

Física

**de Partículas
Elementares**
O Modelo Padrão

WILLIAN FERREIRA DE SOUSA

SUMÁRIO

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

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

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

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



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

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

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



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

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

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

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

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

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

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



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

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



DO QUE SEU CORPO É FEITO?

(Explique com suas palavras) _____



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

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

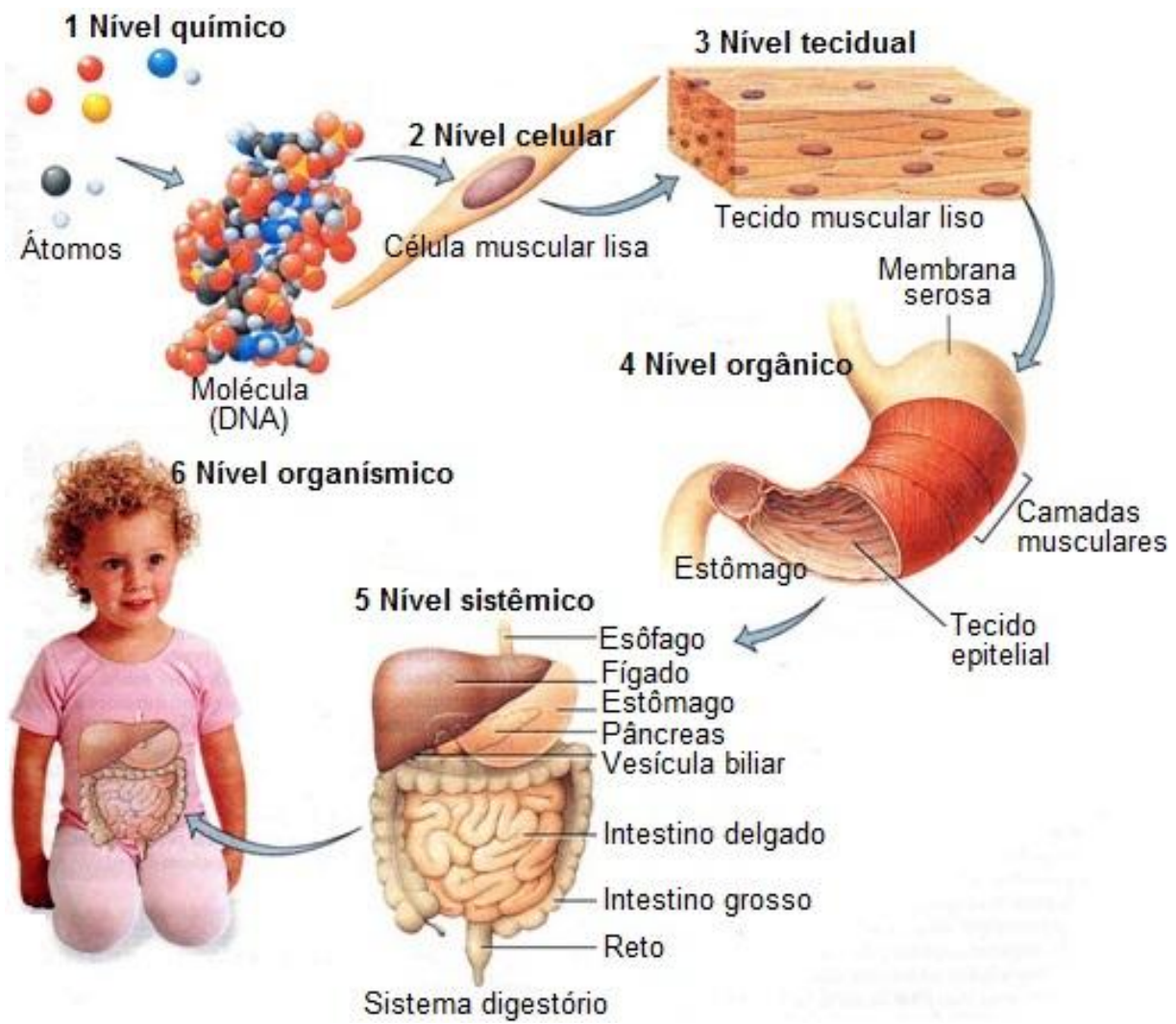
▣ **Nível Sistêmico:** Um sistema é constituído de órgãos relacionados de mesma funcionalidade.

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

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

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

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





MAS O QUE SÃO OS ÁTOMOS?

(Explique com suas palavras) _____

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

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

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

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

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

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



DO QUE SÃO FEITOS OS ÁTOMOS?

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Mas foi devido às experiências relacionadas ao eletromagnetismo que o

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

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

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

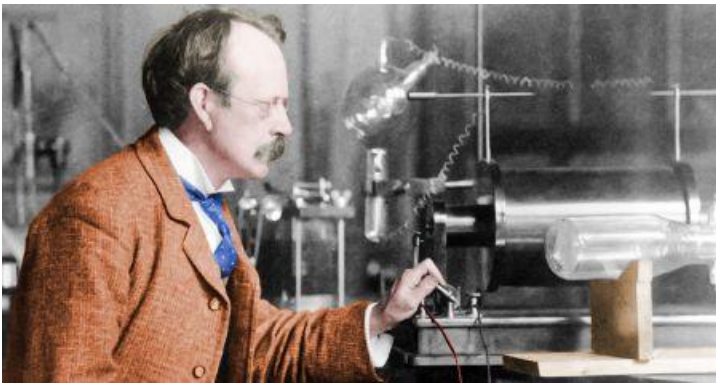
OS LÉPTONS



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

BOA VIAGEM NO TEMPO!

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

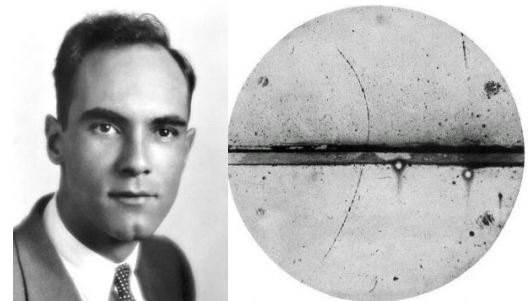


1897 – A primeira partícula elementar é descoberta por Joseph J. Thomson (à esquerda): o elétron.

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

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

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



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

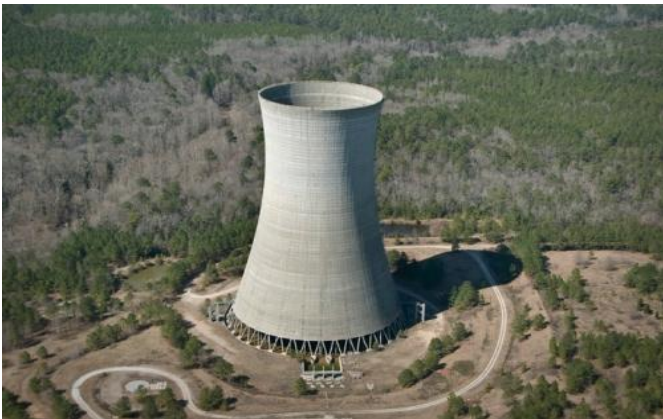
1936 – Carl D. Anderson recebe o prêmio Nobel pela descoberta do pósitron.

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

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

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

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



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

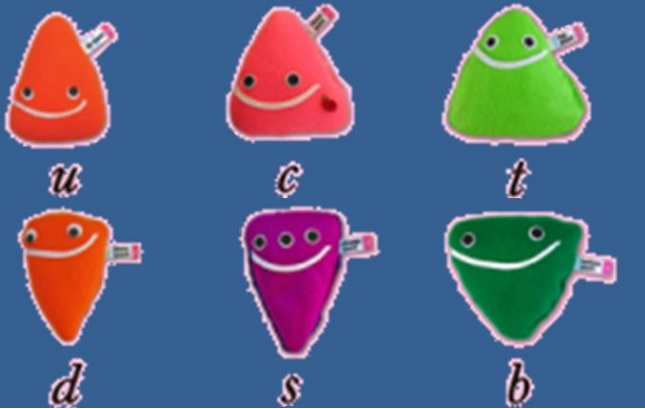
1988 – Leon M. Lederman, Melvin Schwartz e Jack Steinberger recebem o prêmio Nobel pela descoberta do neutrino muônico.

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

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

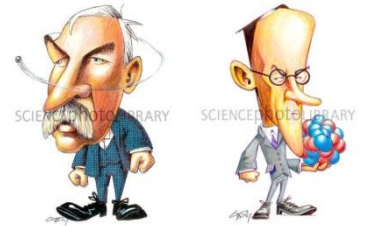


OS QUARKS



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

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



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

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

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

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

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

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

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

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



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

1976 – Burton Richter e Samuel Chao Chung Ting recebem

o prêmio Nobel pela descoberta do quark charm.

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



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



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

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

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

AS PARTÍCULAS MEDIADORAS



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

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

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

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

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

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

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

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

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

1979 – A existência do glúon foi confirmada.



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



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

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

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

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



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

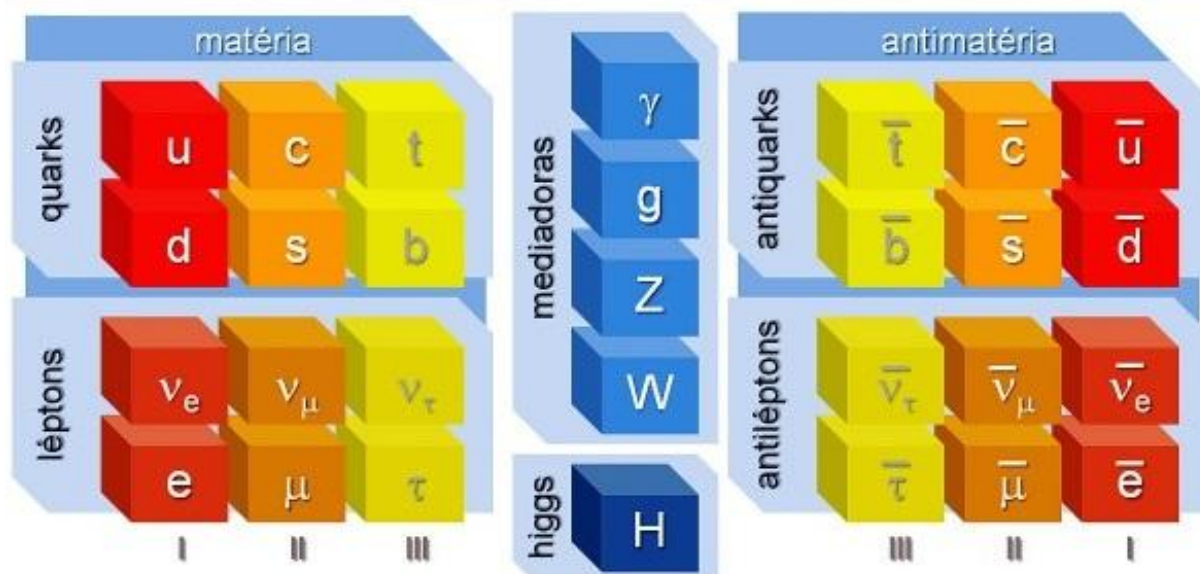
As partículas estudadas neste tópico (partículas mediadoras) formam o conjunto dos bósons (partículas com spin inteiro). Liste, abaixo, essas partículas.



COMO VOCÊ ORGANIZARIA AS PARTÍCULAS ESTUDADAS ATÉ AQUI?

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

O Modelo Padrão de Partículas Elementares



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

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

Tabela 1 – Férmions

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

Tabela 2 – Bósons

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

Exercícios Elementares

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

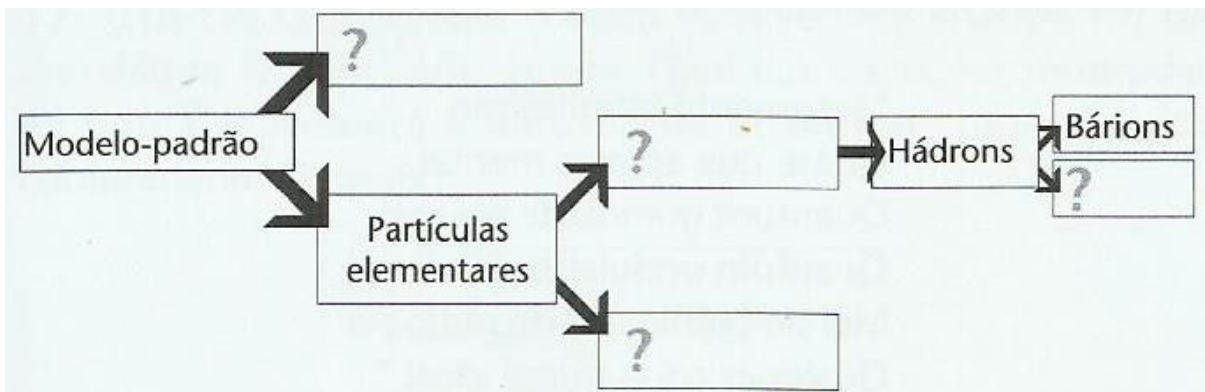
6. (OLIVEIRA; et. al., 2010, p. 495) De acordo com o estudo das partículas elementares, analise cada uma das afirmativas a seguir e identifique se ela é verdadeira ou falsa:

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

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

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

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



Fontes das imagens



Introdução

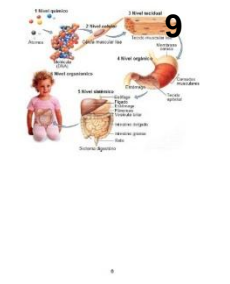
Nos primeiros 15 minutos de um curso de física, o professor geralmente apresenta a seguinte pergunta: "O que é física?" A resposta é simples: é a ciência que estuda a natureza e suas leis. A física é a base de todas as outras ciências e é essencial para entender o mundo ao nosso redor. Ela nos ajuda a compreender como o universo funciona e a desenvolver tecnologias que melhoram a nossa vida.

Na física, a natureza é estudada sob a forma de leis matemáticas e experimentais. A física é a base de todas as outras ciências e é essencial para entender o mundo ao nosso redor. Ela nos ajuda a compreender como o universo funciona e a desenvolver tecnologias que melhoram a nossa vida.

Este professor é do Departamento de Física Matemática da Universidade de São Paulo. Atualmente dedica-se à pesquisa em física teórica, com ênfase em gravitação e cosmologia. Ele também atua na área de ensino de física, desenvolvendo materiais didáticos e cursos de extensão para a comunidade acadêmica.

8 DO QUE SEU CORPO É FEITO?

O corpo humano é composto por aproximadamente 70% de água. Além disso, ele contém uma variedade de elementos químicos, incluindo carbono, hidrogênio, oxigênio, nitrogênio e cálcio. Esses elementos são essenciais para a formação e o funcionamento das células e dos tecidos do corpo. A compreensão da química do corpo humano é fundamental para a medicina e a biologia.



OS LEPTONS

Os léptons são partículas elementares que não participam da interação forte. Eles são classificados em léptons carregados (elétron, múon, tau) e léptons neutros (neutrinos). Os léptons são essenciais para a compreensão da física das partículas e da estrutura da matéria.

Os léptons são partículas elementares que não participam da interação forte. Eles são classificados em léptons carregados (elétron, múon, tau) e léptons neutros (neutrinos). Os léptons são essenciais para a compreensão da física das partículas e da estrutura da matéria.

OS QUARKS

Os quarks são partículas elementares que constituem a matéria. Eles são classificados em quarks superiores (up, down) e quarks inferiores (charm, strange, top, bottom). Os quarks são essenciais para a compreensão da física das partículas e da estrutura da matéria.

21

Os quarks são partículas elementares que constituem a matéria. Eles são classificados em quarks superiores (up, down) e quarks inferiores (charm, strange, top, bottom). Os quarks são essenciais para a compreensão da física das partículas e da estrutura da matéria.



AS PARTÍCULAS MEDIADORAS

As partículas mediadoras são responsáveis por transmitir as forças fundamentais da natureza. Elas são classificadas em bósons e férmions. As partículas mediadoras são essenciais para a compreensão da física das partículas e da estrutura da matéria.

O Modelo Padrão das Partículas Elementares

O Modelo Padrão das Partículas Elementares é a teoria que descreve a estrutura da matéria e as forças fundamentais da natureza. Ele é baseado na mecânica quântica e na relatividade especial. O Modelo Padrão é essencial para a compreensão da física das partículas e da estrutura da matéria.

28

O Modelo Padrão das Partículas Elementares é a teoria que descreve a estrutura da matéria e as forças fundamentais da natureza. Ele é baseado na mecânica quântica e na relatividade especial. O Modelo Padrão é essencial para a compreensão da física das partículas e da estrutura da matéria.

22

O Modelo Padrão das Partículas Elementares é a teoria que descreve a estrutura da matéria e as forças fundamentais da natureza. Ele é baseado na mecânica quântica e na relatividade especial. O Modelo Padrão é essencial para a compreensão da física das partículas e da estrutura da matéria.

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

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

Referências bibliográficas

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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