do campo elétrico a cada revolução. Finalmente cada próton adquire uma energia de 6,5 TeV e são seis mil e quinhentas vezes mais pesados do que eram em repouso.

Agora os prótons estão prontos para colidir. Um ímã muda-os de direção para um curso de colisão, sendo que os feixes contrários se cruzam em quatro pontos do LHC, local no qual estão localizados os detectores. A energia dos prótons colidindo é de 13 TeV e reproduz um estado similar a momentos após ao Big Bang. No LHC um bilhão de colisões de prótons ocorrem por segundo, e como resultado dessas colisões diversas partículas massivas são produzidas, como o bóson de Higgs. Entretanto, essas partículas massivas duram bem menos que um piscar de olhos, pois elas decaem quase que imediatamente em partículas mais leves.

Como já dito, as partículas são levadas a colidir em quatro locais específicos onde estão localizados os detectores (Figura 28): ATLAS, CMS, ALICE E LHCb, usados para analisar a grande quantidade de partículas produzidas nas colisões, os quais passaremos a descrever.

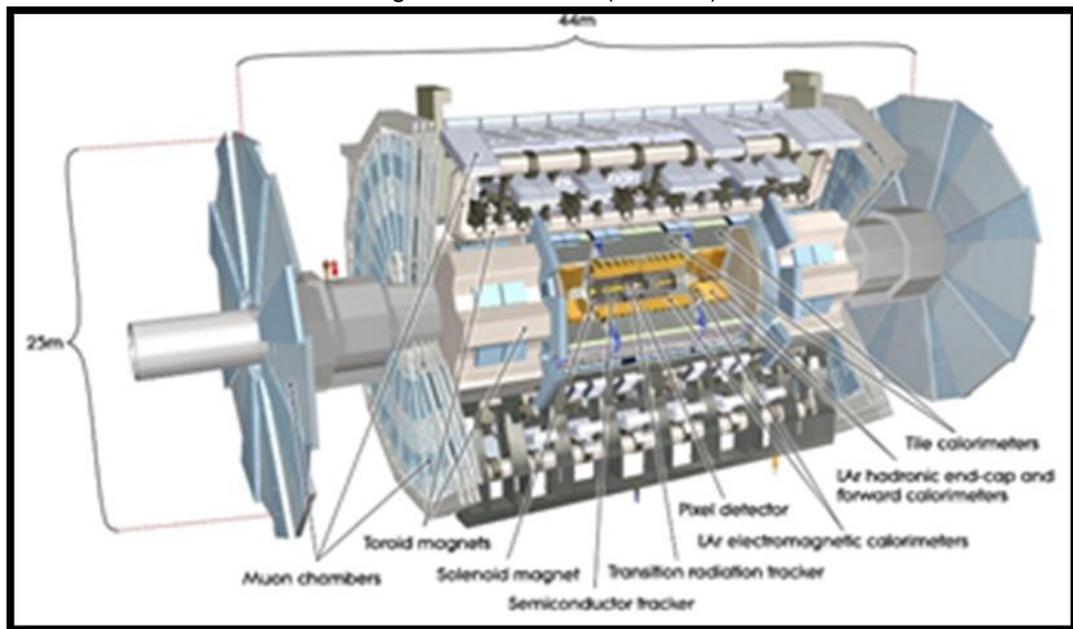
Figura 28 - Detectores LHC.



Fonte: <https://lhcb-public.web.cern.ch/en/Detector/Detector-en.html>

O ATLAS (A Toroidal LHC ApparatuS) (Figura 29) é o maior detector de partículas do LHC, como seu imenso tamanho de 46m de comprimento, 25m de altura, 25m de largura e 7 mil toneladas, é uma cooperação internacional que reúne mais de 3.000 cientistas de 174 institutos em 38 países. O ATLAS é um detector de uso geral projetado para explorar a física do LHC, desde testar as previsões do Modelo Padrão e a busca pelo bóson de Higgs, até descobertas inovadoras, como a busca por sinais de supersimetria e de dimensões extras.

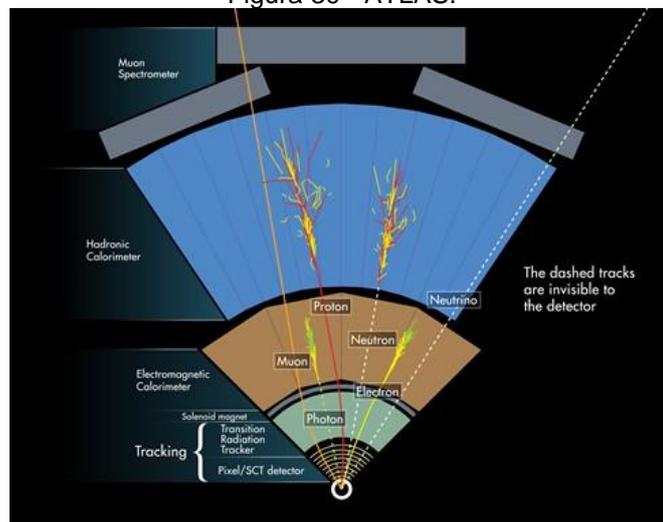
Figura 29 – ATLAS (detector).



Fonte: <https://atlas.cern/discover/detector>

O ATLAS (Figura 30) foi construído em várias camadas para detectar as partículas mais minúsculas e energéticas já produzidas em laboratório. As partículas que colidem no centro desse detector, criam detritos em forma de novas partículas, que se espalham em todas as direções pelas camadas do detector, que registram os caminhos, o momento e a energia das partículas, permitindo, assim, que elas sejam identificadas.

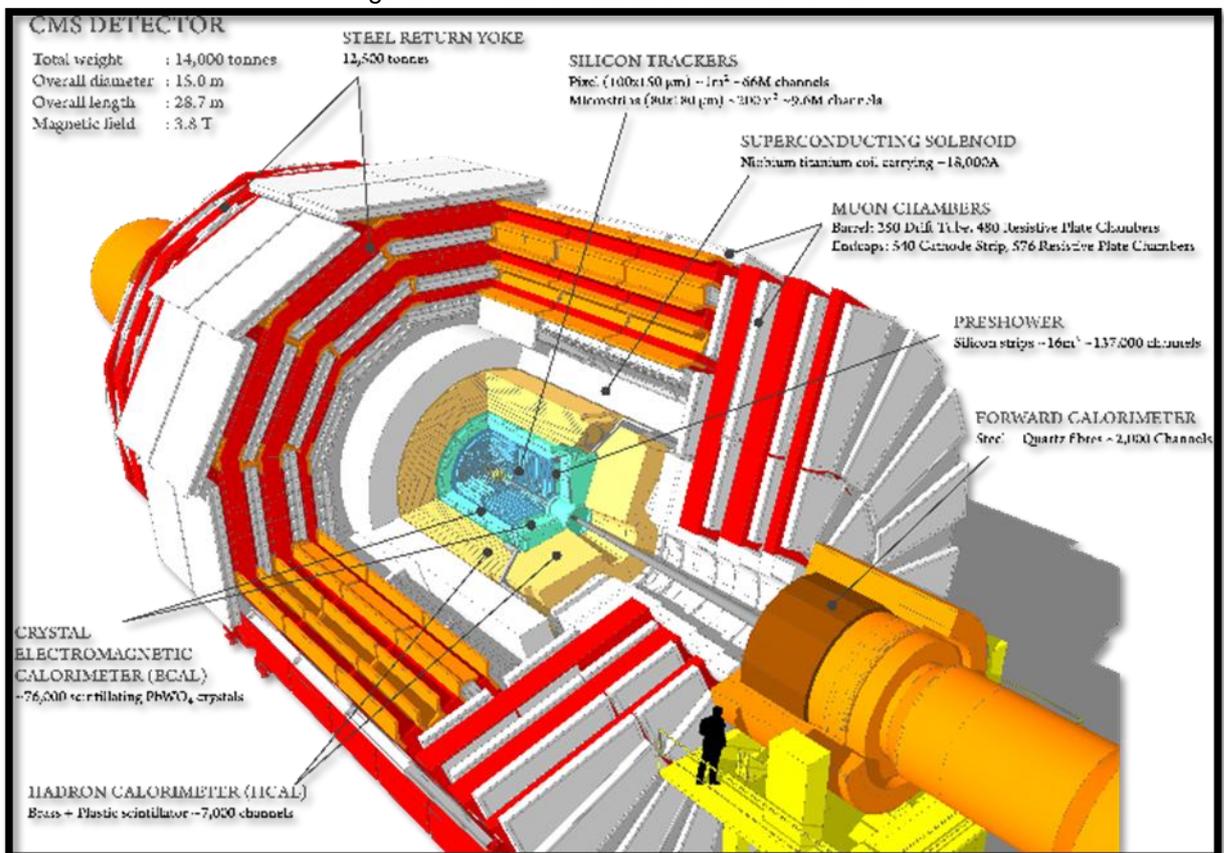
Figura 30 - ATLAS.



Fonte: <https://cds.cern.ch/record/1505342?ln=en>

O CMS (Compact Muon Solenóide), construído em volta de um enorme solenóide supercondutor, também é um detector de uso geral, projetado para detectar partículas múons com muita precisão, além de possuir os mesmos objetivos do ATLAS, porém, ele usa diferentes soluções técnicas e um sistema magnético diferente. O detector CMS (Figura 31) tem 21m de comprimento, 15 m de largura, 15 m de altura e 14.000 toneladas, sendo que a maior parte desse peso se deve ao mais poderoso ímã solenóide já construído, que gera um campo magnético de 4T, cerca de cem mil vezes o campo magnético da Terra, que é confinado por uma blindagem magnética de aço.

Figura 31 - Vista em corte do detector CMS.



Fonte: <https://cms.cern/news/cms-detector-design>

Em setembro de 2019 o projeto CMS agrupava cinco mil físicos de partículas, engenheiros, técnicos, estudantes e equipe de apoio de duzentos institutos em cinquenta países, sendo uma das maiores colaborações científicas internacionais da história.

O principal atributo do CMS é seu sistema de ímãs, que curva os caminhos das partículas carregadas, permitindo medir suas cargas elétricas e seus momentos, haja visto que, partículas com carga positiva e negativa se curvam em direções opostas no mesmo campo magnético e as partículas de alto momento se dobram menos em comparação com as de baixo momento em um campo magnético idêntico.

As energias das partículas são coletadas por dois calorímetros, o primeiro, localizado na camada interna, é o calorímetro eletromagnético (ECAL), que mede a energia dos elétrons e fótons, interrompendo-os completamente. Já os hádrons, voam através do ECAL, e depositam a maior parte de sua energia na camada seguinte, onde são interrompidos pelo calorímetro de hádrons (HCAL).

A última partícula que o CMS detecta é o múon, e por ele não ser interrompido pelos calorímetros, subdetectores especiais, chamados câmara de múons, foram construídos para detectá-los.

Assim, as partículas que viajam através do CMS deixam seus rastros nas suas camadas permitindo que sejam identificadas.

Na Figura (32) foto de François Englert (à esquerda) e Peter Higgs no CERN em 4 de julho de 2012, por ocasião do anúncio da descoberta de um bóson de Higgs pelos experimentos ATLAS e CMS.

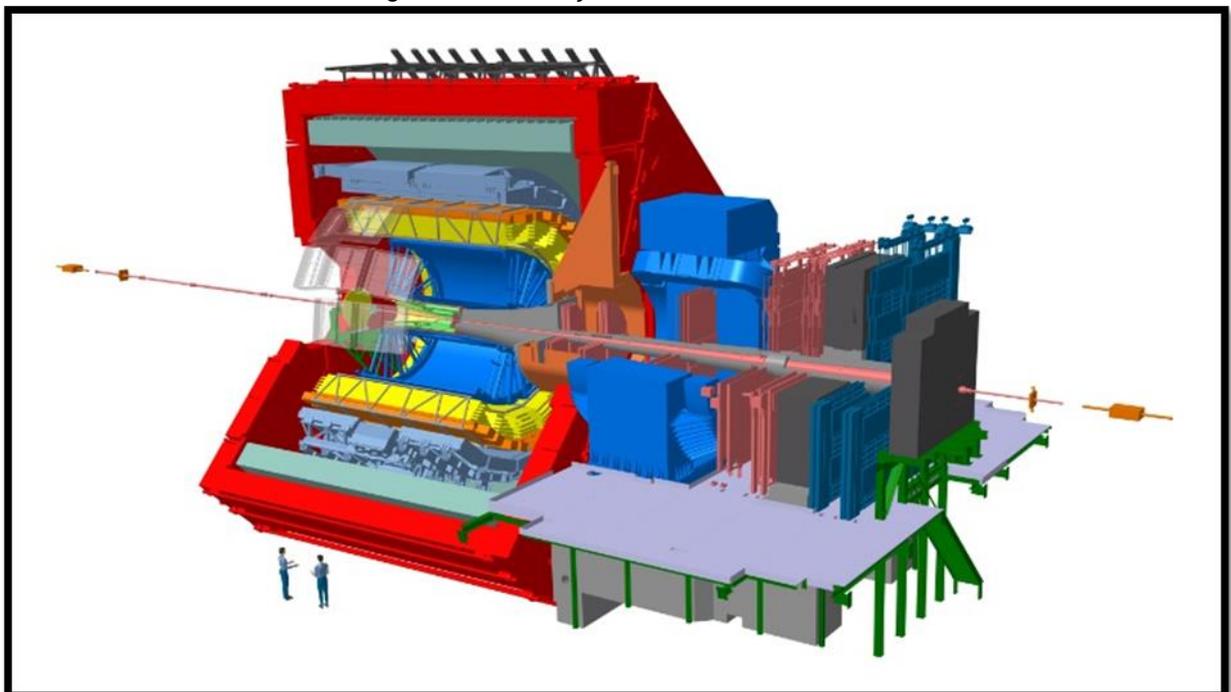
Figura 32 - François Englert e Peter Higgs.



Fonte: <https://home.cern/news/news/physics/cern-congratulates-englert-and-higgs-nobel-physics>

O ALICE (A Large Ion Collision Experiment) (Figura 33) é um detector de 10.000 toneladas, 26 m de comprimento, 16 m de altura e 16 m de largura, ele é utilizado para análise de colisões de íons pesados no LHC. Projetado para estudar as propriedades do chamado plasma quark-glúon, estado da matéria que existiu logo após o Big Bang, antes dos prótons e nêutrons se formarem. Sabemos que os prótons e nêutrons são hádrons feitos de quarks e unidos por glúons, sendo que estes nunca foram observados isoladamente, ou seja, estão confinados dentro dos hádrons, porém sob condições de temperaturas e densidades muito altas, deixam de ficar confinados.

Figura 33 - Ilustração do detector ALICE.



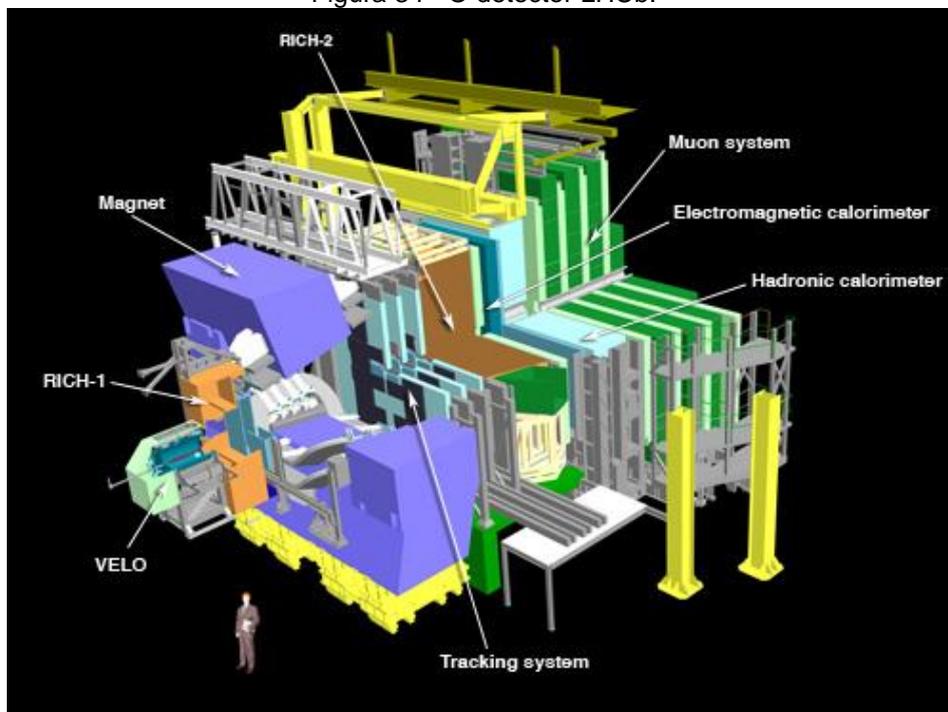
Fonte: <http://cds.cern.ch/record/2263642>

Durante parte de cada ano, o LHC fornece colisões entre íons de chumbo, gerando nessas colisões temperaturas mais de cem mil vezes mais altas do que o centro do sol, criando, assim, condições semelhantes àquelas logo após o Big Bang. O experimento ALICE estuda, então, o plasma quark-glúon conforme ele se expande e esfria, examinando como ele progressivamente dá origem as partículas que constituem a matéria do nosso universo hoje.

A colaboração ALICE conta com mais de mil cientistas de mais de cem institutos de física em trinta países.

O LHCb (Large Hadron Collider beauty experiment) (Figura 34), foi criado para estudar as diferenças mais sutis entre matéria e antimatéria, que ocorre nas interações do quark beauty, também chamado de quark bottom. Sendo que esse estudo pode responder à questão: o que aconteceu após o Big Bang que permitiu que a matéria sobrevivesse e construísse o Universo que habitamos hoje?

Figura 34 - O detector LHCb.



Fonte: <https://lhcb-public.web.cern.ch/en/Detector/Detector-en.html>

Cada um dos sub-detectores do LHCb é especializada em medir uma característica diferente das partículas produzidas na colisão, reunindo informações sobre trajetória, momento e energia das partículas geradas.

A colaboração LHCb conta com mais de 650 membros provenientes de 47 instituições de 14 países, e seu detector, apesar de sensível, tem 21m de comprimento, 10 m de largura, 10 m de altura e 5.600 toneladas.

Além dos quatro detectores citados o LHC possui outros detectores menores, TOTEM, LHCf E MoEDAL.

Desde o átomo de Demócrito até o Modelo Padrão a ciência fez um grande progresso, avanços teóricos, técnicas matemáticas e equipamento de medidas cada vez mais sofisticados a fim de responder à pergunta: do que são feitas todas as coisas? Embora o Modelo Padrão seja atualmente a melhor descrição que existe do mundo subatômico, e descreva com precisão os fenômenos dentro de seu domínio, ele ainda está incompleto, pois existem alguns limites para essa teoria, dentre os quais, podemos citar a teoria da gravitação de Einstein.

Talvez , assim como no final do século XIX, onde acreditava-se que a Física Clássica era capaz de explicar todos os fenômenos físicos, e o que restavam eram poucos problemas a resolver, cuja resolução culminou na Física Quântica, o Modelo Padrão seja apenas uma parte de um quadro maior que inclui a nova Física que transformará radicalmente o nosso modo de pensar e finalmente responda à pergunta: do que são feitas todas as coisas?

3. A SEQUÊNCIA DIDÁTICA

Inicialmente apliquei um teste inicial (APÊNDICE A) contendo dez questões sobre a estrutura da matéria, com objetivo de identificar os conhecimentos prévios dos alunos sobre o tema.

Em seguida, os dados obtidos foram analisados e resultou na escrita dessa sequência didática baseada em uma UEPS, visando a busca de indícios de aprendizagem significativa sobre a estrutura da matéria.

3.1 AULA 1

Objetivos:

- Reconhecer as causas de incerteza na ciência;
- Utilizar o conceito de modelo para explicar fenômenos físicos;
- Formular e testar hipóteses;
- Construir modelos;
- Ilustrar formas não-visuais de se obter informação.

Iniciei a aula perguntando aos alunos se os modelos seguidos pela ciência são cem por cento verdadeiros e imutáveis.

Dei prosseguimento a aula através de uma aula expositiva explicando o que é um modelo científico, exemplificando através do modelo geocêntrico e heliocêntrico. (Slides das aulas – APÊNDICE B).

Logo em seguida dividi a turma em grupos e entreguei para cada grupo uma “caixa misteriosa” (Figura 35), que nada mais é que uma caixa vedada contendo vários objetos (clips, bola de isopor, bola de gude, dinheiro, lápis e outros) e os alunos têm a missão de elaborar hipóteses para o que tem no interior da caixa, respondendo as questões: quantos objetos tem dentro da caixa e quais são os objetos? No final da atividade socializamos as respostas dos grupos.

Figura 35 - Caixa Misteriosa.



Fonte: Produzida pela autora

Finalizei a aula dizendo que da mesma forma que eles elaboraram um modelo para os itens da caixa, os cientistas também constroem modelos para explicar os fenômenos da natureza, porém com a desvantagem de nunca poder “abrir a caixa” e nunca descobrir a realidade, e sim formular hipóteses através da observação e experimentação.

A caixa não deve ser aberta para os alunos verificarem se seus “modelos” estão corretos, para gerar curiosidade para as próximas aulas.

3.2 AULA 2

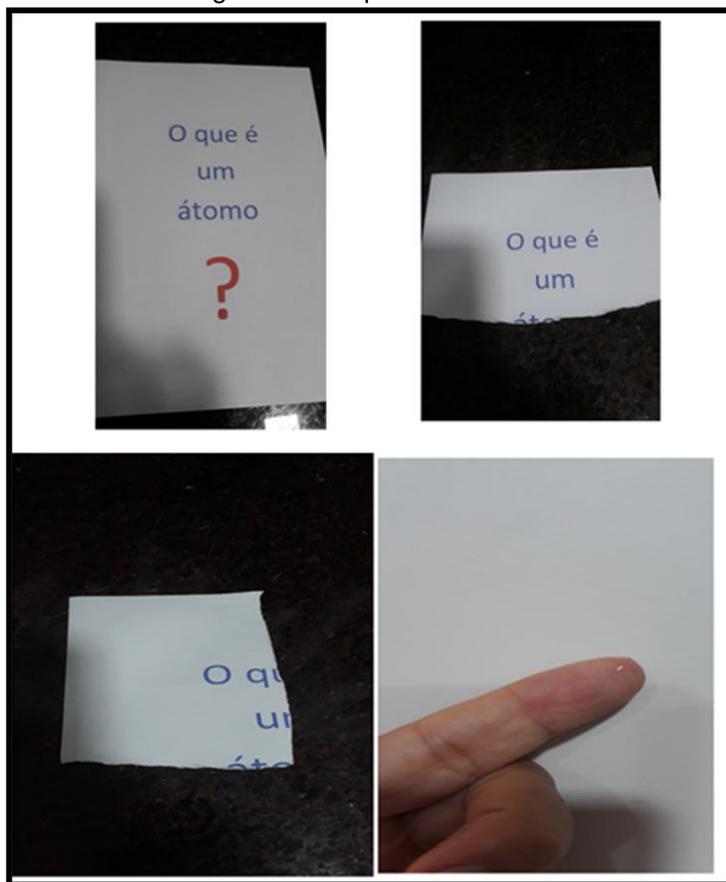
Objetivo:

- Entender o átomo de Demócrito

Iniciei a aula com os alunos organizados em grupos (lembrando que são sempre os mesmos componentes). Com os grupos sentados em círculos, entreguei para cada grupo uma folha escrita: o que é um átomo? (Figura 36). Em seguida expliquei o procedimento a ser adotado: O primeiro aluno divide a folha mais ou menos ao meio e passa uma metade para o segundo aluno e a outra joga fora, os próximos alunos farão o mesmo processo, ou seja, dividirão o pedaço recebido ao meio passando uma metade para o próximo aluno e a outra metade jogando fora.

O processo é repetido até os alunos não conseguirem mais dividir o papel. Para essa atividade sugiro que ofereça um prêmio simples (um pirulito) para cada aluno dos grupos que forem o último a dividir o papel. Terminei a atividade perguntando se daria para dividir o papel indefinidamente, o objetivo é que os alunos façam associação com o átomo, até então, indivisível.

Figura 36 - O que é um átomo?



Fonte: Produzida pela autora

Dei continuidade a aula perguntando: o átomo é formado por quais partículas? E os alunos responderam: prótons, nêutrons e elétrons, perguntei, então, como o átomo sendo o menor constituinte da matéria, pode ser formado por outras partículas? O objetivo dessa pergunta é criar um conflito cognitivo, que é uma forma de gerar aprendizado.

Em seguida apresentei, através de aula expositiva, o átomo de Demócrito (Slides das aulas – APÊNDICE B) e no final da aula entreguei aos alunos o texto: A evolução dos modelos atômicos (APÊNDICE C) para a leitura e avisei que na próxima aula farão um teste sobre o assunto (TBL).

3.3 AULA 3

Objetivo:

- Entender a evolução dos modelos atômicos.

Iniciei a aula com aplicação de um teste com questões conceituais sobre a evolução dos modelos atômicos (APÊNDICE D). Essa atividade foi baseada no método TBL – Aprendizagem Baseada em Equipes, no qual os alunos respondem o teste individualmente (TPi) e depois em equipe (TPe).

Ainda nessa aula, relembrei o átomo de Demócrito, e em seguida apresentei, através de aula expositiva (Slides das aulas – APÊNDICE B), os modelos atômicos de Dalton, Thomson e Rutherford, apresentando as limitações de cada modelo e porque um foi sendo substituído pelo outro, mostrando assim a necessidade de pesquisas para a evolução da ciência.

Finalizei a aula pedindo a cada grupo para fazerem maquetes dos modelos atômicos estudados para apresentarem na próxima aula.

3.4 AULA 4

Objetivo:

- Compreensão e visualização das dimensões atômicas por meio de comparação com as medidas cotidianas.

Iniciei a aula com a atividade intitulada “Uma partida de atomobol” (APÊNDICE E).

Nessa atividade os alunos devem “desenhar” um joguinho de futebol de botão, onde o núcleo do átomo corresponda a uma bolinha de gude (0,01m de raio), e o campo de “atomobol” corresponda ao tamanho do átomo inteiro. Furneci para cada grupo os procedimentos, que contém as dimensões do átomo e no final perguntei: É possível desenhar em escala numa folha de papel tal campo de “atomobol”?

Frisei com os alunos que o átomo é um imenso vazio e expliquei o porquê da maioria das partículas α atravessam a lâmina de ouro na experiência de Rutherford.

Dei continuidade a aula sorteando um grupo para apresentar as maquetes sobre os modelos atômicos, fazendo uma breve explicação sobre cada modelo (Figura 37). Ressalto que todos os grupos fizeram as maquetes, mas apenas um foi sorteado para apresentar, porém todos participaram acrescentando algo na apresentação.

Na mesma aula realizei uma experiência bem simples (APÊNDICE F), intitulada “brincando com cargas elétricas”, na qual os alunos têm a oportunidade de verificar a existência da carga elétrica, propriedade esta que permitiu Thomson desenvolver seu modelo atômico.

Para essa atividade cada grupo recebeu uma flanela, uma bola de soprar, uma régua e pedacinhos de papel picado e uma folha com os procedimentos. E por mais simples que pareça essa atividade, ela é importante para verificar a carga elétrica das partículas.

Figura 37 - Maquetes dos modelos atômicos.



Fonte: Produzida pela autora

3.5 AULA 5

Objetivo:

- Aprofundar o conhecimento sobre os modelos atômicos, e aprofundar o conhecimento sobre a estrutura da matéria.

Iniciei a aula com a construção de um mapa conceitual sobre o átomo.

Em seguida fiz uma explanação sobre a crise da Física Clássica e o modelo atômico de Bohr (Slides das aulas – APÊNDICE B) e no final entreguei para cada aluno o texto: Vendo através da pele – a descoberta do raio x (APÊNDICE G), para leitura em casa.

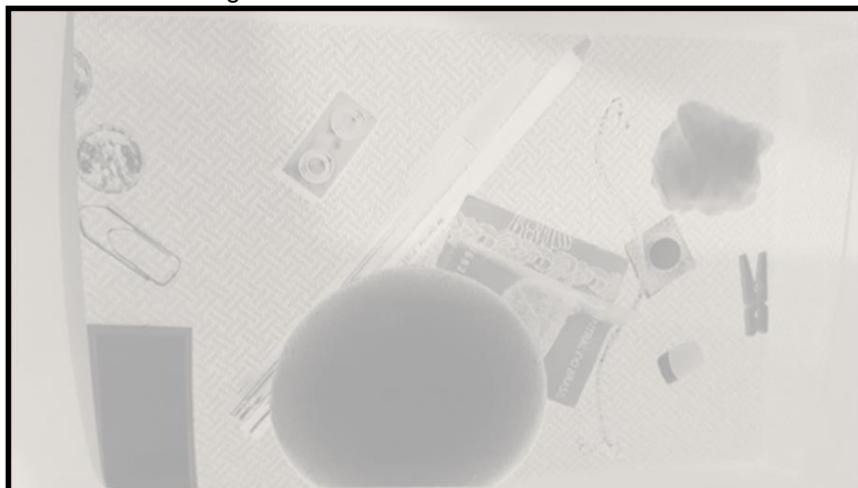
3.6 AULA 6

Objetivo:

- Retornar os aspectos mais gerais, estruturantes do conteúdo da unidade de ensino, em nova apresentação

Iniciei a aula falando brevemente sobre o raio x e logo em seguida os grupos de alunos se reuniram e entreguei para cada grupo uma foto, representando um “raio x” da caixa misteriosa (Figura 38) e os grupos tiveram que novamente responder as questões: Quantos objetos tem dentro da caixa e quais são esses objetos?

Figura 38 - "Raio x da caixa misteriosa".



Fonte: Produzida pela autora

Vale ressaltar que a foto foi tirada de um celular e foi impressa preto e branco e com filtro para ficar o mais transparente possível.

Após a análise da foto pelos grupos, socializei as respostas (dica: coloque algum objeto que mesmo com a foto os alunos não descubram o que é).

Dei continuidade a aula mostrando parte do filme “Anjos e Demônios” disponível em <<https://www.youtube.com/watch?v=1TOnz71uDak>> acessado no dia 15/ago/2019 e discutir o que é ciência e o que é ficção. Finalizei a aula falando sobre o CERN (Slides das aulas – APÊNDICE B) .

3.7 AULA 7

Objetivos:

- Apresentar o CERN e seus detectores
- Mostrar que a Ciência é uma construção humana.

Explanei sobre o LHC e seus detectores (Slides das aulas – APÊNDICE B), e mostrei uma simulação das partículas colidindo no LHC – disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=Ko_eDMhe5z8> acessado no dia 15/08/2019, narrando o que acontece dentro do acelerador. Finalizei abrindo, finalmente, a caixa misteriosa, mostrando que para termos certeza do que ela é composta temos que abri-la, já os cientistas para melhorarem o conhecimento sobre a estrutura da matéria eles “abrem” a partícula no acelerador de partículas, lembrando que eles constroem modelos baseados em teorias e experiências e que esses modelos podem mudar com a evolução da tecnologia e da própria ciência.

Finalizei a aula entregando para cada aluno um artigo científico intitulado “Sobre o discreto charme das partículas elementares”, disponível em: <<http://www.sbfisica.org.br/fne/Vol6/Num1/charme.pdf>> acessado em 20/08/2019. Orientar os alunos a fazerem a leitura e resumo do artigo em casa.

3.8 AULA 8

Objetivo:

- Conhecer os menores constituintes da matéria.

Nessa a aula apresentei o modelo padrão, com suas partículas elementares (Slides das aulas – APÊNDICE B).

3.9 AULA 9

Objetivo:

- Fixar o conhecimento sobre a estrutura da matéria.

Comecei a aula construindo um mapa conceitual sobre as partículas elementares e finalizei assistindo o filme: O discreto charme das partículas elementares, produzido pela TV Cultura. Do filme assistimos as partes: I, II e IV, que tem a duração de aproximadamente 30min, os vídeos estão disponíveis no Youtube <<https://www.youtube.com/watch?v=1usRjTXkN14>>, <<https://www.youtube.com/watch?v=ZaqvplyEKfw>>e <<https://www.youtube.com/watch?v=gludWWMvptg8>> e foram acessados no dia 20/08/2019.

No final da aula entreguei aos alunos um folder (APÊNDICE H) sobre as partículas elementares, pedindo para que estudassem em casa, pois na próxima aula participariam de um jogo sobre elas.

3.10 AULAS 10, 11 E 12

Objetivo:

- Familiarizar os alunos com os nomes das partículas.

Com os alunos já organizados em grupo, comecei a décima aula explicando o funcionamento do jogo: do que são feitas todas as coisas. O jogo consiste em um baralho que tem o objetivo de familiarizar os alunos com os nomes das partículas

elementares. No (APÊNDICE I) tem o modo de jogar e no (APÊNDICE J) as cartas do baralho.

Nessa aula os alunos puderam consultar o folder sobre as partículas elementares para jogar. A aula foi finalizada, avisando aos alunos que nas próximas duas aulas haveria um campeonato, sendo que em uma aula o campeonato foi entre os alunos do grupo, e o vencedor de cada grupo passou para a próxima etapa (sugestão: premiar o vencedor de cada grupo com algo simples, por exemplo um ponto extra). Nessa etapa os vencedores de cada grupo competiram entre si. (sugestão: premiar o vencedor e os membros do grupo do qual ele faz parte).

Na décima segunda (final do Campeonato), os alunos que não estavam jogando ficaram na torcida e confeccionaram cartazes (Figura 39) para seu competidor usando o nome das partículas.

Figura 39 - cartazes usando o nome das partículas.



Fonte: produzida pela autora

3.11 AULA 13

Objetivo

- Verificar indícios de aprendizagem significativa

Lembrem-se que a avaliação deve ocorrer em todo o processo da sequência didática, através da análise: da participação dos alunos, dos mapas conceituais, teste TBL e teste final.

O teste final (APÊNDICE L) foi aplicado após o Campeonato de baralho.

Essa sequência didática foi aplicada em treze aulas, que a princípio parece ser um número excessivo de aulas, mas que se justifica, pois aborda grande parte de Física Moderna que se estuda no terceiro ano do ensino médio. Sendo sua utilização também possível em menos aulas com a exclusão de algumas atividades e pode ainda ser utilizada em escolas de tempo integral como aula eletiva.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdalla, M. B. (2006). *BOHR - O arquiteto do átomo* (2 ed., Vol. 1). São Paulo: Odysseus Editora.
- Abdalla, M. B. (2016). *O discreto charme da partículas elementares* (2 ed.). São Paulo: Livraria da Física.
- ALICE. (s.d.). Acesso em 23 de set de 2020, disponível em CERN: <http://cds.cern.ch/record/2263642>
- Atkins, P., Jones, L., & Laverman, L. (2018). *PRINCÍPIOS DA QUÍMICA - QUESTIONANDO A VIDA MODERNA E O MEIO AMBIENTE* (7 ed.). Porto Alegre: Bookman.
- ATLAS. (s.d.). Acesso em 23 de set de 2020, disponível em CERN: <https://atlas.cern/discover/detector>
- ATLAS. (s.d.). Acesso em 23 de set de 2020, disponível em CERN: <https://cds.cern.ch/record/1505342?ln=en>
- Átomo. (s.d.). Acesso em 20 de set de 2020, disponível em Manual da Química: <https://www.manualdaquimica.com/quimica-geral/atomo.htm>
- Biehl, L. V. (2003). *A ciência ontem, hoje e sempre* (1 ed.). São Paulo: ULBRA.
- Catástrofe do ultravioleta*. (s.d.). Acesso em 20 de set de 2020, disponível em Wikipédia: https://pt.wikipedia.org/wiki/Mec%C3%A2nica_cl%C3%A1ssica
- CERN. (s.d.). Acesso em 23 de set de 2020, disponível em CERN: <https://home.cern/>
- CERN - Aerial 1. (s.d.). Acesso em 23 de set de 2020, disponível em Wikimedia: <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=22544329>
- Chang, R. (2010). *Química Geral - conceitos essenciais* (4 ed., Vol. 1). Porto Alegre: AMGH.
- Chang, R., & Goldsby, K. A. (2013). *Química* (11 ed.). Porto Alegre: AMGH.
- Chesman, C., André, C., & Macêdo Augusto. (2004). *Física Moderna: Experimental e Aplicada* (1 ed.). São Paulo: Livraria da Física.

- CMS. (s.d.). Acesso em 23 de set de 2020, disponível em CERN:
<https://cms.cern/news/cms-detector-design>
- Efeito fotoelétrico*. (s.d.). Acesso em 20 de set de 2020, disponível em modelo atômico: <http://modeloatomico3.blogspot.com/2011/04/efeito-fotoeletrico.html>
- Eisberg, R., & Resnick, R. (1979). *Física Quântica: Átomos, Sólidos, Núcleos e Partículas*. Rio de Janeiro: Elsevier.
- Espectroscopia*. (s.d.). Acesso em 20 de set de 2020, disponível em if - ufrg:
http://www.if.ufrgs.br/fis02001/aulas/aula_espec.htm
- Experimento Stern-Gerlach*. (s.d.). Fonte: Física Cuântica:
http://www.fisicacuantica.es/experimento_stern-gerlach/
- Fatos e números sobre o LHC*. (s.d.). Acesso em 23 de set de 2020, disponível em CERN: <https://home.cern/resources/faqs>
- Física Geral - SLAC*. (2012). Acesso em 21 de set de 2020, disponível em Phys.org:
<https://phys.org/news/2012-09-slac-taus-bottom-quarks-standard.html>
- Física Quântica*. (s.d.). Acesso em 20 de set de 2020, disponível em Filofima:
<https://www.filofima.com.br/fisica/quantica/5c-hidrogenoides.html>
- Fogaça, J. R. (s.d.). *Modelo atômico de Thomson*. Fonte: Manual da Química:
<https://www.manualdaquimica.com/quimica-geral/modelo-atomico-thomson.htm>
- Galeria de imagens do LHC*. (s.d.). Acesso em 23 de set de 2020, disponível em CERN: <https://home.cern/resources/image/accelerators/lhc-images-gallery>
- Gleiser, M. (2014). *A ilha do conhecimento: Os limites da ciência e a busca por sentido* (1 ed.). Rio de Janeiro: Record.
- Halliday, D., Resnick, R., & Walker, J. (1995). *Fundamentos de física 4 - Ótica e física moderna* (4 ed.). Rio de Janeiro: LTC.
- Halliday, D., Resnick, R., & Walker, J. (1995). *Fundamentos de Física: Ótica e Física Moderna* (4 ed., Vol. 4). Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora S.A.

Hewitt, P. G. (2009). *Fundamentos da Física Conceitual*. Porto Alegre: Bookman.

JJ Thomson Crookes Tube Replica. (s.d.). Acesso em 21 de set de 2020, disponível em [Wipédia:
https://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:JJ_Thomson_Crookes_Tube_Replica.jpg
#/media/Ficheiro:JJ_Thomson_Crookes_Tube_Replica.jpg](https://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:JJ_Thomson_Crookes_Tube_Replica.jpg#/media/Ficheiro:JJ_Thomson_Crookes_Tube_Replica.jpg)

Laboratório Nacional de Luz Síncrotron. (s.d.). Acesso em 21 de set de 2020, disponível em Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais (CNPEM): <https://cnpem.br/portfolio-item/geral-lnls/>

Lattes, C. (2001). *Descobrimos a estrutura do universo*. São Paulo: UNESP.

Lazarovici, Dustin & Oldofredi, Andrea & Efeld, M. (2018). *Observables and unobservables in quantum*. Acesso em 06 de Out de 2020, disponível em Research Gate: https://www.researchgate.net/figure/Pattern-created-by-a-ray-of-silver-atomes-in-the-original-Stern-Gerlach-experiment-left_fig1_325217695

LHCb. (s.d.). Acesso em 23 de set de 2020, disponível em CERN: <https://lhcb-public.web.cern.ch/en/Detector/Detector-en.html>

Marques, G. d. (2005). *Física: Tendências e Perspectivas*. São Paulo: Livraria da Física.

Marques, G. d. (2010). *Do que tudo é feito?* São Paulo: edusp.

Modelo atômico atual. (s.d.). Acesso em 06 de out de 2020, disponível em Explicatorium: <http://www.explicatorium.com/cfq-9/modelo-nuvem-eletronica.html>

Modelo atômico de Rutherford. (s.d.). Acesso em 20 de set de 2020, disponível em Modelos atômicos: <http://modelosatomicos101.blogspot.com/2018/04/modeloatomico-de-rutherford-este-modelo.html>

Modelo Atômico de Thomson. (s.d.). Acesso em 20 de set de 2020, disponível em Manual da Química: <https://www.manualdaquimica.com/quimica-geral/modelo-atomico-thomson.htm>

Modelo atômico Rutherford-Bohr. (s.d.). Acesso em 20 de set de 2020, disponível em Manual da Química: <https://www.manualdaquimica.com/quimica-geral/modelo-atomico-rutherford-bohr.htm>

Modelo padrão das partículas elementares. (s.d.). Acesso em 21 de set de 2020, disponível em Wikiwand: https://www.wikiwand.com/pt/B%C3%B3son_de_calibre

Mora, J. F. (2004). *Dicionário de Filosofia* (2 ed.). São Paulo: Edições Loyola.

Moreira, M. (2011). *Física de Partículas: uma abordagem conceitual & epistemológica* (1 ed.). São Paulo: Livraria da Física.

Notícias. (s.d.). Acesso em 23 de set de 2020, disponível em CERN: <https://home.cern/news/news/physics/cern-congratulates-englert-and-higgs-nobel-physics>

O detector LHCb. (s.d.). Acesso em 23 de set de 2020, disponível em CERN: <https://lhcb-public.web.cern.ch/en/Detector/Detector-en.html>

Peruzzo, J. (2012). *Fronteiras da Física: Tópicos de Física Moderna e Contemporânea* (Vol. 3). Irani/SC: Jucimar Peruzzo.

Peruzzo, J. (2012). *Fundamentos de Energia Nuclear* (1 ed.). (J. Peruzzo, Ed.) Santa Catarina.

Peruzzo, J. (2014). *Física Quântica: Conceitos e Aplicações.* Irani.

Pires, A. S. (2008). *Evolução das ideias da Física* (1 ed.). São Paulo: Livraria da Física.

Pires, A. T., & Carvalho, R. P. (2014). *Por dentro do átomo: Física de partículas para leigos* (1 ed.). São Paulo: Editora Livraria da Física.

Rocha, J. M. (2002). *Origens e evolução das ideias da física* (1 ed., Vol. 1). Salvador: EDUFBA.

Rosenfeld, R. (2013). *O cern da matéria: A aventura científica que levou à descoberta do bóson de Higgs.* São Paulo: Companhia das Letras.

Rozenberg, I. (2002). *Química Geral* (1 ed., Vol. 1). São Paulo: Edgard Blucher.

Tevatron. (s.d.). Acesso em 21 de set de 2020, disponível em Physics4me:
<https://physicsforme.com/tag/tevatron/>

The CERN accelerator complex. (s.d.). Acesso em 23 de set de 2020, disponível em
CERN: <http://cds.cern.ch/images/OPEN-PHO-ACCEL-2013-056-1>

APÊNDICE A – TESTE INICIAL

TESTE INICIAL

 Nome: _____

 Turma: _____ Idade: _____

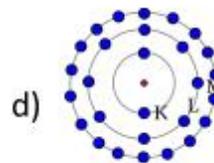
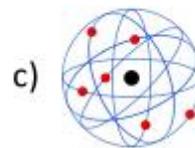
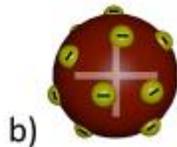
Questão 1: Qual o menor constituinte da matéria?

Questão 2: O que são os elétrons, prótons e nêutrons?

Questão 3: Represente, através de um desenho, um átomo.

Questão 4: O que é uma partícula elementar?

Questão 5: Quais desses modelos atômicos você conhece?



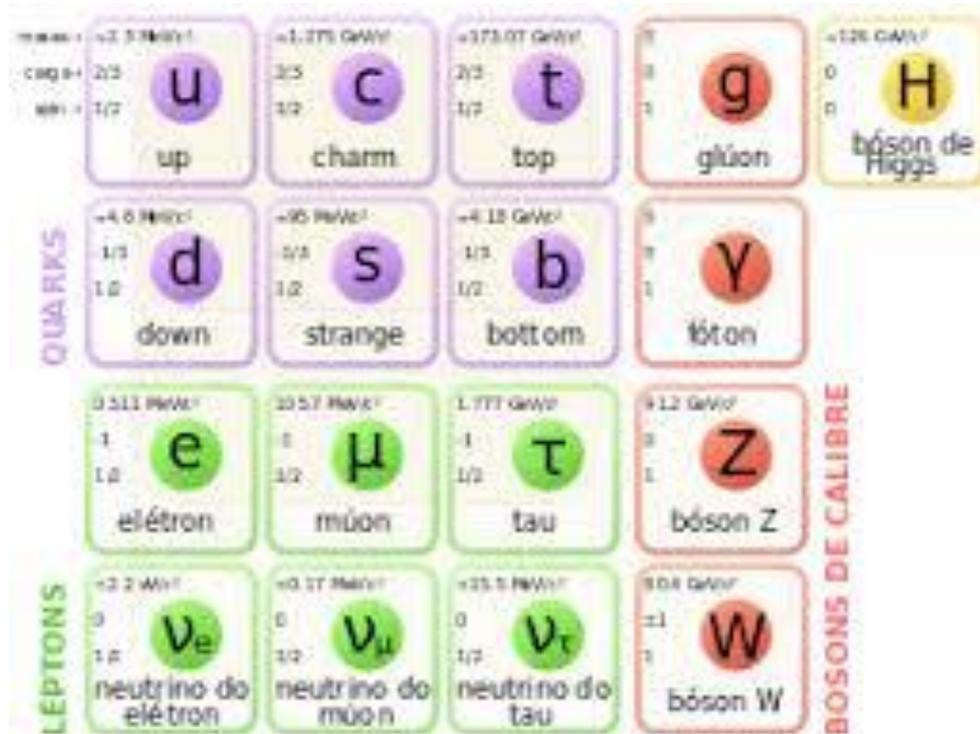
e) nenhum

Questão 6: É possível separar os elétrons do átomo?

Questão 7: Quais dessas partículas você conhece? Marque todas que você conhece

a) Prótons b) Nêutrons c) Elétrons d) Bósons e) Quarks f) Léptons

Questão 8: Você já viu esse desenho em outro lugar?



Se sim, sabe o que ele significa?

Questão 9: Você já ouviu falar em modelo padrão de partículas?

() sim () não

Se sim:

Onde?

Para que ele serve?

Questão 10: Você já ouviu falar em acelerador de partículas?

() Sim () Não

Se sim, sabe para que ele serve?

APÊNDICE B – SLIDES DAS AULAS

MODELO CIENTÍFICO:

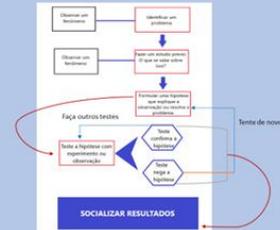
Modelo científico é uma representação para explicar um fato ou simplesmente uma observação. Os cientistas criaram os modelos para facilitar os seus estudos e é também uma maneira de descrever um fenômeno.

Ex.: Modelo geocêntrico, modelo heliocêntrico



Título: O modelo geocêntrico de Ptolomeu
Publicado por: Xibac_Xibac_em_26/12/2017
URL: <https://www.ufscar.br/observatorio/2017/12/26/09862-geocentrico-de-ptolomeu.html>

MÉTODO CIENTÍFICO:



DO QUE SÃO FEITAS AS COISAS?



Filósofo grego Empédocles (490-430 a.C)



ÁTOMO



<http://entendendoquimica.blogspot.com/2012/06/modelo-atomico-de-democrito.html>



<http://entendendoquimica.blogspot.com/2012/06/modelo-atomico-de-democrito.html>

ÁTOMO DE DEMÓCRITO

- Sec. V (a.C.)
- O filósofo grego Demócrito afirmava que o mundo material era constituído de pequenas partículas indivisíveis.
- Modelo baseado apenas na intuição lógica.



Átomo = Indivisível

EVOLUÇÃO DOS MODELOS ATÔMICOS

MODELO ATÔMICO DE DALTON

- Modelo proposto por John Dalton em 1808.
- O átomo era uma esfera:
 - Maciça
 - Indivisível
 - Indestrutível
 - Sem carga
- Os átomos do mesmo elemento são iguais entre si – mesma massa.



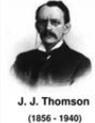
Modelo atômico da bola de bilhar

FALHA DO MODELO

O modelo de Dalton não explica alguns fenômenos como:

- Corrente elétrica,
- Eletrização por atrito,
- Formação de íons
- Descargas elétricas em gases.

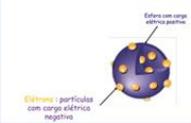
MODELO ATÔMICO DE THOMSON



J. J. Thomson (1856 - 1940)

- Em 1903 ao realizar uma série de experiências utilizando um tubo de raios catódicos, Thomson propôs um novo modelo atômico, o qual chamou de elétrons, provou que os elétrons eram corpúsculos, dotados de carga elétrica e de massa, que fazem parte de toda matéria.

Modelo "Pudim de passas"

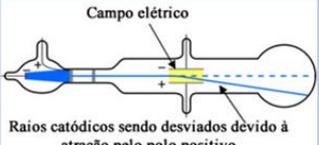


Esfera com carga elétrica positiva
Elétrons: partículas com carga elétrica negativa



<https://www.manualdaquimica.com/quimica-geral/evolucao-dos-modelos-atomicos.htm>

A DESCOBERTA DO ELÉTRON



Campo elétrico
Raios catódicos sendo desviados devido à atração pelo polo positivo

<https://www.manualdaquimica.com/quimica-geral/modelo-atomico-thomson.htm>

FALHA DO MODELO:

O modelo de Thomson não explica:

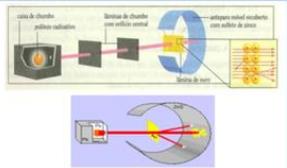
- A estabilidade eletrostática do átomo, uma vez que um número muito grande de partículas negativas próximas umas das outras levaria a uma repulsão eletrostática elevada.

A DESCOBERTA DO PRÓTON



Ernest Rutherford (1871 - 1937)

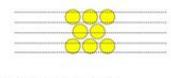
Em 1908 Ernest Rutherford realizou uma experiência que lhe permitiu propor um novo modelo atômico.



<https://www.slideserve.com/munin/o-que-s-o-tomos-de-que-s-o-feitos>

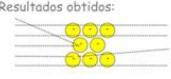
Experiência de Rutherford

Resultados previstos segundo o modelo de Thomson:



As partículas α (+) deveriam atravessar as folhas de ouro sem sofrer desvios.

Resultados obtidos:



A maior parte das partículas α comportava-se como esperado, mas um significativo número delas sofria desvios acentuados.

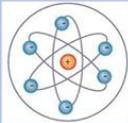
Rutherford concluiu que existe, no interior do átomo, uma região central positiva – o núcleo, que exerce fortes forças repulsivas sobre as partículas α .

<https://www.slideserve.com/munin/o-que-s-o-tomos-de-que-s-o-feitos>

MODELO ATÔMICO DE RUTHERFORD

Em 1911 Rutherford propõe que o átomo é uma estrutura praticamente vazia, constituído por:

- Núcleo muito pequeno com carga positiva, onde se concentra quase toda massa do átomo.
- Elétrons com carga negativa movendo-se em volta do núcleo.



MODELO ATÔMICO PLANETÁRIO

Elétrons giram ao redor do núcleo, podendo ocupar qualquer órbita existente.

A DESCOBERTA DO NÊUTRON

- Rutherford admitiu que existia no núcleo partículas semelhantes aos prótons, porém sem carga elétrica.
- Em 1932 Chadwick descobriu o nêutrons
- Os nêutrons eram responsáveis por diminuir a repulsão entre os prótons (maior estabilidade no núcleo).

FALHA DO MODELO:

O modelo proposto por Rutherford também não explicava a estabilidade do átomo uma vez que, de acordo com a eletrodinâmica clássica, partículas carregadas em movimento emitem radiação e, portanto, o elétron deveria colapsar no núcleo.

ÁTOMO

- Dalton**
 - Esfera maciça
 - Indivisível
 - Indestrutível
- Thomson**
 - Descobriu o elétron.
- Rutherford**
 - Descobriu o núcleo
 - Átomo imenso vazio
 - Núcleo 10.000 x menor que o átomo

A CRISE NA FÍSICA NO FINAL DO SÉC. XIX

CORPO NEGRO

CATÁSTROFE DO ULTRA-VIOLETA

O FIM DA FÍSICA???

- Em 1900 alguns físicos pensavam que a física estava praticamente completa.
- Lord Kelvin recomendou que os jovens não se dedicassem à física, pois só faltavam alguns detalhes pouco interessantes, como o refinamento de medidas.

"A beleza e clareza da teoria dinâmica, que afirma que o calor e a luz são tipos de movimentos, é atualmente obscurecida por duas nuvens. A primeira surge com a teoria ondulatória da luz e tem sido tratada por Fresnel e o Dr. Thomas Young, tem a ver com a questão de como pode a terra mover-se através de um meio elástico sólido, como é essencialmente o éter luminoso? H. A segunda é a doutrina de Maxwell-Boltzmann em relação à partição de energia."

DISPERSANDO AS NUVENS ...

resultados do experimento de Michelson e Morley → **TEORIA DA RELATIVIDADE**

radiação de um corpo negro → **MECÂNICA QUÂNTICA**

DESCOBERTAS EXPERIMENTAIS A ESPECTROSCOPIA

- Descobriu-se que cada elemento químico emite (ou absorve) luz com um espectro descontínuo de raios. A espectroscopia se tornou um importante método de identificação de elementos.

Mas qual era a causa dessas raios?

carbono

hélio

O SURGIMENTO DO QUANTA

- A teoria quântica surgiu da tentativa de compreender os problemas de interação da radiação com a matéria e solucionar alguns desses problemas.
- O primeiro passo no desenvolvimento da teoria quântica foi dado por Max Planck.
- Planck formulou a hipótese de que a radiação só podia ser emitida em pacotes, que denominou, **quanta** (no singular, **quantum**). Postulou ainda que a frequência da radiação em cada **quantum** seria proporcional à energia nele contida, resolvendo assim os problemas da radiação de corpo negro.

$E = h \nu$

O MODELO ATÔMICO DE BOHR

- Niels Bohr trabalhou com Thomson e Rutherford e em 1913 aperfeiçoou o modelo atômico de Rutherford.
- Bohr aplicou a teoria da quantização de Planck ao modelo atômico de Rutherford.

$\Delta E = h\nu$

Modelo Atômico de Bohr

1º Postulado: A eletrosfera do átomo está dividida em regiões denominadas níveis ou camadas, onde os elétrons descrevem órbitas circulares estacionárias, de modo a ter uma energia constante, ou seja, **sem emitirem nem absorverem energia.**

2º Postulado: Fornecendo energia (térmica, elétrica,...) a um átomo, um ou mais elétrons a absorvem e saltam para níveis mais afastados do núcleo (mais energéticos). Ao voltarem às suas órbitas originais, devolvem a energia absorvida em forma de luz (**fóton**).

Fogos de artifício

energia crescente →

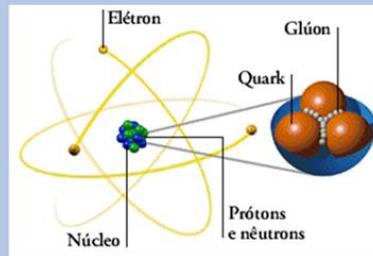
núcleo

energia

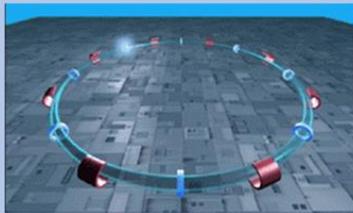
onda eletromagnética (luz)

FALHA DO MODELO:

- Funciona somente para os átomos de um elétron
- Não consegue explicar a ligação dos átomos para formar moléculas
- Não consegue calcular a estrutura fina das linhas espectrais



ACELERADORES DE PARTÍCULAS



Modelo padrão de partículas elementares

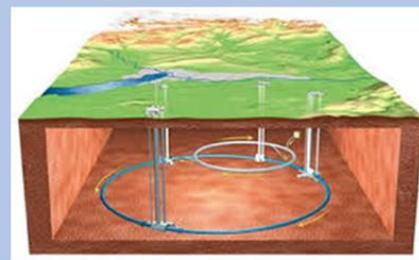
	Férmions			Bósons
nome →	u up	c charm	t top	γ fóton
	d down	s strange	b bottom	g glúon
	ν_e neutrino eletrônico	ν_μ neutrino múon	ν_τ neutrino tau	Z ⁰ Z bóson
	e elétron	μ múon	τ tau	W [±] W bóson
Três gerações de matéria (férmions)	I	II	III	



Centro Europeu de Pesquisas Nucleares



VISITANDO O CERN EM 2014



DETECTORES

Como?

Com aceleradores e detectores de partículas

DETECTORES

ATLAS EXPERIMENT

Run Number: 348197, Event Number: 562578

Date: 2018-04-17 13:05:13 CEST

- Bósons de Higgs
- Partículas supersimétricas
- Partículas que podem formar a matéria escura
- 1 bilhão de colisões por segundo.

44m

25m

Labels: Muon chambers, Solenoid magnet, Transition radiation tracker, Semiconductor tracker, Toroid magnets, Tile calorimeters, LAr hadronic end-cap and forward calorimeters, Plastic detector, LAr electromagnetic calorimeters.

A Large Ion Collider Experiment

ALICE

A Large Ion Collider Experiment

ALICE

- Estudar o estado de fase da matéria chamada de **plasma de quarks e glúons**. Acredita-se que nosso universo tenha estado em tal estado primordial pelos primeiros milionésimos de segundo após o **Big Bang**.



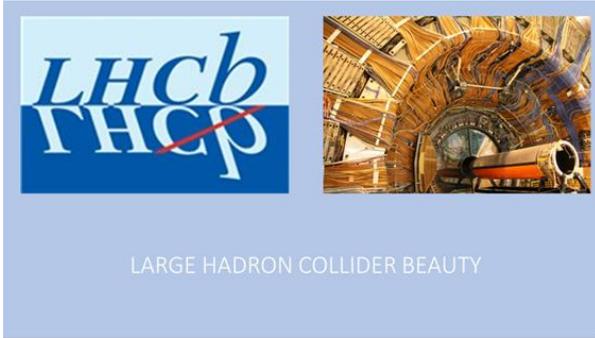
CMS DETECTOR – COMPACT MUON SOLENOID

- Detector de uso geral
- Estudar o modelo padrão
- Procurar dimensões extras
- Partículas que podem compor a matéria escura

Key:

- Muon
- Electron
- Charged Hadron (e.g. Pion)
- Neutral Hadron (e.g. Neutron)
- Photon

Labels: Transition Radiation Tracker (TRT), Tile Calorimeter, Hadron Calorimeter, Superconducting Solenoid, Ion-velocity magnetic field with muon chambers.



MESON B_{S0} EXTREMAMENTE RARO DECAEM EM DOIS MÚONS, REGISTRADOS EM 2016 NO DETECTOR LHCb CRÉDITO: FONTE: IFJ PAN / CERN / THE LHCb COLLABORATION

- Violação de simetria CP
- Decaimento raros de Méson com quark b

CRÉDITO: FONTE: IFJ PAN / CERN



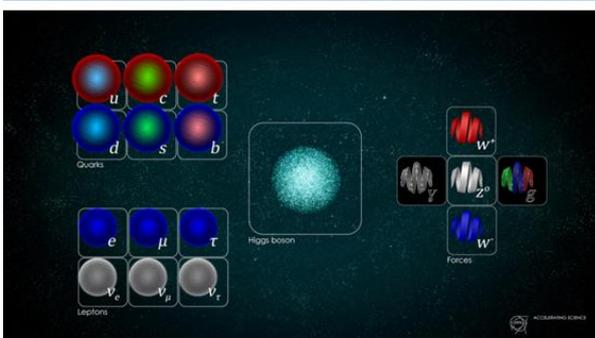
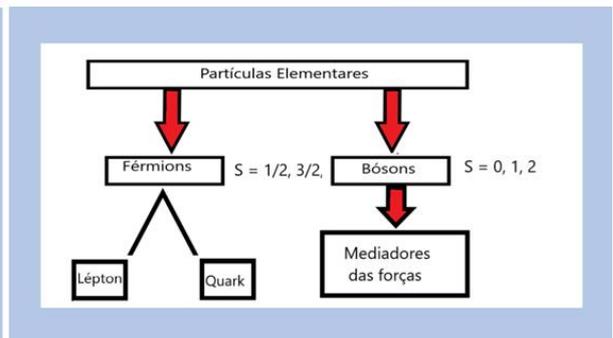
DO QUE SÃO FEITAS TODAS AS COISAS?

Fonte: <https://www.manualdaquimica.com/quimica-general/atomos.htm>

PARTÍCULAS ELEMENTARES

- São partículas de matéria ou radiação que não podem ser divididas em partes menores e que são governadas por forças fundamentais.
- Estão sintetizadas no modelo padrão.

os blocos básicos	
léptons quarks	u c t γ
	d s b g
	ν _e ν _μ ν _τ Z
transportadores de força	e μ τ W
	I II III



LÉPTONS

ELÉTRON

- Primeira partícula elementar a ser descoberta.
- Descoberta por J. J. Thomson em 1897
- Quebrou a ideia que o átomo é indivisível
- Carga elétrica: -1
- Spin: ½
- Férmion
- Lépton

MÚON

- Quarta partícula elementar a ser descoberta
- Spin = ½
- Lépton
- Massa 207 vezes maior que a do elétron
- Partícula instável
- Vida média: 2.10⁻⁶ s

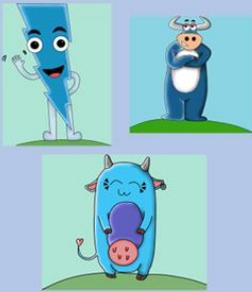
TAU

- Faz parte da terceira geração de léptons
- Descoberto em 1975
- É o lépton mais pesado
- Sua massa é cerca de 3500 vezes maior que a do elétron



NEUTRINOS

- Partícula leve e neutra
- Raramente interage com a matéria
- Muito difícil de detectar
- São chamadas de partículas mensageiras



QUARKS

UP E DOWN

- Quarks
- Responsável pela formação de toda matéria comum
- Nunca foram observados livremente
- Só existem em estados ligados formando as partículas



ESTRANHO

- São produzidas aos pares
- É um quark
- São produzidos pela força forte
- Existiu apenas nos primórdios da criação do Universo



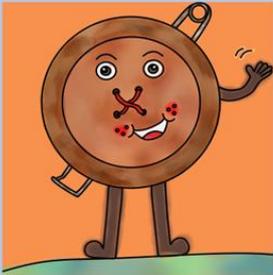
CHARME

- Foi o quarto quark a ser proposto
- Foi observado em 1974
- Partícula pesada e lenta
- Só aparece em aceleradores de partículas



BOTTON

- Quinto quark a ser descoberto
- Só aparece em aceleradores de partículas
- Tem duração de apenas um milionésimo de milionésimo de segundo.



TOP

- Último quark a ser descoberto em 1995
- Só existiu em condições naturais na época do big bang
- São recriados em aceleradores de partículas que atinjam altas energias
- Tempo e vida pequeno
- É o mais pesado de todos os quarks



BÓSONS

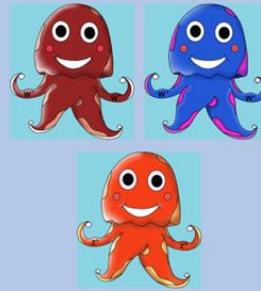
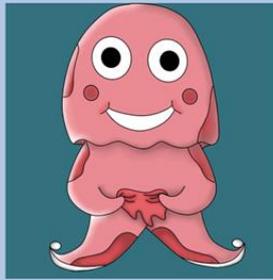
FÓTON

- Segunda partícula elementar a ser descoberta
- Não possui massa
- Spin = 1
- Bóson
- Partícula mediadora da força eletromagnética



GLÚON

- Bóson
- Responsável por mediar a força forte



Z, W+, W-

- Bóson
- Responsáveis por intermediar a força fraca
- Alteram a partícula com a qual interagem

HIGGS

- Última partícula elementar a ser encontrada
- Conhecida como “Partícula de Deus”
- Bóson



DO QUE SÃO
FEITAS TODAS
AS COISAS?

APÊNDICE C – TEXTO: A EVOLUÇÃO DOS MODELOS ATÔMICOS

EVOLUÇÃO DOS MODELOS ATÔMICOS:

Visto que não é possível visualizar um átomo isoladamente, os cientistas, com o passar do tempo, criaram modelos atômicos, ou seja, imagens que servem para explicar a constituição, propriedades e comportamento dos átomos. Esses modelos explicam o que diz a teoria, mas isso não quer dizer que fisicamente o átomo seja igual ao seu modelo.

Os primeiros que imaginaram a existência dos átomos foram os filósofos gregos Leucipo e Demócrito em, aproximadamente, 450 a.C. Segundo eles, tudo seria formado por minúsculas partículas indivisíveis. Daí a origem do nome “átomo”, que vem do grego *a* (não) e *tomo* (partes).

No entanto, essas ideias não puderam ser comprovadas na época, constituindo-se apenas como hipóteses. Assim, outras teorias tomaram o seu lugar, e o pensamento de que tudo seria composto por átomos ficou esquecido durante uma boa parte da história da humanidade.

Mas, no século XIX, alguns cientistas passaram a realizar testes experimentais cada vez mais precisos graças aos avanços tecnológicos. Com isso, não só se descobriu que tudo era realmente formado por minúsculas partículas, mas também foi possível entender cada vez mais sobre a estrutura atômica.

Os cientistas usaram as informações descobertas por outros estudiosos para desenvolver o modelo atômico. Dessa forma, as descobertas de um cientista eram substituídas pelas de outros. Os conceitos que estavam corretos permaneciam, mas os que comprovadamente não eram reais passavam a ser abandonados. Assim, novos modelos atômicos foram criados. Essa série de descobertas da estrutura atômica até se chegar aos modelos aceitos hoje ficou conhecida como a evolução do modelo atômico.

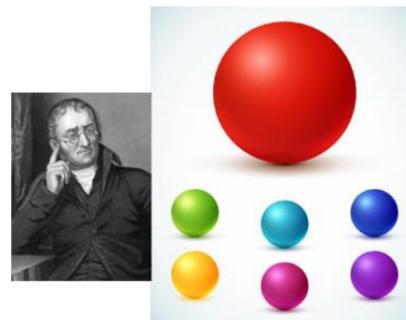
São quatro as principais teorias atômicas estudadas nessa evolução. Vejamos cada uma resumidamente:

Modelo atômico de Dalton

Em 1803, Dalton retomou as ideias de Leucipo e Demócrito e propôs o seguinte:

“A matéria é formada por átomos, que são partículas minúsculas, maciças, esféricas e indivisíveis.”

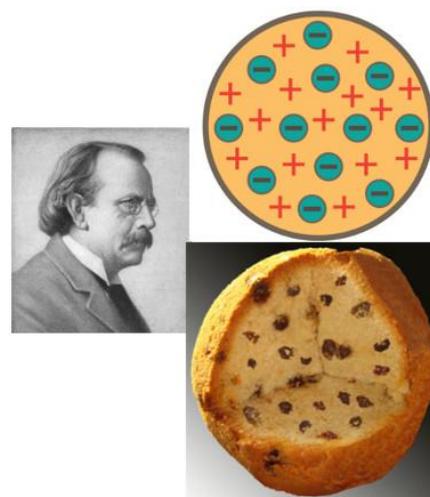
Esse modelo fazia uma analogia à estrutura de uma bola de bilhar. Todos os átomos seriam assim, diferenciando-se somente pela massa, tamanho e propriedades para formar elementos químicos diferentes.



O modelo atômico de Dalton baseava na estrutura de uma bola de bilhar

Modelo atômico de Thomson

Por meio de um experimento com uma ampola de Crookes (um tubo de vidro fechado com um eletrodo positivo e um negativo onde se colocavam gases em pressões baixíssimas e submetidos a altas voltagens), Thomson descobriu que existiam partículas negativas que compunham a matéria. Isso significava que o modelo de Dalton estava errado porque o átomo seria divisível, tendo em vista que ele teria partículas ainda menores negativas chamadas de elétrons.



Visto que o átomo é neutro, cargas positivas também deveriam existir. Assim, J. J. Thomson propôs o seguinte em 1898:

“O átomo é constituído de uma partícula esférica de carga positiva, não maciça, incrustada de elétrons (negativos), de modo que sua carga elétrica total é nula.”

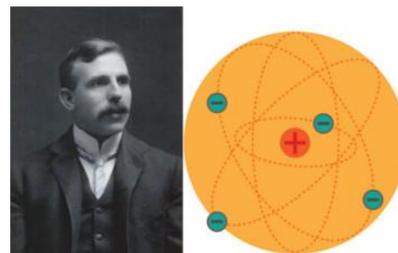
O modelo atômico de Thomson parecia com um pudim ou bolo de passas.

Modelo atômico de Rutherford

Em 1911, o físico neozelandês Ernest Rutherford realizou um experimento em que ele bombardeou uma finíssima lâmina de ouro com partículas alfa (α) emitidas por uma amostra de polônio (material radioativo) que ficava dentro de um bloco de chumbo com um pequeno orifício pelo qual as partículas passavam.

Por meio dos resultados desse experimento, Rutherford percebeu que, na verdade, o átomo não seria maciço como propôs os modelos de Dalton e Thomson. Veja o que ele propôs:

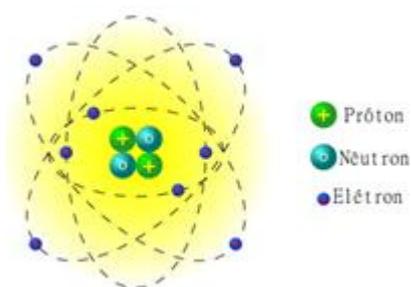
“ O átomo é descontínuo e é formado por duas regiões: o núcleo e a eletrosfera. O núcleo é denso e tem carga positiva, ou seja, é constituído de prótons. A eletrosfera é uma grande região vazia onde os elétrons ficam girando ao redor do núcleo.”



O modelo atômico de Rutherford fazia uma analogia ao sistema solar

Em 1932, o cientista Chadwick descobriu a terceira partícula subatômica, o nêutron. Dessa forma, o modelo de Rutherford passou a ter os nêutrons no núcleo junto aos prótons, ficando assim:

Modelo atômico de Rutherford incluindo os nêutrons no núcleo



Por Jennifer Fogaça - Graduada em Química

Disponível em: <https://www.manualdaquimica.com/quimica-geral/evolucao-dos-modelos-atomicos.htm> (acesso em 22/05/2019).

APÊNDICE D – TESTE DE PREPARAÇÃO (INDIVIDUAL E EM EQUIPE)



ESCOLA ESTADUAL DE ENSINO MÉDIO “CECILIANO ABEL DE ALMEIDA” AVALIAÇÃO DE FÍSICA

Aluno(a):		Professor(a): Edna de Souza da Silva	
Conteúdo: <i>Evolução dos modelos atômicos</i>		Número:	Série:
Instruções: ▪A prova deverá ser feita à caneta PRETA ou AZUL ; ▪ PROIBIDO o uso de calculadoras, celulares e acessórios eletrônicos; ▪ REVISE a prova antes de entregá-la		Trimestre:	TESTE DE PREPARAÇÃO INDIVIDUAL
		Data:	

1 questão: (ESPM-SP) O átomo de Rutherford (1911) foi comparado ao sistema planetário (o núcleo atômico representa o sol e a eletrosfera, os planetas). Eletrosfera é a região do átomo que:

- a) contém as partículas de carga elétrica negativa.
- b) contém as partículas de carga elétrica positiva.
- c) contém nêutrons.
- d) concentra praticamente toda a massa do átomo.
- e) contém prótons e nêutrons.

2. questão: (ETFSP) "O espaço entre as moléculas atômicas está ocupado por partículas de carga negativa". Esta é uma afirmação feita por:

- a) Dalton;
- b) Thomson;
- c) Rutherford;
- d) Richter;
- e) Proust.

3. questão: (ETFSP) No fim do século XIX começaram a aparecer evidências de que o átomo não era a menor partícula constituinte da matéria. Em 1897 tornou-se pública a demonstração da existência de partículas negativas, por um inglês de nome:

- a) Dalton;
- b) Rutherford;
- c) Bohr;
- d) Thomson;
- e) Proust.

4. questão: (Puc - RS) O átomo, na visão de Thomson, é constituído de:

- a) níveis e subníveis de energia.
- b) cargas positivas e negativas.
- c) núcleo e eletrosfera.
- d) grandes espaços vazios.
- e) orbitais.

5. questão: (Ita-99) Em 1803, John Dalton propôs um modelo de teoria atômica. Considere que sobre a base conceitual desse modelo sejam feitas as seguintes afirmações:

I - O átomo apresenta a configuração de uma esfera rígida.

II - Os átomos caracterizam os elementos químicos e somente os átomos de um mesmo elemento são idênticos em todos os aspectos.

III - As transformações químicas consistem de combinação, separação e/ou rearranjo de átomos.

IV - Compostos químicos são formados de átomos de dois ou mais elementos unidos em uma razão fixa.

Qual das opções a seguir estão CORRETAS?

- a) I e IV
- b) II e III
- c) II e IV
- d) II, III e IV
- e) I, II, III e IV.

6. questão: (UEL – 1998) "O átomo contém um núcleo positivo, muito pequeno e denso, com todos os prótons, que concentra praticamente toda a massa. Os elétrons devem estar distribuídos em algum lugar do volume restante do átomo".

Esta afirmação é devida a:

- a) Rutherford
- b) Millikan
- c) Thomson
- d) Bohr
- e) Faraday

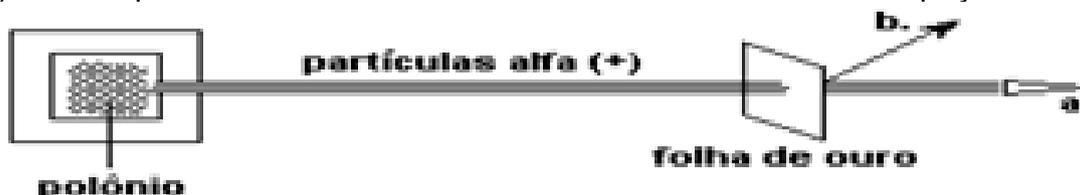
7. questão: O bombardeamento da folha de ouro com partículas alfa, no experimento de Rutherford, mostra que algumas dessas partículas sofrem desvio acentuado do seu trajeto, o que é devido ao fato de que as partículas alfa:

Chocam-se com as moléculas de ouro.

- a) Têm carga negativa e são repelidas pelo núcleo.
- b) São muito lentas e qualquer obstáculo as desvia.
- c) Têm carga positiva e são repelidas pelo núcleo.
- d) Não podem atravessar a lâmina de ouro.

8. questão: (Pucmg 2007) Observe atentamente a representação a seguir sobre um experimento clássico realizado por Rutherford. Rutherford concluiu que:

- a) o núcleo de um átomo é positivamente carregado.
- b) os átomos de ouro são muito volumosos.
- c) os elétrons em um átomo estão dentro do núcleo.
- d) a maior parte do volume total um átomo é constituído de um espaço vazio.



9. questão: (Pucmg 2007) Assinale a afirmativa que descreve ADEQUADAMENTE a teoria atômica de Dalton. Toda matéria é constituída de átomos:

- a) os quais são formados por partículas positivas e negativas.
- b) os quais são formados por um núcleo positivo e por elétrons que gravitam livremente em torno desse núcleo.
- c) os quais são formados por um núcleo positivo e por elétrons que gravitam em diferentes camadas eletrônicas.
- d) e todos os átomos de um mesmo elemento são idênticos.

10. questão: (UFJF-MG) Associe as afirmações a seus respectivos responsáveis:

- I- O átomo não é indivisível e a matéria possui propriedades elétricas (1897).
- II- O átomo é uma esfera maciça (1808).
- III- O átomo é formado por duas regiões denominadas núcleo e eletrosfera (1911).

- a) I - Dalton, II - Rutherford, III - Thomson.
- b) I - Thomson, II - Dalton, III - Rutherford.
- c) I - Dalton, II - Thomson, III - Rutherford.
- d) I - Rutherford, II - Thomson, III - Dalton.
- e) I - Thomson, II - Rutherford, III - Dalton.



**ESCOLA ESTADUAL DE ENSINO MÉDIO “CECILIANO ABEL DE ALMEIDA”
AVALIAÇÃO DE FÍSICA**

<i>Aluno(a):</i>		<i>Professor(a):</i> Edna de Souza da Silva	
<i>Conteúdo: Evolução dos modelos atômicos</i>		<i>Número:</i>	<i>Série:</i>
<i>Instruções: ▪A prova deverá ser feita à caneta PRETA ou AZUL;</i> ▪ PROIBIDO o uso de calculadoras, celulares e acessórios eletrônicos; ▪ REVISE a prova antes de entregá-la		<i>Trimestre:</i>	TESTE DE PREPARAÇÃO INDIVIDUAL
		<i>Data:</i>	

1. questão: (ESPM-SP) O átomo de Rutherford (1911) foi comparado ao sistema planetário (o núcleo atômico representa o sol e a eletrosfera, os planetas). Eletrosfera é a região do átomo que:

- a) contém as partículas de carga elétrica negativa.
- b) contém as partículas de carga elétrica positiva.
- c) contém nêutrons.
- d) concentra praticamente toda a massa do átomo.
- e) contém prótons e nêutrons.

2. questão: (ETFSP) "O espaço entre as moléculas atômicas está ocupado por partículas de carga negativa". Esta é uma afirmação feita por:

- a) Dalton;
- b) Thomson;
- c) Rutherford;
- d) Richter;
- e) Proust.

3. questão: (ETFSP) No fim do século XIX começaram a aparecer evidências de que o átomo não era a menor partícula constituinte da matéria. Em 1897 tornou-se pública a demonstração da existência de partículas negativas, por um inglês de nome:

- a) Dalton;
- b) Rutherford;
- c) Bohr;
- d) Thomson;
- e) Proust.

4. questão: (Puc - RS) O átomo, na visão de Thomson, é constituído de:

- a) níveis e subníveis de energia.
- b) cargas positivas e negativas.
- c) núcleo e eletrosfera.
- d) grandes espaços vazios.
- e) orbitais.

5. questão: (Ita-99) Em 1803, John Dalton propôs um modelo de teoria atômica. Considere que sobre a base conceitual desse modelo sejam feitas as seguintes afirmações:

I - O átomo apresenta a configuração de uma esfera rígida.

II - Os átomos caracterizam os elementos químicos e somente os átomos de um mesmo elemento são idênticos em todos os aspectos.

III - As transformações químicas consistem de combinação, separação e/ou rearranjo de átomos.

IV - Compostos químicos são formados de átomos de dois ou mais elementos unidos em uma razão fixa.

Qual das opções a seguir estão CORRETAS?

a) I e IV

b) II e III

c) II e IV

d) II, III e IV

e) I, II, III e IV.

6. questão: (UEL – 1998) "O átomo contém um núcleo positivo, muito pequeno e denso, com todos os prótons, que concentra praticamente toda a massa. Os elétrons devem estar distribuídos em algum lugar do volume restante do átomo".

Esta afirmação é devida a

a) Rutherford

b) Millikan

c) Thomson

d) Bohr

e) Faraday

7. questão: O bombardeamento da folha de ouro com partículas alfa, no experimento de Rutherford, mostra que algumas dessas partículas sofrem desvio acentuado do seu trajeto, o que é devido ao fato de que as partículas alfa:

Chocam-se com as moléculas de ouro.

a) Têm carga negativa e são repelidas pelo núcleo.

b) São muito lentas e qualquer obstáculo as desvia.

c) Têm carga positiva e são repelidas pelo núcleo.

d) Não podem atravessar a lâmina de ouro.

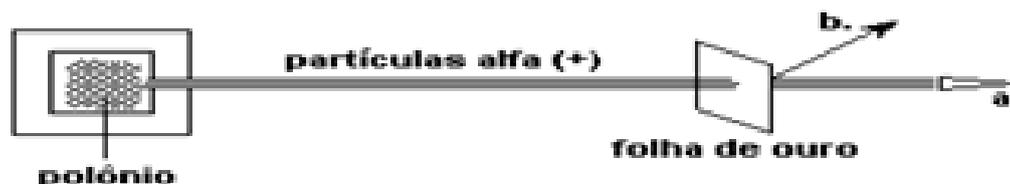
8 questão: (Pucmg 2007) Observe atentamente a representação a seguir sobre um experimento clássico realizado por Rutherford. Rutherford concluiu que:

a) o núcleo de um átomo é positivamente carregado.

b) os átomos de ouro são muito volumosos.

c) os elétrons em um átomo estão dentro do núcleo.

d) a maior parte do volume total um átomo é constituído de um espaço vazio.



9. questão: (Pucmg 2007) Assinale a afirmativa que descreve ADEQUADAMENTE a teoria atômica de Dalton. Toda matéria é constituída de átomos:

a) os quais são formados por partículas positivas e negativas.

- b) os quais são formados por um núcleo positivo e por elétrons que gravitam livremente em torno desse núcleo.
- c) os quais são formados por um núcleo positivo e por elétrons que gravitam em diferentes camadas eletrônicas.
- d) e todos os átomos de um mesmo elemento são idênticos.

10 questão: (UFJF-MG) Associe as afirmações a seus respectivos responsáveis:

- I- O átomo não é indivisível e a matéria possui propriedades elétricas (1897).
 - II- O átomo é uma esfera maciça (1808).
 - III- O átomo é formado por duas regiões denominadas núcleo e eletrosfera (1911).
-
- a) I - Dalton, II - Rutherford, III - Thomson.
 - b) I - Thomson, II - Dalton, III - Rutherford.
 - c) I - Dalton, II - Thomson, III - Rutherford.
 - d) I - Rutherford, II - Thomson, III - Dalton.
 - e) I - Thomson, II - Rutherford, III - Dalton.

APÊNDICE E – UMA PARTIDA DE ATOMOBOL

UMA PARTIDA DE ATOMOBOL

Aluno: _____ turma: _____

Você compreendeu a afirmação de que o átomo é mais vazio do que cheio?

Nesta atividade, você vai poder visualizar melhor as dimensões atômicas por meio da comparação com as medidas cotidianas.

- 1) Observe a tabela a seguir com as dimensões de um átomo:

Raio do núcleo	10^{-15}m
Raio do átomo	10^{-10}m

- 2) Considere que você vai construir um “joguinho” de futebol de botão em que o núcleo do átomo corresponda a uma bolinha de gude (0,01 m de raio). Nessa representação, qual deve ser o tamanho do campo de “atomobol”, que corresponde ao tamanho do átomo inteiro? (basta usar uma regra de três)
- 3) É possível desenhar o modelo atômico em escala numa folha de papel, de forma que possamos ver o núcleo e os elétrons? Explique.

APÊNDICE F – BRINCANDO COM CARGAS ELÉTRICAS

BRINCANDO COM CARGA ELÉTRICAS:

Nome: _____ Turma: _____

A propriedade da matéria que permitiu Thomson desenvolver seu modelo para a estrutura da matéria é a carga elétrica.

Nesta atividade, você terá a oportunidade de verificar a existência de carga elétrica e refletir sobre o modelo atômico de Thomson.

Você vai precisar de:

- Uma régua
- Uma flanela
- Pedacinhos bem pequenos de papel ou bolinha bem pequenas de isopor.

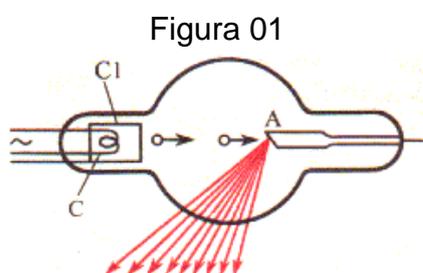
Procedimentos:

- Espalhe os pequenos pedaços de papel (ou isopor) sobre a superfície da mesa.
- Esfregue a flanela na régua plástica
- Aproxime a régua dos pedacinhos de papel e observe o que acontece
- Aproxime a flanela dos pedacinhos de papel e observe o que acontece.

APÊNDICE G – TEXTO: VENDO ATRAVÉS DA PELE – A DESCOBERTA DO RAIOS X

VENDO ATRAVÉS DA PELE: A DESCOBERTA DOS RAIOS-X

Há pouco mais de 100 anos atrás, não era possível o médico visualizar o interior do corpo humano sem ter que abri-lo e isso dificultava muito o diagnóstico de doenças e fraturas nos pacientes. Mas em 1895 uma grande descoberta revolucionou a humanidade, principalmente a física e a medicina, nesse ano eram descobertos os **raios X**. Mas como isso ocorreu?



Na noite de 8 de novembro de 1895 o físico holandês Wilhelm Conrad Röntgen (1845-1923), seguindo as tendências de sua época, estava fazendo mais uma experiência com descargas elétricas nos tubos de raios catódicos (figura 1), estudando o fenômeno da luminescência produzida pelos raios no tubo, quando notou que algo de diferente acontecia. Em sua sala de experiências totalmente às escuras, ele viu a folha de papel, usada como tela e tratada com uma substância química fluorescente (platinocianeto de bário), colocada a uma certa distância do tubo brilhar emitindo luz. Röntgen espantado, pode imaginar que alguma coisa devia ter atingido a tela para que ela reagisse dessa forma. Mas o tubo de raios catódicos estava coberto por uma cartolina negra e nenhuma luz ou nenhum raio catódico poderia ter escapado dali.

Surpreso e perplexo com o fenômeno, ele decidiu pesquisá-lo mais a fundo. Virou a tela, de modo a que o lado sem a substância fluorescente ficasse voltado para o tubo; mesmo assim, a tela continuava a brilhar. Ele então afastou a tela para mais longe e o brilho persistiu. Depois, colocou diversos objetos (uma camada de papelão, pedaços de madeira, um livro de 1000 páginas e até finas placas metálicas)

entre o tubo e a tela e todos pareceram transparentes. Quando sua mão escorregou em frente à válvula ele viu os ossos na tela (figura 2). Descobriu “um novo tipo de raio”, conforme ele mesmo explicou em sua primeira publicação.

Figura 2

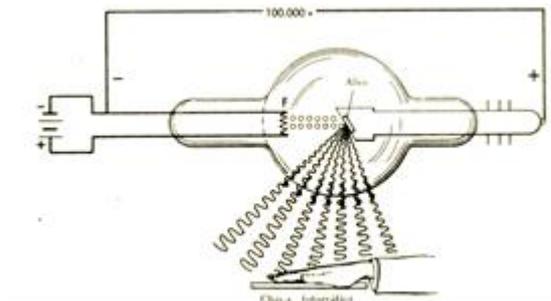


Röntgen havia ficado tão perplexo com sua descoberta, que teve que se convencer primeiro antes de falar com qualquer pessoa sobre sua descoberta do novo tipo de raio. Trabalhou sozinho durante sete semanas nessa tentativa, quando finalmente estava convencido, registrou sua descoberta (imagem da mão) em chapas fotográficas, e só então passou a ter certeza.

Em 1º de janeiro de 1896, ele distribuiu o relatório preliminar de sua descoberta, o que causou grande agitação, mas sua descoberta não podia ser refutada facilmente, pois havia fotografias dos raios X de suas mãos anexadas nele. No decorrer do mês, a notícia havia se espalhado por todo o mundo. Pode-se imaginar o deslumbramento em relação a esses raios aos quais tudo se tornava transparente e por meio dos quais todos podiam ver seus próprios ossos. Pode-se ver praticamente os dedos sem os músculos, mas com anéis, como se podia ver também uma bala alojada no corpo. As consequências para a medicina foram imediatamente percebidas. Imagine você nessa época, podendo ver os seus ossos, sem qualquer corte ou perfuração. Somente assim terá ideia da revolução causada com essa descoberta.

O trabalho de Röntgen sobre os raios X foi perfeito à luz do conhecimento existente em sua época. Mas ele, não conseguiu entender a natureza dos raios X, ou seja, ele não conseguiu comprovar que se tratava de uma radiação eletromagnética. No entanto, ele conseguiu mostrar que os raios podiam atravessar materiais sólidos,

podiam ionizar o ar, não sofriam reflexão no vidro e não eram desviados por campos magnéticos, mas não conseguiu observar os fenômenos da refração e da interferência normalmente associados a ondas (ondas eletromagnéticas, neste caso) por isso ficou o nome enigmático de raios X (X é o símbolo pra nomear o desconhecido)



Mais tarde sua natureza foi desvendada, mostrando que eles eram consequência da colisão dos raios catódicos com a parede do tubo e, por terem comprimento de onda muito pequeno, Röntgen não podia observar os fenômenos necessários para comprovar que os raios-X são ondas eletromagnéticas (radiação eletromagnética) de alta frequência.

Uma ilustração do equipamento de Röntgen é mostrado ao lado. Entre os catodos do tubo de vidro, os raios catódicos são inicialmente acelerados, com voltagem de até 100 kV (100.000 V) e, em seguida, são bruscamente freados (há uma colisão dos raios e o alvo). Por causa disso, ocorre uma emissão de radiação eletromagnética com um comprimento de onda muito pequeno (da ordem de 10^{-12} m), que corresponde a radiações de alta frequência. É assim que são produzidos os raios X.

As aplicações dos raios X são as mais diversas possíveis. Elas vão desde “simples” obtenção de chapas fotográficas (radiografias) para detectar uma fratura, uma inflamação e uma cárie até a determinação de uma certa porcentagem de uma substância em um composto, através da difração dos raios X, como é o caso da quantidade de carbono existente no aço.

Essa determinação é importante, pois permite que o aço fique mais maleável e conseqüentemente consegue-se produzir chapas mais finas. Atualmente, os raios X também são utilizados na área de segurança, como é o caso dos aeroportos. Com

eles, é possível “ver” dentro das malas e constatar se existem objetos metálicos e até mesmo se as pessoas carregam algum tipo de arma (figura 3). Sua utilização também pode ser vista na fronteira dos E.U.A com o México, onde a polícia o utiliza para vasculhar o interior dos veículos (figura 4).



Figura 3



Figura 4

Fonte: <http://nupic.incubadora.fapesp.br/portal>, acessado em 20/06/2019

APÊNDICE H – FOLDER: AS PARTÍCULAS ELEMENTARES

DO QUE SÃO FEITAS
TODAS AS COISAS?



PARTÍCULAS ELEMENTARES

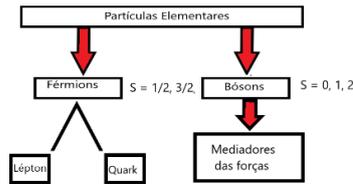
São partículas de matéria ou radiação que não podem ser divididas em partes menores e que são governadas por forças fundamentais.

Estão sintetizadas no modelo padrão.

Modelo padrão de partículas elementares

	Férmions			Bósons
massa →	2.4 MeV/c ²	1.27 GeV/c ²	171.2 GeV/c ²	0
carga →	2/3	2/3	2/3	0
spin →	1/2	1/2	1/2	0
nome →	u up	c charm	t top	γ fóton
	d down	s strange	b bottom	g gluon
	v _e neutrino elétron	v _μ neutrino múon	v _τ neutrino tau	Z ⁰ Z bóson
	e elétron	μ múon	τ tau	W [±] W bóson
	I	II	III	

Traço geracional de matéria (férmions)



LÉPTONS

ELÉTRON



- Primeira partícula elementar a ser descoberta.
- Descoberta por J. J. Thomson em 1897
- Quebrou a ideia que o átomo é indivisível
- Lépton

MÚON



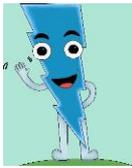
- Quarta partícula elementar a ser descoberta
- Lépton
- Massa 207 vezes maior que a do elétron
- Partícula instável
- Vida média: 2.10⁻⁶ s

TAU

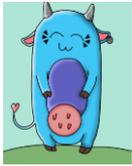


- Faz parte da terceira geração de léptons
- Descoberto em 1975
- É o lépton mais pesado
- Sua massa é cerca de 3500 vezes maior que a do elétron

NEUTRINOS



- Partícula leve e neutra
- Raramente interage com a matéria
- Muito difícil de detectar
- São chamadas de partículas mensageiras



QUARKS

UP E DOWN



- Quarks
- Responsável pela formação de toda matéria comum
- Nunca foram observados livremente
- Só existem em estados ligados formando as partículas



CHARME



- Foi o quarto quark a ser proposto
- Foi observado em 1974
- Partícula pesada e lenta
- Só aparece em aceleradores de partículas

ESTRANHO



- São produzidas aos pares
- É um quark
- São produzidos pela força forte
- Existiu apenas nos primórdios da criação do Universo

BOTTON



- Quinto quark a ser descoberto
- Só aparece em aceleradores de partículas
- Tem duração de apenas um milionésimo de segundo

TOP



- Último quark a ser descoberto
- Só existiu em condições naturais na época do big bang
- São recriados em aceleradores de partículas que atinjam altas energias
- Tempo de vida pequeno e é o mais pesado de todos os quarks

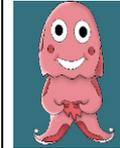
BÓSONS

FÓTON



- Segunda partícula elementar a ser descoberta
- Não possui massa
- Bóson
- Partícula mediadora da força eletromagnética

GLÚON



- Bóson
- Responsável por mediar a força forte

Z, W+, W-



- Bóson
- Responsáveis por intermediar a força fraca

HIGGS



- Última partícula elementar a ser encontrada
- Conhecida como "Partícula de Deus"
- Bóson

APÊNDICE I – MODO DE JOGAR

JOGO: DO QUE SÃO FEITAS TODAS AS COISAS?

O jogo consiste em familiarizar os alunos com os nomes das partículas elementares.

O jogo consiste em 60 cartas, sendo:

- 16 cartas de partículas elementares
- 43 cartas de propriedades das partículas
- 1 coringa – prêmio Nobel de física

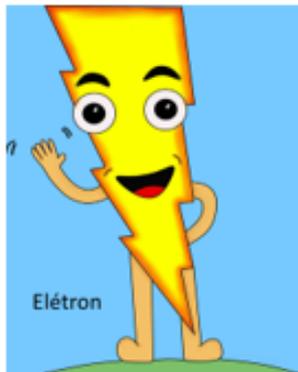
Modo de jogar: (2 a 4 pessoas)

- Cada baralho dá para jogar até 4 pessoas, se forem jogar mais pessoas precisa usar dois baralhos.
- Cada participante recebe 9 cartas e precisa formar 3 trios, sendo que cada trio deve conter 1 partícula (desenho da partícula) e 2 propriedades dessa partícula, por exemplo:
Partícula: Fóton
Propriedades: Bóson, responsável por intermediar a força eletromagnética
- As cartas que não foram distribuídas no início do jogo ficam viradas de cabeça para baixo para poderem ser compradas.
- A cada rodada o participante compra 1 carta do monte de cartas viradas para baixo ou 1 carta do monte de descarte (que são as cartas descartadas que ficam de cabeça para cima, lembrando que o jogador só pode comprar a última carta que foi descartada) e descarta 1 carta, de tal forma que ele sempre tenha 9 cartas na mão.
- A carta coringa é o prêmio Nobel de física, sendo que ela pode substituir qualquer carta das propriedades das partículas.

Vencedor:

- Será o vencedor da partida o participante que formar os três pares primeiro, porém se algum par estiver errado, o jogador recebe como penalidade não poder comprar do monte de descarte até o final da partida.

APÊNDICE J – CARTAS DO BARALHO



Quebrou a ideia que o átomo é indivisível

Lépton



Bóson

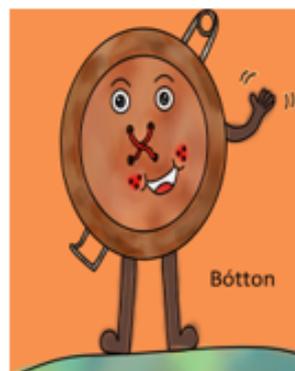
Responsável por mediar a força forte



Bóson

Conhecida como partícula de Deus

Última partícula elementar a ser encontrada



Tem duração de apenas um milionésimo de segundo

Só aparece em aceleradores de partículas

Quark



Quark

Só aparece em aceleradores de partículas



Quark



Nunca foram observados livremente

Quark

Existiu apenas nos primórdios da criação do Universo



Bóson

Não possui massa

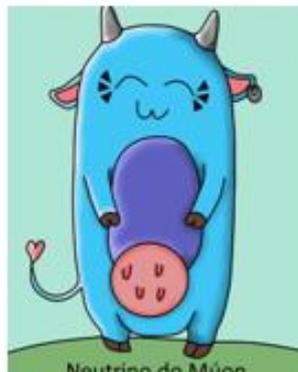
Partícula mediadora da força eletromagnética



Partícula leve e neutra

Raramente interage com a matéria

São chamadas de partículas mensageiras



Partícula leve e neutra

Raramente interage com a matéria

São chamadas de partículas mensageiras



Lépton

Massa 207
vezes maior
que a do
elétron



Partícula
leve e
neutra

Raramente
interage
com a
matéria

São chamadas
de partículas
mensageiras



Lépton

É o lépton
mais
pesado

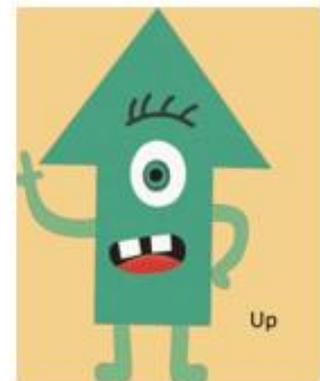
Sua massa é
cerca de 3500
vezes maior
que a do
elétron



Último quark
a ser
descoberto
em 1995

São recriados
em
aceleradores
de partículas
que atinjam
altas
energias

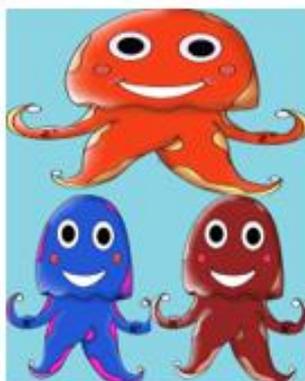
É o mais
pesado
de todos
os quarks



Quark

Nunca
foram
observados
livremente

Um dos
Responsáveis
pela
formação de
toda matéria
comum



Bóson

Responsáveis
por
intermediar
a força fraca

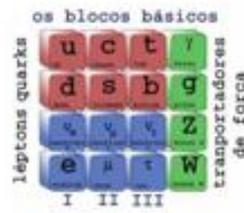


Quark

Lépton

PARTE
DETRÁS
DAS
CARTAS

DO QUE SÃO FEITAS
TODAS AS COISAS?



APÊNDICE L – TESTE FINAL



TESTE FINAL

Nome: _____

Turma: _____

Questão 1: Quais os menores constituintes da matéria?

- a) Átomos
- b) Prótons
- c) Nêutrons
- d) Partículas elementares

Questão 2: O que é uma partícula elementar?

Questão 3: Qual dessas partículas é elementar?

- a) Próton
- b) Átomo
- c) Nêutron
- d) Elétron

Questão 4: Qual dessas partículas não faz parte do modelo padrão?

- a) Fóton
- b) Múon
- c) Próton
- d) Charme

Por quê? _____

Questão 5: Quais são as partículas mediadoras das forças?

- a) Bósons
- b) Quarks
- c) Léptons

Questão 6: Relacione as colunas:

- | | |
|------------------------|--|
| a) Fóton | () Bóson responsável por dar massa as partículas |
| b) Glúon | () Bóson responsável por mediar a força fraca |
| c) W^+ , W^- , z | () Bóson responsável por mediar a força eletromagnética |
| d) Higgs | () Bóson responsável por mediar a força forte |

Questão 7: Qual dessas partículas quebrou a ideia que o átomo é indivisível?

- a) Fóton
- b) Elétron
- c) Top
- d) Up

Questão 8: Qual dessas partículas são chamadas de “partículas mensageiras”?

- a) Neutrinos
- b) Charme
- c) Glúon
- d) Higgs

Questão 9: Quais partículas são responsáveis pela formação de toda matéria comum?

- a) Up e múon
- b) Up e Down
- c) Estranho e Charme
- d) Down e Top

Questão 10: Qual dessas partículas não possui massa?

- a) Higgs
- b) Tau
- c) Estranho
- d) Fóton

Questão 11: Qual dessas partículas foi a última a ser encontrada e é conhecida como “partícula de Deus”?

- a) Higgs
- b) Tau
- c) Estranho
- d) Fóton

Questão 12: O que é o Large Hadron Collider (LHC) ou Grande Colisor de Hádrons?

- a) Um telescópio espacial.
- b) Uma nova teoria para explicar a origem do Universo.
- c) É um acelerador de partículas projetado para recriar as condições encontradas instantes após o Big Bang, localizado na Suíça
- d) Não sei.