



PRODUTO PEDAGÓGICO EDUCACIONAL

O Modelo Padrão: um tratamento elementar

SUMÁRIO

PREFÁCIO	2
RESUMO	3
APRESENTAÇÃO	4
SEQUÊNCIA DIDÁTICA	6
BLOCO I	8
Atividade 01	8
Textos de Apoio para a Atividade dois (A02)	9
Texto 01: Método Científico	9
Texto 02: Modelos Atômicos.....	11
Atividade 02	23
Atividade 03	25
BLOCO II	26
Atividade 04	26
FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA E SUAS TECNOLOGIAS	27
MODELO PADRÃO	27
CROMODINÂMICA	30
FORÇAS DE INTERAÇÃO	31
A ORIGEM DA MASSA	35
ACELERADORES DE PARTÍCULAS	37
CONTEÚDO COMPLEMENTAR	46
TECNOLOGIAS	46
SETOR ECONÔMICO	49
Atividade 05	52
Atividade 06	53
Atividade 07	54
Atividade 08	55
Atividade 09	57
Atividade 10	58
SUGESTÃO DE VÍDEOS	59
QUESTIONÁRIO AVALIATIVO	62
BIBLIOGRAFIA	63

PREFÁCIO

No ano de 2014 fiz a inscrição no processo seletivo do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF) da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar). O processo seletivo foi em duas fases: a primeira constituída por uma prova objetiva; a segunda, por apresentação de um projeto e entrevista com alguns professores da UFSCar. Eu tinha dois projetos escritos, um tratava sobre a História da Ciência e o outro sobre o Modelo Padrão, ambos para o ensino médio. Senti mais confiante em apresentar o primeiro, pois eu, ainda, teria que passar pela entrevista. Mas não tenho como negar que a minha preferência era pelo segundo projeto, ou seja, o Modelo Padrão, porém, algumas dúvidas sobre como elaborar um Produto Pedagógico Educacional (PPE) sobre esse assunto fizeram com que eu o deixasse em segundo plano. Encerradas essas etapas, em meados do mesmo ano iniciei o mestrado. Estava gostando das matérias, porém, havia uma insatisfação com os rumos que a minha dissertação havia tomado, estava bem diferente da forma de como eu gostaria que fosse. Diante disso, surgiu a vontade de não continuar com o mesmo projeto, sabia que não ficaria satisfeito com o resultado final. Apesar desse entrave com a dissertação, parece que as coisas estavam caminhando a meu favor. Logo no início de 2015 recebi um *e-mail* de um amigo informando que as inscrições para participar da Escola de Professores de Física no CERN¹ em Língua Portuguesa 2015 estavam abertas, e logo fiz a minha inscrição. O resultado do processo seletivo para o CERN não poderia ter sido melhor: entre os vinte professores selecionados, lá estava eu. O curso teve duração de, aproximadamente, nove dias: dois em Portugal e sete na Suíça. Assim, tive a oportunidade de conhecer o Laboratório de Instrumentação e Física Experimental de Partículas (LIP) em Portugal e o Centro Europeu de Pesquisas Nucleares (CERN) na Suíça e, mais do que isso, no CERN, além das palestras e vídeos sobre o Modelo Padrão, tecnologias e diversos outros assuntos, participei de oficinas pedagógicas, o que me abriu caminhos de como deveria abordar o Modelo Padrão no ensino médio. Diante dessas maravilhas, não tive mais dúvidas, o meu PPE tinha que ser sobre o Modelo Padrão. Quando retornei ao Brasil, troquei não só de projeto, mas também, de orientador, pois o foco agora era em outra área. Então, apresentei a proposta ao professor doutor Sérgio Dias Campos, o qual abraçou prontamente o projeto, tornou-se o meu orientador e me deu uma grande apoio para escrever a dissertação e elaborar o PPE que apresento logo na sequência. Fiquei muito satisfeito com as mudanças ocorridas e com os resultados obtidos.

¹ Processo seletivo feito pela Sociedade Brasileira de Física (SBF).
<http://www.sbfisica.org.br>

RESUMO

Devido à importância do ensino da Física Moderna e Contemporânea (FMC) na educação básica, principalmente no ensino médio, e das tecnologias desenvolvidas a partir do fim do século XIX, bem como as suas aplicabilidades, com este PPE, contribuimos com uma importante área de estudo da FMC: o Modelo Padrão. Para melhor compreensão desse tópico, na aplicação deste PPE adotamos metodologias variadas, como jogo lúdico, atividade prática, visitas técnicas (física e virtual), vídeos, entre outros. Com essas metodologias pretendemos proporcionar aos alunos a compreensão das características das partículas elementares constituintes da matéria, das forças de interação, da necessidade da construção de aceleradores de partículas e das tecnologias envolvidas em suas construções que, direta ou indiretamente, contribuem com tecnologias voltadas para a sociedade em diferentes áreas do conhecimento, como: comunicações, médicas, alimentícias, segurança, entre outras. Inicialmente, fizemos uma recorrência histórica sobre a constituição da matéria, começando com os pensamentos de Demócrito e Aristóteles até chegarmos ao início do século XIX de nossa era. Sequencialmente, abordamos os modelos atômicos de Dalton, Thomson, Rutherford, Bohr e Sommerfeld. Finalizamos a parte teórica deste PPE com a sobre o Modelo Padrão e um material complementar, o qual aborda as tecnologias e os impactos que a FMC causa na economia dos países. Para a aplicação deste PPE, adotamos o referencial teórico defendido por David Ausubel, o qual defende a Aprendizagem Significativa, sendo esta de fundamental importância para o desenvolvimento cognitivo do aluno.

Palavras-chave: Física Moderna e Contemporânea, aprendizagem significativa, Modelo Padrão.

APRESENTAÇÃO

Este material contém o PPE da dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) no Curso de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF). Com o objetivo de contribuir com o ensino da FMC no ensino médio, este material aborda assuntos sobre o estudo do Modelo Padrão, de algumas tecnologias que envolvem a FMC, bem como o impacto econômico que elas provocam no Produto Interno Bruto (PIB) dos países. Além de listas de exercícios, vídeos, atividade prática e jogos lúdicos (físico e virtual), apresentamos, também, a sequência didática adotada para a aplicação deste PPE para que ela possa nortear os professores que venham aplicá-lo em sala de aula. O material teórico aqui apresentado nos fornece condição para aplicar este PPE, no entanto, se o professor preferir aprofundar um pouco mais o assunto, ele encontrará material mais amplo sobre a teoria do Modelo Padrão e sobre o referencial teórico no corpo da dissertação do mestrado², porém, esse material não é exclusivo, assim, os professores podem utilizar materiais que melhor se identifiquem. Com a sequência didática apresentada, não queremos engessar o trabalho do professor, mas sim, fornecer condições para ele nortear o seu trabalho, se necessário.

Este PPE é formado por dois blocos, os quais estão distribuídos em vinte aulas: cinco para o Bloco I e quinze para o Bloco II. O primeiro trata de uma revisão sobre os modelos atômicos, notação científica, formação de hipóteses e construção de teorias. O segundo aborda os assuntos relativos ao Modelo Padrão, algumas tecnologias relacionadas à FMC e os impactos econômicos que elas causam, ou seja, o Bloco II é a parte fundamental deste PPE. Assim, se os alunos em que o professor for aplicar este PPE tiverem bom desempenho em Física, o professor poderá fazer uso apenas do Bloco II. Outra forma de trabalhar somente com o segundo bloco, é trabalhar juntamente com os professores de Química e Matemática. O primeiro pode abordar os modelos atômicos, e o professor de Matemática pode trabalhar com notação científica. Para o professor obter melhor resultados com aplicação deste

² No site <https://sites.google.com/site/fisicacientec/> encontram este PPE, indicação de diversos vídeos, a dissertação de mestrado e muitas outras informações sobre ciência e tecnologia.

PPE, sugerimos que ele seja aplicado para os alunos dos terceiros anos do ensino médio e no terceiro ou quarto bimestre. Neste estágio, os alunos já terão estudado os conceitos de cargas elétricas, força de atração ou repulsão, ondas eletromagnéticas, fóton, entre outros assuntos que servirão de conhecimento prévio para o estudo do Modelo Padrão. Com relação ao conhecimento prévio, a atividade um (A01) e a atividade quatro (A04) dos Blocos I e II, respectivamente, têm o objetivo de fazer o levantamento prévio dos conhecimentos dos alunos, pois serão estes conhecimentos que darão subsídios para o professor elaborar os seus Planos de Aula. Conforme a Teoria da Aprendizagem Significativa de David Paul Ausubel, o fator isolado que mais influencia na aprendizagem é aquilo que o aluno já sabe (MOREIRA, 2011), ou seja, o conhecimento prévio do aluno.

SEQUÊNCIA DIDÁTICA

BLOCO I

AULA	DESCRIÇÃO	ATIVIDADE
1	Levantamento dos conhecimentos prévios sobre a estrutura da matéria e formação dos grupos.	●Atividade 1: Questões para auxiliar no levantamento prévio.
2	Aula expositiva sobre os modelos atômicos. Leitura de texto, em grupo, sobre os modelos atômicos.	●Texto de Apoio: textos obtidos em pesquisas realizadas pelos alunos;
3		●Atividade 2: Exercícios sobre hipótese, teoria e modelos atômicos. ●Construção de Mapa Conceitual.
4	Aula expositiva sobre notação científica: conceitos, representação, multiplicação, divisão e estudo dos prefixos. Exemplos e exercícios em sala de aula.	●Atividade 3: Exercícios sobre representação de números em NC, multiplicação, divisão e uso dos prefixos gregos.
5		●Vídeo: quem você pensa que é?

BLOCO II

AULA	DESCRIÇÃO	ATIVIDADE
6	Abordagem e levantamento dos conhecimentos prévios sobre a Física Moderna e Contemporânea.	<ul style="list-style-type: none"> ●Atividade 4: Questões para auxiliar no levantamento prévio.
7	Aula expositiva sobre a Física das Partículas e suas Interações: partículas elementares, antipartículas, léptons, hádrons, bárions, mésons, bósons, férmions, partículas de interação, etc	<ul style="list-style-type: none"> ●Vídeo: o discreto charme das partículas elementares.
8		<ul style="list-style-type: none"> ●Atividade 5: Relatório sobre o vídeo
9		<ul style="list-style-type: none"> ●Jogo de Cartas Bárions e Léptons;
10		<ul style="list-style-type: none"> ●Atividade 6: Responder às questões que estão no quadro do jogo de cartas.
11		<ul style="list-style-type: none"> ● Jogo Virtual SPRACE.
12		<ul style="list-style-type: none"> ●Atividade 7: Relatório sobre o jogo;
13		<ul style="list-style-type: none"> ●Atividade 8: Mão-na-Massa. ●Construção de Mapa Conceitual.
14	Conhecendo um acelerador de partícula. Um vídeo sobre o CERN, outro sobre uma paródia do LHC e uma visita técnica ao Instituto de Física da USP para conhecer o Pélletron e visitar o laboratório de Física Moderna.	<ul style="list-style-type: none"> ●Vídeos: CERN em 10" É preciso um LHC
15		<ul style="list-style-type: none"> ●Visita ao IFUSP
16	Investigação "científica". Conhecer um pouco sobre os métodos científicos, ou seja, caminhos adotados pelos cientistas para desenvolverem pesquisas.	<ul style="list-style-type: none"> ●Atividade 9: "As pegadas";
17		<ul style="list-style-type: none"> ●Atividade 10: Vídeo Espaço Sideral.
18	Tecnologias que envolvem Física Moderna e Contemporânea.	<ul style="list-style-type: none"> ●Vídeos a-) Visões do Futuro – a nanotecnologia; b-) How does protontherapy work?
19		<ul style="list-style-type: none"> c-) Para que Serve um Acelerador de Partículas? ● Discussão em sala de aula sobre os vídeos
20	Encerramento: Análise reflexiva sobre os conteúdos abordados. Os alunos fornecerão notas de 1 a 10 em todas as atividades desenvolvidas no trimestre.	<ul style="list-style-type: none"> Questionário avaliativo.

BLOCO I

Atividade 01

Objetivo: fazer o levantamento prévio do conhecimento dos alunos sobre teorias, hipóteses e modelos, principalmente os modelos atômicos.

01) Explique, com as suas palavras, a diferença de cada um dos termos abaixo e dê um exemplo.

Hipótese:

Teoria:

02) Descreva o que você entende por modelo.

03) Você conhece algum modelo que não seja o modelo atômico? Se conhecer, explique o que ele representa.

04) Cite os nomes dos modelos atômicos que você conhece e descreva as diferenças entre dois deles.

05) Como podemos concluir que um átomo é neutro se ele é constituído por cargas elétricas positivas e negativas?

Textos de Apoio para a Atividade dois (A02)

Texto 01: Método Científico

É fato que não temos como precisar quando o homem começou a buscar o conhecimento, mas tudo nos leva a crer que está longe de ter fim. Porém, calcado nos acúmulos de nossas experiências, concluímos que essa busca se iniciou logo após o surgimento de um problema, seja ele científico ou não. No que se refere à ciência, em que os cientistas têm um compromisso com a verdade, podemos dizer que a busca pelo conhecimento, utilizando-se de métodos e/ou técnicas diferentes, pode ser chamada de investigação científica.

Por definição, temos que método é um conjunto de regras que uma pessoa deve seguir para alcançar um determinado objetivo: chegar a algum lugar, concluir um curso, fazer uma investigação, etc. Porém, as primeiras ideias de método científico remontam ao século XIII, com Roger Bacon (1220 - 1292), o primeiro a defender a experimentação como forma de conhecimento, mas o marco deste método se deu com a obra *Discurso do Método*, de René Descartes (1596 – 1650), na qual encontramos os seus fundamentos. Assim, podemos dizer que o método científico é uma forma de investigação da ciência, é um procedimento que busca conhecer e interpretar a realidade.

Saiz (2011) acrescenta que neste método não se levam em consideração superstições ou sentimentos religiosos, conforme defendido também por Costa (2001), mas sim a lógica e a observação sistemática dos fenômenos estudados.

Quanto ao conhecimento, o autor Costa (2001) o classifica em quatro tipos: filosófico, teológico, empírico e científico.

O conhecimento filosófico diz respeito ao saber e ao amor pelo conhecimento. Etimologicamente, filosofia significa amor à sabedoria. O conhecimento teológico é o saber que vem pela revelação. Depende fundamentalmente da crença e da fé. O conhecimento empírico é aquele que resulta da prática, da experiência, e é mantido pela tradição. O conhecimento científico é aquele produzido segundo as regras do método científico. É o conhecimento baseado na realidade, sendo testável, reprodutível e fortemente determinista (COSTA, 2001, p. 8-10).

Outros assuntos que estão intrinsicamente ligados ao conhecimento científico são as hipóteses, os modelos e as teorias. A partir de observações de um fenômeno, os cientistas dão respostas primárias com o intuito de explicá-lo. Estas respostas primárias, sendo elas verdadeiras ou não, recebem o nome de hipóteses, as quais devem ser testadas para verificar as suas veracidades. Para GIL (2002, p.31), hipótese é uma “tentativa de oferecer uma solução possível mediante uma proposição, ou seja, uma expressão verbal suscetível de ser declarada verdadeira ou falsa.”

No que se refere ao modelo científico, podemos dizer que é uma forma de representação do conhecimento, podendo sofrer modificações à medida que novas descobertas são feitas, e a sua finalidade é dar forma estrutural ao conhecimento para melhor compreensão. Para Jung (2003, p. 32), os modelos científicos são “*formulados a partir de observações, percepções e interpretações do pesquisador acerca de dados coletados cientificamente.*” O autor, ainda, faz referênica ao modelo científico como:

- uma representação lógica, um conjunto de mecanismos virtuais que permite a representação de um fenômeno;
- pode ser avaliado segundo a sua semelhança com o sistema físico real;
- a validade do modelo consiste em efetivamente descrever aquilo que se propõe a descrever e, depende do seu grau de precisão;
- os modelos são utilizados para representar os conhecimentos científicos obtidos através da experimentação ou observação dos fenômenos da natureza... (JUNG, 2003, p. 32 e 33).

Esta forma de representação do conhecimento já vem sendo adotada há séculos, nas diversas áreas do conhecimento, como a Biologia, Física, Química, Geografia, entre outras.

Quanto a teoria, esta palavra muitas vezes nos leva logo a imaginar a ausência da prática, mas, no meio científico, essa imaginação não se concretiza, porque a teoria científica é criada calcada em confirmações de hipóteses que são confirmadas pela observação e/ou pela experimentação, ou seja, a teoria está intrinsecamente ligada à prática. Para Costa (2001, p. 36), teoria científica é “o conjunto de descrições de um fenômeno particular, associado a explicações, mais as hipóteses que tenham resistido aos testes.” Para Jung (2003), as teorias científicas são superiores aos modelos científicos, pois elas, além de permitirem previsões acerca de um dado conhecimento,

permitem, também, a identificação de eventuais ações de controle, ou seja, elas estabelecem relações entre aspectos não diretamente observáveis.

Texto 02: Modelos Atômicos

É possível afirmar que tudo que sabemos hoje sobre a natureza é fruto dos esforços de muitas pessoas, remontando desde a antiguidade. Conforme cita Cruz (2005), o homem sempre buscou compreender os fenômenos e os mistérios do mundo à sua volta, e essa busca constitui-se numa longa odisséia, em que muitos se empenham, até lhe dedicando a vida inteira.

Como ponto de partida para os estudos da constituição da matéria, partimos de duas teorias filosóficas: a atomística e a dos quatro elementos. A primeira surgiu com o pensador Leucipo (480 – 420 a.C.) e se fortaleceu com o seu contemporâneo Demócrito (460 – 370 a.C.). Nessa teoria, conforme Baeyer (1994), todos os objetos materiais consistem em minúsculos pedaços indivisíveis de matéria que se deslocam no vácuo. A palavra átomo vem do grego *a-tomos*, que significa “não-divisível.” Como os primeiros atomistas defendiam a ideia de que tudo na natureza era constituído de átomos e vazios, consideravam que até mesmo a alma era formada por átomos. Vemos, em Pires e Carvalho (2014), que os gregos acreditavam que todas as coisas eram constituídas de uma infinidade de pequenos átomos, os quais eram 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.

A segunda teoria sobre as partículas constituintes da matéria, defendida por Empédocles (495 – 430 a.C.), dizia que todas as coisas eram formadas por quatro elementos essenciais: fogo, água, terra e ar. Esses elementos eram imutáveis, mas poderiam se combinar sob a ação de duas forças, uma de atração e a outra de repulsão. O autor Rocha cita que “os quatro elementos eram a terra, o ar, o fogo e a água, e as duas forças eram por ele (Empédocles) poeticamente chamadas de “amor” e “ódio”, isto é, atração e repulsão.” (ROCHA et al, 2011, p.57) Entre outros pensadores que apoiaram essa teoria, podemos citar Aristóteles (384 – 322 a.C.). Para ele, os quatro

elementos defendidos por Empédocles poderiam se combinar dois a dois para formar as substâncias, e cada nova substância dependia da proporção dos elementos que era formada. Assim, substâncias diferentes poderiam ser formadas pelos mesmos elementos, mas em proporções diferentes.

A figura 01 ilustra os quatro elementos criados por Empédocles e as suas combinações, em partes iguais, formando as qualidades descritas por Aristóteles:



Figura 01. Os quatro elementos clássicos de Empédocles e as qualidades de Aristóteles.
Fonte: quimlab

Ainda sobre a constituição da matéria, Aristóteles foi mais adiante, ele introduziu um quinto elemento: o éter. Para ele, o éter era o constituinte da matéria supralunar, ou seja, tudo que houvesse após a lua seria feito de éter e, nesta região, somente os deuses podiam interferir. Por outro lado, na região sublunar, tudo era formado pela combinação dos quatro elementos.

Desta forma, temos que as principais diferenças entre essas duas teorias sobre a concepção da matéria são: I-) no atomismo, tudo, inclusive a alma, era constituído por partículas indivisíveis e imutáveis que se movimentavam no vazio. Essas partículas possuíam tamanhos e formas diferentes, ou seja, as suas propriedades eram geométricas. Não havia espaço para existência dos deuses, pois a criação das coisas era explicada pelas combinações dessas partículas para formarem o visível e o invisível. II-) Na teoria dos quatro elementos, o vazio não existia, tudo era formado por elementos visíveis ou que pudessem ser sentidos (água, terra, fogo e ar), mas

a alma, que não era matéria, era formada por ações divinas. O espaço supralunar era habitado por deuses, criadores de todas as coisas.

Modelo Atômico de Dalton

O primeiro modelo atômico foi proposto por Dalton em 1808. Ele defendia a ideia de que os átomos eram esféricos, mas possuíam massas e tamanhos diferentes para elementos diferentes. Quanto ao formato esférico, Dalton os diferenciou dos conceitos que os gregos tinham do átomo, pois os gregos consideravam que os átomos poderiam ter formas diversas, com ganchos e engates. Aliás, para os gregos, a única propriedade dos átomos era, justamente, a geométrica. A figura 02 representa as principais ideias do Modelo Atômico de Dalton:



Figura 02. Ilustração de três átomos diferentes: A, B e C. As cores são fantasiosas e os tamanhos estão fora de escala. A combinação desses átomos formaria substâncias simples ou compostas.
Fonte: Autor

Quanto às transformações químicas, Dalton afirmava que elas eram, simplesmente, combinações e/ou rearranjos dos átomos. O modelo atômico de Dalton conhecido como Bola de Bilhar foi muito bem aceito pelos cientistas, mas com algumas restrições, porque ele não conseguia explicar alguns fenômenos que já eram estudados na época, como a eletricidade, a radioatividade e os isótopos. Mesmo sem essas explicações, o seu modelo despertou interesse de outros cientistas para os estudos da Estrutura da Matéria.

Modelo Atômico de Thomson

Todo modelo pode sofrer alteração ou, simplesmente, ser substituído quando novas descobertas feitas venham a contribuir para a explicação de

fenômenos que até então não eram explicados. No final do século XIX, o cientista Joseph John Thomson (1856–1940), realizando experiências em tubos de raios catódicos³, fez novas descobertas a respeito do “indivisível”, as quais foram fundamentais para construção de um novo modelo atômico, conforme veremos abaixo. Thomson, em suas experiências, notou que quando o tubo estava evacuado e submetido à alta pressão, raios surgiam do catodo e iam no sentido do anodo, esses raios foram denominados de “raios catódicos”. Com equipamentos mais aprimorados, Thomson verificou experimentalmente que esses raios eram formados de partículas de natureza elétricas e de cargas negativas, pois elas desviavam sempre para o lado positivo da placa de um capacitor que Thomson colocara próximo ao tubo de raios catódicos. A essas partículas negativas, Thomson chamou-as de elétrons.

Das observações feitas com as experiências realizadas com o tubo de raios catódicos, até o final do século XIX os pesquisadores já haviam concluído, conforme encontramos em Martins, que os raios apresentavam as seguintes propriedades:

- se propagam e linha reta;
 - podem penetrar pequenas espessuras da matéria;
 - apresentam carga negativa;
 - são defletidos por um campo elétrico;
 - são defletidos por um campo magnético;
 - transportam considerável quantidade de energia cinética.
- (MARTINS, 2001, p. 22-23)

Esse resultado vinha de encontro ao modelo atômico até então existente, ou seja, o átomo agora passou a ser visto como matéria divisível e com cargas elétricas.

É importante citar, também, que o estudo dos raios catódicos não foi a única contribuição para melhor compreensão dos átomos. Por volta de 1886, Antonie Henri Becquerel (1852–1908), estudando as emanações naturais de alguns elementos instáveis, entre eles o urânio, percebeu que alguns elementos químicos emitiam, espontaneamente, raios com três características

³ Recipiente cilíndrico, alongado e fechado em suas extremidades, com medidas diferentes de suas áreas diametralmente opostas. O recipiente é transparente e evacuado. As duas extremidades do tubo são ligadas a uma rede de alta tensão. O polo negativo (catodo) e o polo positivo (anodo) são conectados às áreas menor e maior do tubo, respectivamente.

diferentes. Essa constatação foi feita quando Becquerel submeteu uma massa de urânio a um campo magnético e percebeu que os raios seguiam três caminhos distintos.

A figura 03 representa a experiência desenvolvida por Becquerel quando adotou uma massa de urânio na presença de um campo magnético.

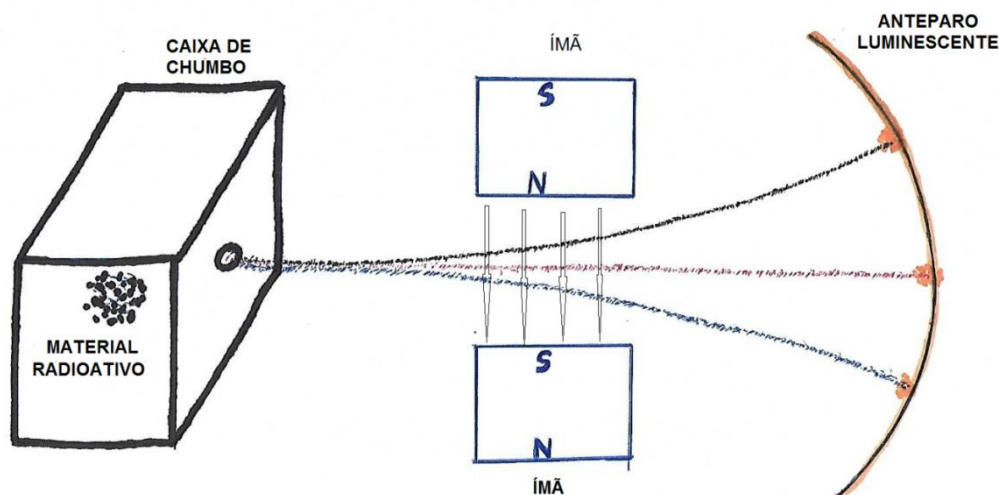


Figura 03. Ilustração do aparato da experiência de Becquerel. O material radioativo urânio, o qual se encontra dentro da caixa de chumbo, emite espontaneamente partículas que, ao passarem pelo orifício da caixa em direção ao campo magnético, seguem três caminhos distintos: algumas partículas são atraídas no sentido do polo norte do ímã, outras no sentido do polo sul, e outras não sofrem efeito do campo magnético. A seta indica o sentido do campo magnético. É importante observar que as linhas que indicam os “raios” não são observáveis, elas estão apenas representando as possíveis das partículas emitidas pelo material radioativo.

Fonte: Autor

Outra contribuição importante à compreensão dos elementos radioativos foi dada por Marie Curie (1867-1934). Ela descobriu que outros elementos químicos como o rádio, o polônio e o tório também emanavam raios naturais, os quais foram nomeados de radiações.

Assim, J.J. Thomson, calcado em suas experiências com tubos de raios catódicos e nas de seus antecessores, em 1903 propôs um novo modelo atômico, o qual foi denominado de Pudim de Passas. Thomson propôs que o átomo era esférico, de carga elétrica positiva, e os elétrons, de carga elétrica negativa, estariam incrustados nessa esfera unidas pelas forças de atração de natureza elétrica. Essa definição, encontra-se melhor explicada em Pires e Carvalho (2014, p.15): “Thomson apoiou a ideia de um modelo atômico consistindo de uma esfera de carga positiva uniformemente distribuída, onde

os elétrons estavam embebidos como passas em um pudim.” A figura 04 ilustra o modelo atômico proposto por J.J. Thomson.

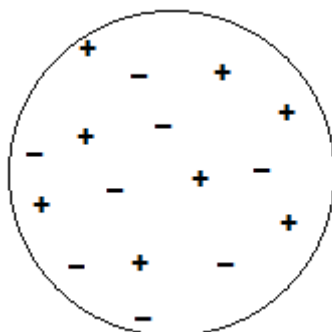


Figura 04. Modelo atômico proposto por J.J.Thomson. Átomo esférico carregado positivamente com cargas elétricas negativas incrustadas. Todas as cargas elétricas são distribuídas uniformemente, totalizando uma carga atômica neutra. Modelo conhecido como Pudim de Passas.
Fonte: Autor

Modelo Atômico de Rutherford

Ernest Rutherford (1871–1937) foi aluno de Thomson e liderava uma equipe de físicos que trabalhava há tempos com elementos radioativos. Ele e sua equipe constataram que a radioatividade natural que ocorre em alguns elementos químicos deve-se à emissão de núcleos atômicos, e o elemento fonte passa a ser outro elemento químico. Por volta de 1898, Rutherford, estudando os raios urânicos de Becquerel, concluiu que eles penetravam a matéria com intensidades diferentes e que eles sofriam a influência de campo elétrico. A radiação de menor penetração foi chamada por ele de raio alfa, e a outra de raio beta. Um ano mais tarde, Villard descobre uma terceira radiação, a qual recebeu o nome de gama. Esta, ao contrário das outras duas radiações, não sofria os efeitos do campo elétrico.

A figura 05 representa o poder das três radiações emitidas espontaneamente por elementos instáveis, conforme descrito na citação:

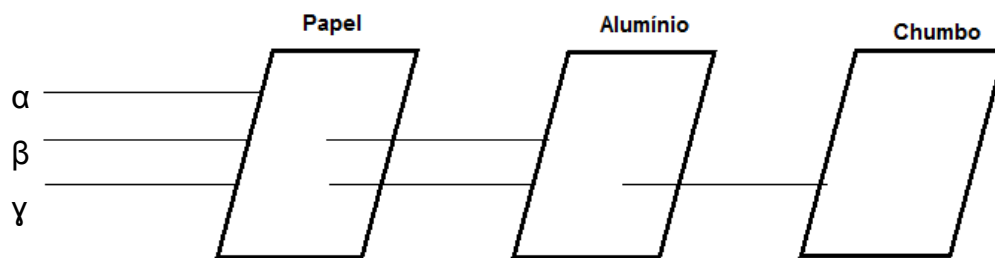


Figura 05. Ilustração do poder de penetração das partículas alfa (α), beta (β) e gama (γ). A primeira carregada positivamente e a segunda carregada negativamente, ambas sofrem influência de campo elétrico. A terceira não possui carga elétrica, sendo assim, invisível ao campo elétrico.

Fonte: Autor

Ele bombardeou com partículas alfa, as quais já se sabia, por meio da radioatividade, que eram partículas positivas, uma fina lâmina de ouro. Pelo modelo atômico de Thomson, as partículas alfa deveriam ser barradas, pois elas têm baixíssimo poder de penetração, porém não foi exatamente isso o observado. No aparato construído por Rutherford e sua equipe, conforme representado na figura abaixo, foi possível perceber que o caminho das partículas alfas, após passarem pelo espintariscópio⁴ (dispositivo inventado por Willian Crookes) descreviam três configurações diferentes para os caminhos percorridos pelas partículas.

A figura 06 representa o aparato construído por Rutherford para testar o modelo de Thomson.

⁴ **Espintariscópio** é um dispositivo que tem como função observar as desintegrações nucleares causadas pela interação de radiação ionizante.

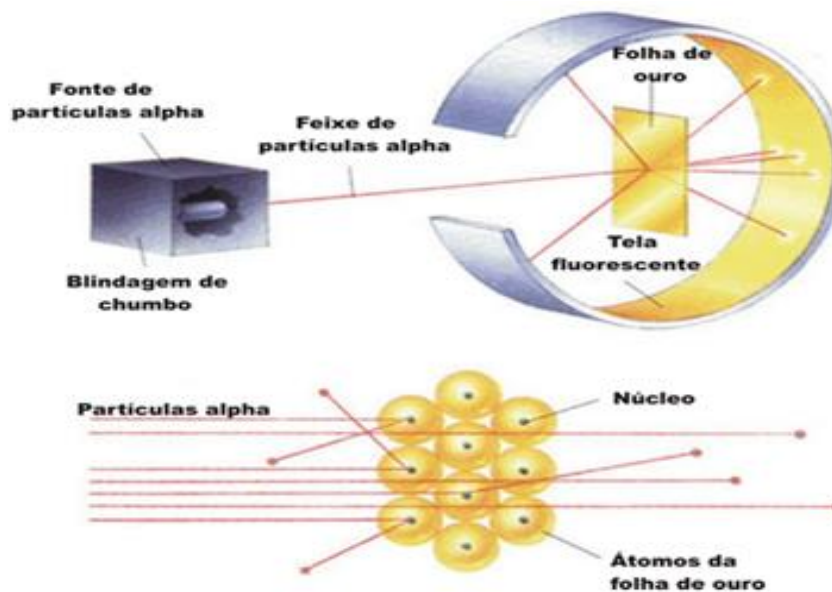


Figura 06. Uma amostra de polônio, fonte de partículas alfa, é colocada dentro de uma caixa de chumbo contendo um pequeno orifício. Uma lâmina de ouro é bombardeada pelas partículas alfa. Algumas atravessam a lâmina, outras sofrem pequenos desvios e outras são ricocheteadas. O espantador é o arco revestido por uma substância luminescente, a qual emite luz ao ser atingida pelas partículas alfa.

Fonte: blogspot.com.br

Os resultados obtidos nessas experiências surpreenderam Rutherford. Para justificar os resultados, ele fez as seguintes considerações: os átomos não poderiam ser constituídos de esferas maciças, a sua carga positiva deveria estar concentrada, e as cargas negativas deveriam ficar ao redor deste centro e entre as cargas positivas e negativas deveria existir um grande vazio. Assim, em 1911, Rutherford propôs um novo modelo atômico, no qual propunha que os átomos consistiam de um caroço com carga positiva - o núcleo - que continha quase toda a massa do átomo, cercado por uma nuvem de elétrons com carga negativa (PIRES e CARVALHO, 2014).

Outra diferença entre os modelos de Thomson e de Rutherford é que neste último os elétrons giram de forma circular em torno do núcleo, em uma região mais tarde denominada eletrosfera. Esse modelo ficou conhecido como Modelo Planetário.

Com o modelo atômico proposto por Rutherford, podemos dizer que foi dado início à Física Nuclear, ramo de grande importância na Física dos dias atuais.

Modelo Atômico de Bohr

O modelo atômico proposto por Rutherford explicava bem as observações dos resultados obtidos nas experimentações feitas por ele e sua equipe, mas o modelo planetário proposto por ele ainda deixava algumas perguntas sem respostas, entre as quais podemos citar:

I) Se os elétrons giram em torno do núcleo atômico, então ele estava sujeito à ação de uma aceleração, neste caso, aceleração centrípeta, mas isso vinha de encontro à teoria clássica do eletromagnetismo de James Clerk Maxwell (1831–1879), a qual dizia que cargas elétricas em movimento acelerado emitiam radiação. Assim, no movimento circular dos elétrons em torno do núcleo, eles estariam sob a ação de uma aceleração centrípeta. Desta forma, devido à perda de energia pelos elétrons por irradiação, eles deveriam descrever um movimento em espiral até colapsarem no núcleo atômico. No entanto, isso não ocorria e desde há muito tempo já se sabia que os átomos eram estáveis.

II) Outro fato, também, que não era explicado pelo modelo de Rutherford era com relação a atração ou repulsão eletrostática. No estudo das cargas elétricas, já era conhecido na época que cargas de sinais iguais se repeliam e que cargas de sinais opostos se atraíam. Assim, Rutherford não conseguia explicar por que as cargas elétricas negativas, ou seja, os elétrons, se mantinham afastadas do núcleo atômico que era formado por cargas elétricas positivas e, também, não explicava como os núcleos dos átomos conseguiam se manter unidos, já que são formados por cargas elétricas de sinais iguais, ou seja, prótons. Assim, mesmo que no modelo de Rutherford os elétrons estivessem parados, eles deveriam sofrer a ação de atração da Força Elétrica Coulombiana, tornando-se instáveis. Com relação ao núcleo, as cargas positivas deveriam sofrer uma Força Elétrica Coulombiana de repulsão.

III) Outra observação que o modelo de Rutherford não explicava estava relacionada aos espectros de emissão dos átomos. De acordo com o seu modelo, os espectros registrados deveriam ser contínuos; no entanto, as raias tinham uma configuração discreta. A espectroscopia já era estudada nessa época, principalmente por Balmer. Vale a pena citar que a espectroscopia para estudo de diferentes elementos químicos fora inventada logo no início do

século XIX, por Fraunhofer. Ele descobriu que todo elemento químico, quando em estado gasoso, emite luz, que pode ser decomposta em várias cores.

Foi para tentar explicar as dificuldades apresentadas pelo modelo de Rutherford que um novo modelo atômico surgiu, o qual foi proposto, em 1913, por Niels Henrick David Bohr (1885–1962). Bohr concordava com o modelo planetário proposto por Rutherford, porém precisaria fazer alguns ajustes. Assim, propôs que os elétrons giravam em órbitas circulares concêntricas e “pré-definidas”, as quais eram regidas pela mecânica clássica. Na órbita mais próxima do núcleo, estado mínimo de energia, conforme considerado por Bohr, o elétron estaria em seu estado fundamental. Para órbitas mais distantes do núcleo, o elétron não poderia “saltar” espontaneamente. Por outro lado, ele afirmava que nessas órbitas os elétrons não emitiam radiação eletromagnética, o que levava a uma contradição da teoria eletromagnética da época, mas foi desta forma que Bohr explicou a estabilidade do átomo. Porém, se de alguma forma fornecesse energia para o elétron até que ele atingisse camadas superiores, quando a energia cessasse, ele, espontaneamente, passaria para a camada de seu menor nível de energia. A passagem do elétron de um nível de energia para outro seria em saltos, como se fosse em uma escada, e não contínuo como se ele estivesse em uma esteira, e, na passagem do elétron de uma órbita superior para uma inferior, ele emitiria uma radiação eletromagnética, com valor discreto.

Assim, para salvar o Modelo Atômico Planetário, Bohr formulou os seguintes postulados:

- em uma órbita estacionária, o elétron não perde energia;
- quando um elétron de uma órbita **a** decai para uma órbita **b**, a energia associada ao decaimento é dada pela diferença de energia entre as duas órbitas ($E_a - E_b = hu$), onde h é a constante de Planck e ν é a frequência (ABDALLA, 2006, p. 55)

Com o primeiro postulado, Bohr “explica” a estabilidade do átomo e com o segundo, ele explica as linhas espectrais discretas registradas nos espectrômetros.

Modelo Atômico de Sommerfeld

O modelo atômico proposto por Bohr, em 1913, descrevia satisfatoriamente o átomo de hidrogênio, o qual possui apenas um próton no núcleo e um elétron girando ao seu redor. Porém, para átomos mais complexos, ou seja, com maior número de elétrons, as linhas espectrais não eram explicadas pelo seu modelo atômico.

Em 1915, o cientista Arnold Johannes Wilhelm Sommerfeld (1868–1961) estudando o espectro de emissão de átomos mais complexos que os de hidrogênio, com o auxílio de espectroscópios de melhor resolução, observou que cada linha espectral era subdividida em linhas mais estreitas e bem próximas umas das outras, as quais foram nomeadas de estrutura fina dos espectros de emissão. Conforme cita Martins:

Com o aperfeiçoamento dos espectroscópios, numa análise mais refinada dos espectros obtidos, os físicos passaram a verificar que, além do espectro fundamental, havia o aparecimento de sub-raias entre as raias que constituíam o espectro fundamental. Estas sub-raias passaram a ser denominadas de estrutura fina do espectro. Com a teoria de Bohr não havia possibilidade de explicar a estrutura fina (MARTINS, 2001, p. 58).

Assim, Sommerfeld concluiu que as camadas de níveis de energia, representadas por “n”, eram constituídas, também, por subníveis de energia, representada por “l”, e para cada nível de energia havia uma órbita circular e n-1 órbitas elípticas. Nas citações de Aragão (2008), encontramos que cada órbita distingue-se pelos números quânticos “n” e “l”, designados por números quânticos principal e secundários, respectivamente. Desta forma, para n=1, há uma órbita circular e nenhuma órbita elíptica. Para n=2, há uma órbita circular e uma elíptica. Assim, para o átomo de hidrogênio, temos apenas uma órbita circular, mas para o átomo de hélio, temos uma orbita circular e uma elíptica, e assim sucessivamente.

A figura 07 representa o Modelo Atômico de Sommerfeld para o nível quatro.

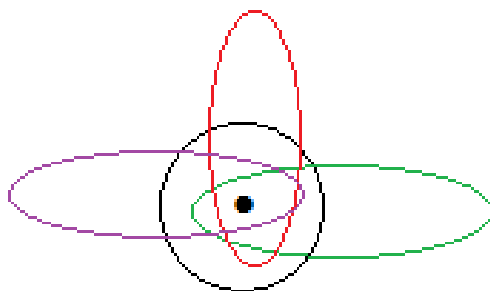


Figura 07. Para o nível quatro de energia, o átomo possui uma órbita circular e três elípticas. Essas órbitas elípticas são hoje denominadas de subcamadas p, d, f etc. As cores das órbitas são apenas ilustrativas. Fonte: Autor

O Modelo Atômico de Sommerfeld se aproximou mais do Modelo Planetário proposto por Johannes Kepler (1571-1630). Nesse modelo, o núcleo atômico ocupa um dos focos das elipses, e os elétrons se movimentam em suas órbitas elípticas com velocidades não constantes. Conforme cita Martins (2001), devido à variação de velocidade dos elétrons em torno do núcleo em suas órbitas elípticas, há necessidade de fazer uma correção relativística de suas massas.

Pelo que foi exposto, as maiores contribuições de Sommerfeld para o Modelo Atômico de Bohr foram a inserção das órbitas elípticas dos elétrons e a consideração da relatividade restrita para fazer correções na massa dos elétrons. Essas correções seriam responsáveis pela variação de energia.

Como Sommerfeld aprimorou o modelo de Bohr sem alterações radicais, esse modelo ficou conhecido como modelo atômico de Bohr-Sommerfeld.

Cabe ressaltar que este modelo serviu de base para a Física Atômica conhecida hoje, porém o modelo atômico atual substituiu a Física determinística, ou seja, a Física que descreve as órbitas definidas dos elétrons pela Física probabilística. Assim, as camadas eletrônicas foram substituídas por uma “núvem” de elétrons em torno do núcleo atômico. Essa núvem representa uma região em torno do núcleo atômico em que há probabilidade de encontrar os elétrons e não o local exato onde ele está.

Atividade 02

Objetivo: Fazer revisão sobre teoria, hipótese e dos modelos atômicos.

01) Relacione cada um dos termos a, b e c, com as suas respectivas definições:

- (a) Modelo;
- (b) Hipótese científica;
- (c) Teoria científica.

() designa qualquer suposição de algo ser verdadeiro ou não, mas que seja possível de ser verificado, a partir da qual se extrai uma conclusão;

() Um sistema organizado de conhecimento aceito que se aplica a uma variedade de circunstâncias para explicar um conjunto específico de fenômenos e prever as características de fenômenos ainda não observados, porém, sempre sujeita a modificação de acordo com novas descobertas.

() Representação para explicar um fato ou uma observação, com o propósito de analisar, descrever, simular o fato ou a observação.

02) Qual item abaixo não representa uma teoria científica?

- a-) relatividade;
- b-) evolução das espécies;
- c-) gravitação;
- d-) conspiração;
- e-) cinética dos gases.

03) Dos itens abaixo, uma não está relacionado com modelo científico.

Indique-o.

- a-) modelo atômico;
- b-) modelo do sistema planetário;
- c-) modelo propaganda;
- d-) modelo da estrutura da Terra;
- e-) modelo da cadeia do código genético.

04) respectivo modelo atômico descrito nas frases que estão após os parênteses:

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

- () As cargas elétricas negativas descrevem órbitas circulares em torno de um pequeno núcleo. Modelo conhecido como Planetário;
- () Os elétrons descrevem órbitas circulares bem definidas e eles não colapsam no núcleo atômico porque ocupam posições estáveis;
- () As cargas elétricas negativas estão fixas em uma casca esférica de carga positiva. Modelo conhecido como pudim de ameixas;
- () Esfera rígida e que não há presença de cargas elétricas. Modelo conhecido como bola de bilhar;
- () As cargas elétricas descrevem órbitas circulares ou elípticas, dependendo da camada eletrônica onde se encontram.

05) Vimos em nossas aulas, que com o desenvolvimento das pesquisas e com o surgimento de novas tecnologias os modelos atômicos foram aos poucos sendo substituídos. Dos itens abaixo, qual melhor representa o motivo pelo qual um modelo científico pode ser substituído:

- a-) quando o material que constitui o modelo já está antigo;
- b-) quando o cientista que formulou o modelo não estiver mais trabalhando no desenvolvimento das ciências;
- c-) quando o modelo for de encontro aos interesses das classes privilegiadas;
- d-) quando o modelo não for patentado;
- e-) quando um modelo não conseguir explicar fenômenos que são observados ou notados em experiências.

Atividade 03

Objetivo: familiarizar o aluno com os conceitos de notação científica, prefixos, múltiplos e submúltiplos e operações em notação científica.

01) Represente os números abaixo em notação científica:

a-) 12500

e-) 0,00045

b-) 5400000

f-) 0,0000245

c-) 65

g-) 0,000658

d-) 10000

h-) 0,1

02) Em cada item abaixo, substitua a potência de dez pelo prefixo correspondente:

a-) $2 \cdot 10^6$

e-) $9,9 \cdot 10^{-6}$

b-) $5,4 \cdot 10^{-9}$

f-) $3,6 \cdot 10^{-12}$

c-) $6,7 \cdot 10^{12}$

g-) $5,5 \cdot 10^9$

d-) $1,6 \cdot 10^3$

h-) $1,6 \cdot 10^{-9}$

03) Em cada item abaixo, substitua o prefixo pela notação científica:

a-) 2,4 μ

e-) 6,4p

b-) 4,6n

f-) 7,8T

c-) 8,7G

g-) 9,3 μ

d-) 5,6k

h-) 3,4m

04) Efetue as operações matemática abaixo e represente os resultados em notação científica. Se possível, utilize os prefixos.

a-) $4,2 \cdot 10^6 \times 2,0 \cdot 10^3$

b-) $3,0 \cdot 10^{-3} \times 3,0 \cdot 10^{12}$

c-) $4,0 \cdot 10^9 : 2,0 \cdot 10^6$

BLOCO II

Atividade 04

Objetivo: fazer o levantamento prévio do conhecimento dos alunos.

01) Explique, com as suas palavras, a diferença entre Física Clássica e Física Moderna.

02) Cite abaixo conteúdos/assuntos/tópicos relacionados à:

Física Clássica:

Física Moderna:

03) O que são partículas elementares? Dê exemplos.

04) O que são partículas subatômicas? Dê exemplos.

05) Descreva o significado de cada item abaixo:

Física de altas energias:

Acelerador de partículas:

FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA E SUAS TECNOLOGIAS

MODELO PADRÃO

No texto 02 apresentado acima, fizemos referência sobre os átomos como partículas constituintes da matéria. Citamos no texto que toda matéria é constituída por partícula indivisível e vácuo. Quase um século depois, Epicuro nomeou as partículas indivisíveis de átomos (MARTINS, 2001). Assim, se o átomo é indivisível, então, ele é elementar. Com as experiências de J.J. Thomson, as quais levaram à descoberta dos elétrons em 1897, vimos que o átomo não era mais elementar, mas formado por partículas menores. Mesmo que nessa época a ideia de estrutura atômica fosse primitiva, foi com Thomson que surgiu o nascimento da Física de Partículas (CARUSO e SANTORO, 2012). Em 1911, Rutherford dá início à Física Nuclear, quando da publicação de seu artigo sobre a existência de um núcleo atômico carregado eletricamente positivo. Em 1919, ele demonstrou a existência dessas partículas carregadas, as quais ele chamou de prótons (BRENNAN, 2003). Em 1932, o cientista inglês James Chadwick (1891–1974) descobre o nêutron, o qual, junto com os elétrons e os prótons, formavam todas partículas elementares.

Porém, com a construção de grandes aceleradores de partículas, como o SLAC, o Tevatron e o LHC (os dois primeiros estão localizados nos Estados Unidos, e o terceiro na fronteira entre Suíça e França) inúmeras partículas foram descobertas. Assim, surgiu a necessidade de agrupá-las, bem como de estudar as interações entre elas. Para reunir essas partículas e fazer os estudos de suas interações, criou-se o Modelo Padrão. Ele não é propriamente um modelo, mas sim uma teoria que descreve as forças fundamentais forte, fraca e eletromagnética, bem como as partículas elementares, as quais se dividem em partículas de interação e partículas de constituição da matéria. É importante citar, que para cada partícula constituinte da matéria, há uma antipartícula. As antipartículas possuem as mesmas características de suas partículas, com exceção do sinal de sua carga elétrica: ou seja, as partículas e as antipartículas possuem sinais contrários de carga. A representação da antipartícula é semelhante à da partícula, mas ela possui um “traço” sobreposto.

Conforme cita Abdalla (2006, p. 223), “segundo o Modelo Padrão, toda a matéria de que se tem notícia é composta por três tipos de partículas elementares: léptons, quarks e intermediadores.” Ainda, segundo a autora, “além da massa e do spin, as partículas têm outros números quânticos [cor, estranheza, carga] que as caracterizam perfeitamente”.

As partículas elementares constituintes da matéria são agrupadas em léptons ou quarks. Do primeiro grupo fazem parte os elétrons (e^-), os neutrinos dos elétrons (ν_{e^-}), os muons (μ), os neutrinos dos muons (ν_{μ}), os taus (τ) e os neutrinos dos taus (ν_{τ}). Esses léptons são agrupados em famílias, assim como ocorre na Química. Os dois primeiros estão na primeira família, os outros dois na segunda, e os dois últimos na terceira família. A característica desse grupo está no fato de não sentirem ação das forças nucleares, mas sim da força eletromagnética, a qual é intermediada pela partícula de interação denominada fóton.

O segundo grupo é formado pelos quarks. Os quarks são as partículas up (u), down (d), strange (s), charm (c), top (t) e bottom (b). Essas partículas combinam entre si ou com suas antipartículas para formarem partículas com estrutura. Os quarks podem se combinar em trios e formarem os bárions. Os mais conhecidos são os prótons (p), os nêutrons (n), os deltas mais mais (Δ^{++}) e os deltas zero (Δ^0). A combinação dual entre quarks e antiquarks forma os mésons. Como exemplo temos: pion (π), kaon (K) e o Phion (Φ). A característica principal dos quarks e dos antiquarks está no fato de sentirem a ação da força nuclear forte, a qual é intermediada pela partícula de interação glúon (g).

As figuras 08a, 08b, 08c, 08d, 08e, 08f e 08g representam respectivamente as partículas acima descritas.

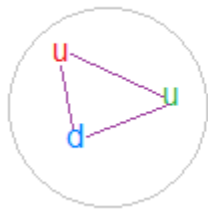


Figura 08a.



Figura 08b.

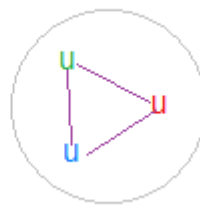


Figura 08c.

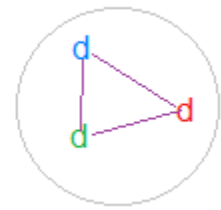


Figura 08d.

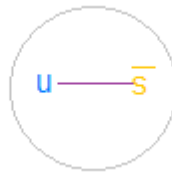
As figuras 08a, 08b, 08c e 08d representam, respectivamente, os modelos de próton, nêutron, delta mais e delta zero. A intermediação entre os quarks é feita pela partícula glúon (g).

Fonte: Autor



20e

Figura 08e.



20f

Figura 08f.



20g

Figura 08g

As figuras 08e, 08f e 08g representam, respectivamente, os modelos de píon, kaon e phi. A intermediação entre os quarks e antiquarks é feita pela partícula glúon (g).

Fonte: Autor

Assim, para uma melhor visualização, os quadros abaixo representam de forma organizada cada uma dessas partículas que acabamos de descrever.

Partículas Elementares Constituintes da Matéria	
LÉPTONS	QUARKS
Elétron	Up
Muon	Down
Tau	Charm
Neutrino do elétron	Strange
Neutrino do muon	Top
Neutrino do tau	Bottom

Quadro 01.

O quadro fornece as partículas elementares constituintes da matéria, mas é importante citar que para cada uma das partículas, há uma antipartícula.

Partículas Compostas	
BÁRIONS	MÉSONS
Próton	Pion
Nêutron	Kaon
Delta ⁺⁺	Phion
Delta ⁰	

Quadro 02.

Os bárions e os mésons não são partículas elementares. Os bárions são partículas formadas por três quarks, e o mésons são formados por um quark e um anti quark.

CROMODINÂMICA

Poderíamos começar este subcapítulo dizendo que o núcleo atômico é composto por partículas brancas e que as partículas elementares que compõem os núcleos são coloridas. Mas como os cientistas “enxergam” essas cores? É possível iluminar um átomo e enxergar a sua cor? A resposta é simples: não. O ramo da Física que estuda a “cor” dos bárions, mésons e dos quarks é a Cromodinâmica Quântica, que na sigla inglesa é representada pela sigla (QCD). As cores a que nos referimos não têm o mesmo significado da cor que nós conhecemos quando fazemos referência às cores dos objetos, ela está relacionada à mais uma grandeza quântica, assim como a carga elétrica e o spin. Cada uma dessas grandezas quânticas possui as suas características e conceitos, os quais foram criados para descrever modelos ou justificar observações. Como exemplo, temos que o spin poder ser um férmion ou um bóson. Os primeiros possuem spin semi-inteiro e obedecem ao Princípio da Exclusão de Pauli. Os segundos possuem spin⁵ inteiro e não obedecem ao Princípio de Exclusão de Pauli. As cargas elétricas podem ser positivas ou negativas, sofrem interação eletromagnética e são intermediadas pelos fótons, os quais não possuem massa e não interagem entre si. Atualmente, essa interação é descrita pela Eletrodinâmica Quântica, que na sigla inglesa é representada pela sigla (QED).

Assim, as cores também possuem suas características. Elas são classificadas em azul (blue), vermelho (red) e verde (green). Da mesma forma que as partículas constituintes da matéria possuem as suas antipartículas, as

⁵ Número quântico intrínseco ao movimento de rotação do elétron.

cores possuem as suas anticolors: ciano, magenta e amarelo. A figura 09 representa a descrição das cores e anticolors dos quarks e antiquarks.

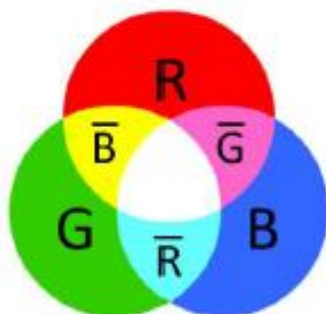


Figura 09. As cores vermelho, verde e azul representam as três grandezas quânticas que os quarks podem assumir. As cores ciano, magenta e amarelo representam as três grandezas quânticas que os antiquarks podem assumir.

Fonte: IFT(UNESP)

Os quarks sofrem a ação da força forte que é intermediada pelos glúons (g) que também possuem cor, desta forma, eles também sofrem a ação da força forte entre eles. Os quarks se unem em grupos de três, cada um com uma cor diferente, para formar os bárions. A combinação dessas três cores (vermelho, verde e azul) resulta na cor branca: fazemos, assim, uma associação com a luz branca. No caso dos mésons, a combinação de um quark com um antiquark está associada a uma cor e uma anticolor, o que resulta na cor branca também. Vale ressaltar, que os quarks possuem cargas elétricas, as quais são fracionárias da carga elétrica elementar $1,6 \cdot 10^{-19} \text{C}$. Assim, eles sofrem a ação da força eletromagnética, porém a força de cor é de atração e muito mais forte, vencendo dessa forma a repulsão eletrostática.

FORÇAS DE INTERAÇÃO

Na natureza há quatro forças de interação: gravitacional, eletromagnética, força forte e força fraca. Com exceção da primeira, todas as demais são descritas pelo Modelo Padrão. A ação dessas forças ocorre por mediação de partículas denominadas de gráviton (G), fóton (γ), vetoriais intermediários (w^+ , w^- e z^0) e glúons (g), respectivamente. Não abordaremos

aqui, a força gravitacional, pois conforme já citado, ela não é descrita pelo Modelo Padrão.

Com relação à força eletromagnética, nas equações de Maxwell, obtemos um formalismo para explicar que as interações entre as cargas elétricas são de natureza eletromagnética e, nesta interação, a partícula intermediadora é o fóton. Assim, fica descartada a ideia de interação à distância, ou seja, a interação entre as cargas elétricas ocorre pela troca de partículas. Encontramos em Martins (2001, p 296), sobre a teoria de interação entre partículas, que: "...uma teoria bem aceita pelos físicos diz que as forças eletromagnéticas que agem entre partículas carregadas, por exemplo, entre elétrons, é realizada através da troca de partículas denominadas fótons, que não possuem massa." Conforme já citado, o estudo das cargas elétricas e dos fótons é feito na QED. Nessa teoria, as forças eletromagnéticas entre duas cargas elétricas surgem pela emissão de um fóton por parte de uma das cargas elétricas e pela absorção pela outra.

Assim, podemos resumir a força eletromagnética como algo que tem longo alcance, age em corpos que possuem cargas elétricas e cuja interação é feita por troca de partículas denominadas fótons. Nas palavras de Brennan (2003, p. 256), "a força eletromagnética incorpora átomos em moléculas e moléculas em matéria macroscópica".

Aqui, abrimos um parêntesis para falarmos sobre a atração e a repulsão das cargas elétricas, dando destaque ao núcleo atômico. No estudo da eletrostática, vemos que cargas de sinais iguais se repelem e que cargas de sinais diferentes se atraem; assim, os elétrons (cargas negativas) são atraídos pelo núcleo do átomo, no qual concentram-se os prótons (cargas positivas) e estes, que estão no núcleo, são repelidos. Porém, o modelo atômico não nos mostra essa configuração: muito pelo contrário, os elétrons estão afastados das cargas positivas, posicionando-se na eletrosfera, e os prótons estão juntos no núcleo, fato este que se torna para nós um paradoxo. Como podem os prótons ficarem juntos no núcleo atômico sem que sejam repelidos? Esta aparente contradição é explicada no Modelo Padrão pela ação da força forte.

A força forte não é tão conhecida como a gravitacional e a eletromagnética, pois ela não faz parte do nosso cotidiano ou, pelo menos, não a percebemos ou sentimos os seus efeitos como no caso da força

gravitacional, conforme já descrito. A força forte não atua entre cargas elétricas, como a eletromagnética, mas sim entre cargas de cor, as quais são classificadas em vermelho, azul e verde. É importante frisar que essas cores não estão associadas às cores artísticas que conhecemos, elas são propriedades quânticas dos quarks. Conforme já citamos, os quarks são partículas elementares constituintes da matéria, bem como os antiquarks. Essas cores foram adotadas de tal forma que as suas combinações resultem em cor “nula”, ou seja, branca. Apenas para fazer um paralelo, assim como há cargas elétricas positivas e negativas, há cargas de cor e de anticor - estas são ciano, magenta e amarela. Ainda, utilizando-nos de comparações, assim como no eletromagnetismo há o fóton, partícula intermediadora dessa força, no caso da força forte, há os glúons (g) que fazem a intermediação da força forte.

Como a força forte atua entre as partículas quarks e antiquarks, então, para melhor visualização de seu campo de ação, citamos que estas partículas compõem o grupo dos hádrons, estes são divididos em bárions e mésons. Os primeiros são constituídos por três quarks, os mais comuns são prótons (uud) e nêutrons (udd). Os segundos são formados por um quark e um antiquark, e os mais conhecidos são pion ($u\bar{d}$), káon ($u\bar{s}$) e o phíon ($s\bar{s}$). Conforme podemos ver, cada quark formador dos bárions possui uma cor diferente, de tal forma que a combinação das três cores resulta em uma partícula de cor “nula”. Da mesma forma ocorre com os mésons, um quark de cor se mistura com um antiquark de anticor, resultando novamente em uma cor “nula”.

A diferença fundamental entre os glúons e os fótons, é que estes não interagem entre si, pois eles não possuem carga elétrica, conforme descrito pela QED, enquanto que aqueles interagem mutuamente, pois os glúons também possuem cor, da mesma forma que os quarks e antiquarks - esta descrição é feita pela QCD. A interação entre glúons e quarks resulta numa força forte residual, a qual chamamos de força nuclear, que, por sua vez, age entre os prótons e os nêutrons, mantendo-os unidos no núcleo atômico.

A força residual é de curto alcance, na ordem de 10^{-15} metros, e quanto mais próximo os núcleons atômicos estiverem, mais forte ela é. Vale ressaltar que com relação à força forte, quanto maior a distância entre os quarks, maior será também esta força, de tal forma, que quando os quarks estiverem muito próximos uns dos outros, eles se comportarão como se estivessem livres e não

confinados dentro dos hádrons, conforme já descrito. Pleitez (2004, p. 32) cita que “quanto mais próximos os quarks estão uns dos outros, mais fraca é a força entre eles. Quando estão extremamente próximos comportam-se como partículas livres”. A esta aparente contradição, ou seja, de quanto mais próximos mais livres, chamamos de liberdade assintótica.

A força fraca, ao contrário das forças eletromagnética, forte e gravitacional, não tem a “função” de manter as partículas unidas e, também, não interage nas cargas de cor e de massa. Sua interação está associada às cargas elétricas, tanto carregadas quanto neutras, ou seja, age tanto em léptons quanto em quarks. O seu alcance de ação é muito pequeno, por volta de 10^{-17} metros. Assim como as outras forças fundamentais da natureza têm as suas partículas de interação – fóton, para a força eletromagnética, gráviton, para a gravitacional e glúon, para a força forte – temos, para a força fraca, as partículas chamadas de vetores intermediadores, representados pelas partículas w^+ , w^- e z^0 . Conforme afirma Abdalla (2006, p. 213), a força fraca é “transmitida pelos bósons pesados w^+ , w^- e z^0 , é de curto alcance e só se manifesta a uma distância de 0,1% do diâmetro do próton.” A força fraca foi descoberta devido aos estudos de algumas manifestações estranhas que não eram explicadas pelas demais forças fundamentais da natureza. Essas manifestações foram observadas nas desintegrações nucleares denominadas de radioatividade. Conforme já vimos, a radioatividade foi estudada primeiramente por Henri Becquerel, em 1885, e, posteriormente, por Marie Curie, Ruthenford, entre outros. Nas desintegrações nucleares, podem ocorrer manifestações de três formas: partículas alfa ou beta ou, ainda, radiação gama. Conforme cita Oliveira:

O decaimento gama é o mais simples de ser compreendido. Ele poder ser comparado ao caso das transições eletrônicas em um átomo. O núcleo faz uma transição de um nível de energia mais alto E_i para um de energia mais baixo E_f , emitindo um fóton com energia $\Delta E = E_i - E_f$, que pode variar de uns poucos KeV até a faixa de MeV... O decaimento gama ocorre, em geral, após um decaimento alfa ou beta, e como a massa de repouso e a carga do fóton são zero, o decaimento gama não altera a massa do núcleo, e nem o seu número atômico (OLIVEIRA, 2010, p. 251).

Desta forma, completamos as descrições das forças fundamentais da natureza, bem como das partículas de interação. Assim, podemos resumi-las nas palavras de Abdalla (2006), como:

A força fraca é a que explica os processos nucleares de decaimento radioativo, como o decaimento β , o decaimento do pión carregado, o do múon e o de várias outras partículas estranhas...Transmitidas pelos bósons pesados w^+ , w^- e z^0 , é de curto alcance e só se manifesta a uma distância de 0,1% do diâmetro do próton...Uma interação fraca só ocorre quando a distância entre as partículas participantes é menor que 10^{-17} m... A força, responsável pela coesão nuclear, é aquela que mantém os núcleons juntos, uma vez que os prótons são todos eletricamente positivos e teriam, pela força eletromagnética, a tendência de se repelir. A força forte é, então, responsável pelos fenômenos de curta distância no interior do núcleo atômico. A estabilidade nuclear está associada à força forte. Hoje sabemos que os núcleos só permanecem coesos porque há uma força que mantém os três quarks que os formam...Para a força eletromagnética, vamos considerar um conjunto bem especial de partículas elementares: o elétron (e^-), o próton (p) e o fóton (γ). Esses são os personagens principais da força eletromagnética, interação observada no século XVIII, exatamente um século depois da gravitação de Newton. Mas, é preciso que se registre, de uma forma ou de outra, essa força afeta diretamente todas as partículas conhecidas, com exceção apenas do neutrino e do gráviton (ABDALLA, 2006, p. 207-214).

A ORIGEM DA MASSA

Nas páginas que acabamos de escrever, abordamos as forças fundamentais da natureza, as partículas de interação e as partículas constituintes da matéria, tudo isso dentro de uma teoria chamada de Modelo Padrão. Porém, se o Modelo Padrão fosse um quebra cabeça, faltaria, ainda, a peça-chave para montá-lo: essa seria a responsável pela massa das partículas. Mas afinal, o que é massa? Quando colocamos um corpo sobre uma balança, medimos a sua massa ou o seu peso? Há diferença entre essas duas grandezas? A resposta é sim. Quando estudamos mecânica, mais precisamente, as leis de Newton, aprendemos que a Força Peso é a força que a Terra exerce sobre os corpos. Essa força possui algumas características: I) é de atração; II) depende do valor da aceleração da gravidade; III) é considerada constante quando o objeto não está muito distante da superfície da Terra; IV) é uma força de campo, ou seja, age a distância e V) depende da massa do corpo

que está sendo estudado. Dessas características, vamos destacar as duas últimas para entendermos o conceito de massa.

Podemos definir campo como toda região do espaço que sofre uma perturbação quando na presença de outros corpos. Em outras palavras, o campo é o “responsável pela comunicação” entre os corpos. Quanto à massa, podemos dizer que ela mede a dificuldade de movimentar um corpo, ou seja, é o momento de inércia do corpo, e, para chegar a um valor, somamos as massas das moléculas que o constituem. Mas as moléculas são formadas por átomos, que por sua vez são formados por elétrons, nêutrons e prótons. Estes dois últimos são formados por partículas elementares: quarks. Novamente, chegamos na matéria elementar, que é parte fundamental deste projeto. Assim, para sabermos sobre a massa de um corpo, é necessário entendermos o que dá massa às partículas elementares que o constituem. Existe um mecanismo que explica a formação das massas das partículas elementares, ele é chamado de Higgs.. Pires (2011) afirma que em 1964, Peter Higgs propôs um mecanismo capaz de explicar a origem da massa para as partículas, postulando a existência de um campo que enche completamente todo o espaço. Acredita-se que o campo de Higgs gera massa pelo seu acoplamento com as diversas partículas. Historicamente, a introdução do campo de Higgs foi proposta para dar consistência matemática ao Modelo Padrão, nada tendo a ver com a geração de massa. Ainda em Pires (2011, p. 441), “vemos que esse efeito (geração de massa) surgiu depois, quando teorias foram construídas explicitamente para modelar a Natureza tão precisamente quanto possível.”

O autor Rosenfeld, em seu livro *Feynman e Gell-Mann – luz, quarks e ação*, apresenta uma analogia, de forma bem simplificada, para explicar a origem da massa das partículas, conforme podemos ver abaixo:

Imagine que sejamos seres aquáticos confinados em um mundo totalmente submerso em água. Certamente teríamos maior dificuldade em mover objetos devido à presença da água. Portanto, a “massa” de corpos que medimos seriam maiores do que suas massas de fato caso não houvesse água. Caso nosso mundo fosse totalmente submerso em mel, a “massa” medida seria ainda maior, pois o mel é muito mais viscoso do que a água. Nossa teoria pressupõe que estejamos imersos em um meio absolutamente homogêneo, denominado vácuo do campo de Higgs... As partículas elementares sofreriam uma espécie de atrito ao se mover nesse meio. Suas massas seriam provenientes desse atrito. Segundo essa teoria, partículas possuem massas diferentes porque sofrem atritos diferentes com o campo de Higgs (ROSENFELD, 2003, p. 103).

Neste mecanismo entra outra partícula, chamada Bóson de Higgs. Ela é a partícula mediadora do campo de Higgs e, pela teoria, ela é a que dá massa às demais, suas interações com as outras partículas podem ser diretas ou indiretas. A existência dessa partícula foi detectada somente em julho de 2012, no CMS e no ATLAS, dois grandes colisores de hádrons do Large Hadron Collider (LHC), os quais, entre outros, serão estudados no próximo capítulo. Após detectada, a sua confirmação foi feita somente quase um ano depois: março de 2013.

Assim, conforme descrito, vemos que a massa de uma partícula depende de sua interação com o Campo de Higgs. Em outras palavras, mesmo que partículas elementares diferentes estejam em um mesmo espaço, ou melhor, em um mesmo campo, a sua massa dependerá de sua interação. Apenas para ilustração, citaremos dois léptons: o tau e o neutrino. A primeira partícula é muito massiva, o que nos leva à conclusão de que a sua interação com o Campo de Higgs é grande. A segunda é praticamente invisível ao Campo de Higgs, pois a sua massa é igual a zero ou praticamente zero.

ACELERADORES DE PARTÍCULAS

O maior acelerador de partículas conhecido pelo homem é o Universo. Nas reações nucleares ocorridas nas estrelas, são produzidas partículas de altas energias, e muitas outras surgem nas interações entre si, e esse número aumenta consideravelmente quando parte dessas partículas entram em contato com a atmosfera terrestre. A figura 10 mostra o surgimento de algumas partículas quando em contato com a atmosfera.

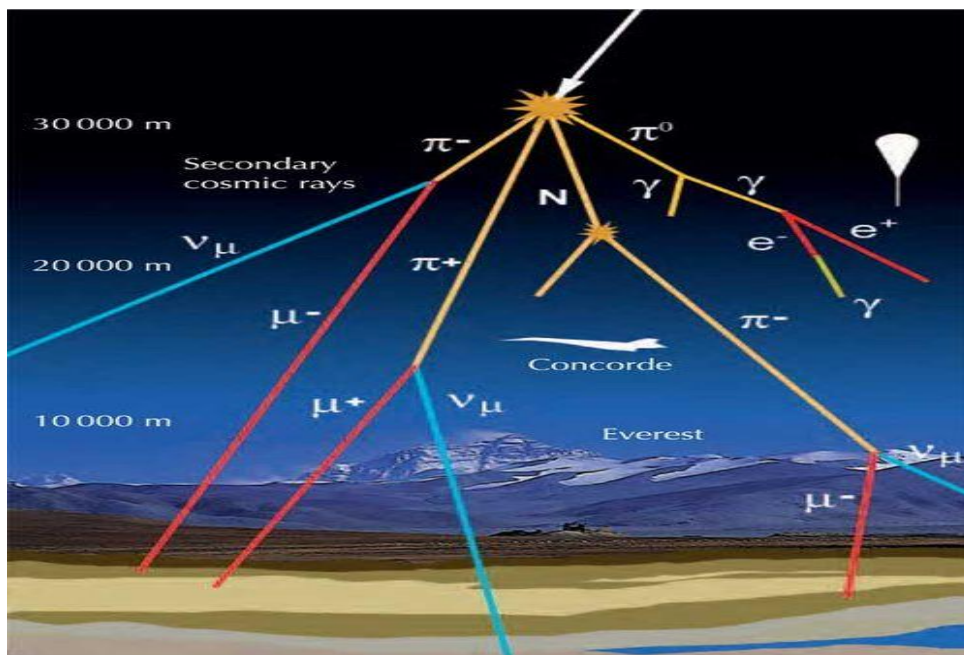


Figura 10. Os raios cósmicos ao entrarem na atmosfera terrestre produzem diversas partículas como pión, múon, elétron, pósitron entre outras.

Fonte: wiki.stoa.usp.br

Então, se o maior acelerador de partícula já existe naturalmente e tem custo zero, por que o homem construiu e continua construindo aceleradores de partículas a custos altíssimos? A resposta para essa pergunta não é única. Esperamos que, no decorrer deste subcapítulo, consigamos esclarecer essa pergunta.

Os aceleradores de partículas são dispositivos físicos que permitem aos cientistas acelerarem partículas subatômicas já conhecidas a altíssimas energias cinéticas. Conforme aprendemos no ensino médio, essa energia está associada ao movimento dos corpos, e as variáveis fundamentais são massa e velocidade. Matematicamente, temos:

$$E = \frac{mv^2}{2} \quad ^6$$

Daqui deriva o ramo da Física chamado Física de Altas Energias, as quais estão na ordem de KeV, MeV, GeV e TeV - a pronúncia dessas unidades

⁶ E é a energia cinética, m e v são, respectivamente, a massa e a velocidade do corpo em estudo.

de medidas é “quevi”, “mevi”, “guevi” e “tevi”, respectivamente. Assim, para uma energia de 2Kev, temos dois quilos-elétron-volts. Como a unidade de energia mais conhecida é o joule, o quadro abaixo fornece algumas conversões de elétron-Volt em joule.

Energia em elétron-volt (eV)	Fator de Conversão	Energia em joule (J)
1K	$10^3 \times 1,6.10^{-19}$	$1,6.10^{-16}$
1M	$10^6 \times 1,6.10^{-19}$	$1,6.10^{-13}$
1G	$10^9 \times 1,6.10^{-19}$	$1,6.10^{-10}$
1T	$10^{12} \times 1,6.10^{-19}$	$1,6.10^{-7}$

Quadro 3.

Representação da energia em elétron-Volt e em Joule. Um elétron-Volt corresponde a $1,6.10^{-19}$ J. Os prefixos K, M, G e T correspondem a 10^3 , 10^6 , 10^9 e 10^{12} , respectivamente.

Observando esses resultados do quadro 3, na unidade em joule vemos que a energia não é alta, então por que chamamos esta área de estudo de Física de Altas Energias? Simplesmente porque essas energias estão concentradas em regiões muito pequenas, ou seja, em partículas subatômicas, conforme já citamos. Assim, a energia relativa às partículas é que é alta.

É importante ressaltar aqui que às vezes a massa das partículas é medida em elétron-volt e não em quilograma (kg), conforme estamos habituados. Encontramos a justificativa para essa transformação de unidade de medida em Oliveira, quando afirma que:

Em física de partículas é costume expressar as massas das partículas não em unidade de massa (kg), mas em unidade de energia (eV). Para isso basta multiplicar a massa da partícula por c^2 , o quadrado da velocidade da luz... A vantagem de se expressar a massa de uma partícula em unidades de energia reside no fato de que o valor obtido nos dá diretamente uma ideia da energia necessária para produzi-la em laboratório (OLIVEIRA, 2010, p. 308).

Existem basicamente dois tipos de aceleradores de partículas: os lineares e os cíclicos. Estes podem ser classificados como CICLOTRON, o qual possui raio variável, ou como SINCROTRON, o qual possui raio constante. Os aceleradores de partículas, independente de seus formatos, possuem em comum campo magnético, campo elétrico, detectores e altíssimo vácuo em seu interior. O campo magnético tem por objetivo direcionar a trajetória das partículas, enquanto que o campo elétrico, criado devido a uma diferença de potencial, é o responsável por acelerar as partículas em suas trajetórias. O vácuo dentro dos aceleradores é necessário para que as partículas que são

aceleradas não se choquem com as partículas que estiverem no ar, o que dificultaria os choques das partículas-alvo, bem como o estudo das partículas produzidas. Os detectores são dispositivos físicos instalados em pontos estratégicos dos aceleradores que têm a função de detectar as partículas formadas nas colisões dos feixes que são acelerados.

As figuras 11a, 11b e 11c representam cada um desses aceleradores:

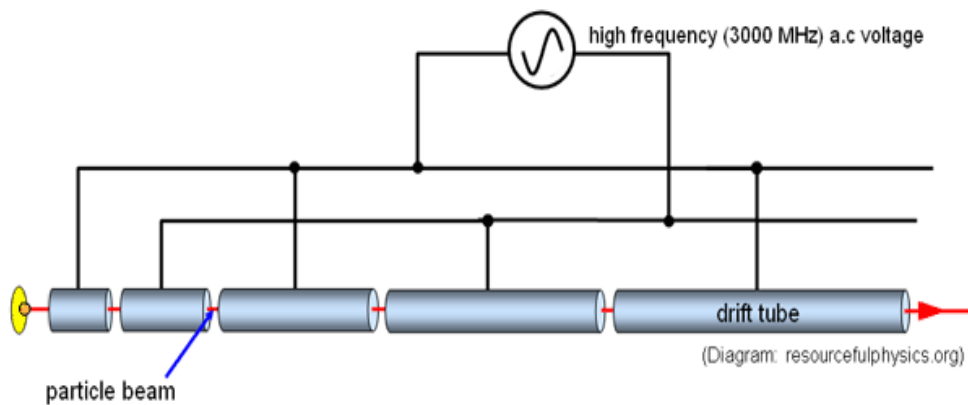


Figura 11a. O acelerador linear acelera as partículas em linha reta.
Fonte: lhc-closer.es

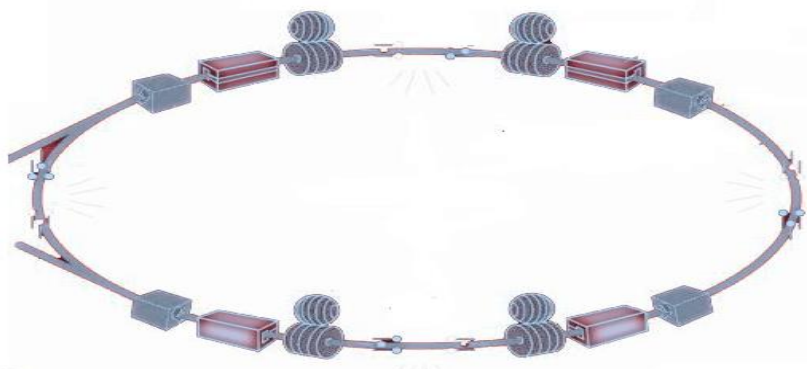


Figura 11b. Síncrotron - acelerador circular de raio fixo.
Neste acelerador, as partículas circulam várias vezes até atingirem velocidades próximas à da luz.
Fonte: lhc-closer.es

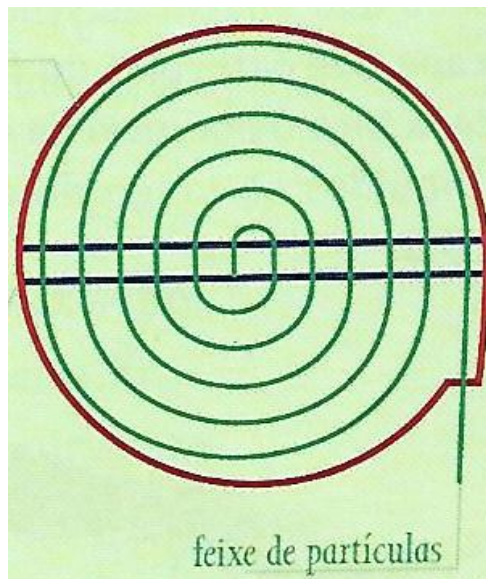


Figura 11c. Ciclotron - acelerador de partícula com raio variável. As partículas encontram-se inicialmente no centro do acelerador. Para cada volta completa que as partículas desenvolverem em cada ciclo, elas são aceleradas, aumentando assim, as suas velocidades.
Fonte: Livro – *O discreto charme das partículas elementares*.

Com os aceleradores de partículas, os físicos têm o propósito de estudar o comportamento de partículas já conhecidas, bem como produzir partículas por meio de choques mecânicos entre as partículas que são lançadas dentro dos aceleradores ou de choques mecânicos dessas partículas com alvos fixos. Como já vimos, muitas dessas partículas já são produzidas de forma natural, conforme ilustra a figura 10, mas os problemas maiores para o estudo dessas partículas estão em seus tamanhos: elas são muito pequenas e têm um tempo de vida muito curto, dificultando assim os seus estudos. Para contornar essa situação, os físicos vêm construindo aceleradores de partículas que permitem a eles desenvolverem experiências de forma controlada, tanto em relação a quantidade, quanto em relação ao tempo necessário para realizá-las. Em pontos estratégicos desses aceleradores, são instalados grandes e sofisticados detectores de partículas, os quais registram as passagens das partículas que são criadas, deixando informações de suas características, tais como massa e carga elétrica. Conforme citam os autores Begalli, Caruso e Pedrazzi (2012, p. 62), “O fato é que estas partículas são criadas em interações entre partículas aceleradas por aceleradores gigantesco em funcionamento hoje... Quanto

maior a energia alcançada nestes aceleradores, menores são as dimensões exploradas...”.

Há diversos aceleradores de partículas construídos em vários países, uns possuem a finalidade de estudar partículas e assim tentar entender a origem do Universo, e outros tem a finalidade de analisar materiais, desenvolver medicamentos, proporcionar melhores tratamentos, entre outros fins. No Brasil, podemos citar o Pelletron, construído no Instituto de Física da Universidade de São Paulo (IFUSP) em 1972, o UVX, localizado no Laboratório Nacional de Luz Síncrotron (LNLS), na cidade de Campinas, o qual entrou em funcionamento em 1997. Abaixo, encontramos uma descrição resumida da funcionalidade do UVX:

O Brasil também possui um acelerador síncrotron, que é utilizado na pesquisa em Matéria Condensada, e não em Física de Partículas. O acelerador é um anel armazenador de elétrons. Quando acelerados em órbitas circulares, elétrons emitem um tipo de radiação chamada de luz síncrotron. Esta radiação é utilizada para a investigação das propriedades físicas de diferentes tipos de materiais, a nível atômico e molecular. Exemplos de aplicações são estudos de processos de corrosão e fadiga em estruturas metálicas, estudo de propriedades magnéticas de novos materiais, estudo de catalisadores para a indústria petroquímica, estudo das propriedades de polímeros, semicondutores, etc. (OLIVEIRA, 2010, p. 313).

Atualmente, encontra-se em construção um novo acelerador de partículas que substituirá o UVX: O SÍRIUS. De acordo com informações publicadas no Portal Brasil⁷, em fevereiro de 2014, o novo acelerador de partículas será cinco vezes maior que o atual. Ele terá perímetro de 518 metros e diâmetro médio de 153 metros. O SÍRIUS operará com energia de 3,0GeV e está orçado em R\$ 650.000.000,00 (seiscentos e cinquenta milhões de reais). O seu funcionamento está previsto para 2018. Uma simulação em 3D da construção desse acelerador pode ser vista em <https://www.youtube.com/watch?v=hj77szqY-tE>. A figura 12 mostra a vista aérea esboçada do projeto SÍRIUS.

⁷ <http://www.brasil.gov.br/ciencia-e-tecnologia/2014/02/novo-acelerador-de-particulas-sera-cinco-vezes-maior-que-o-atual>

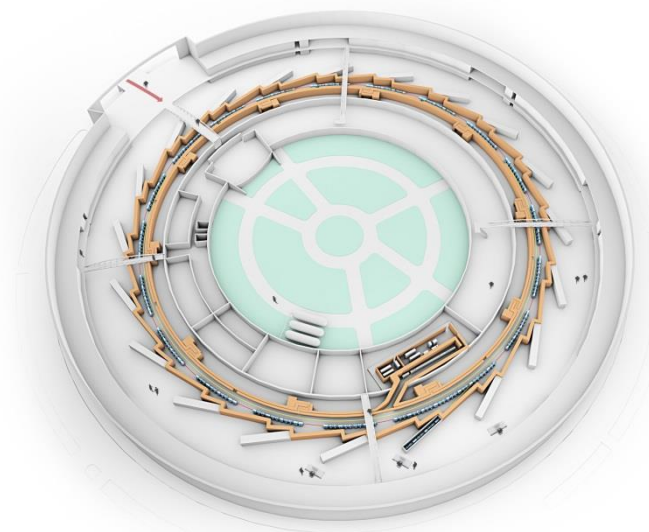


Figura 12. Previsto para ser inaugurado em 2018, o SÍRIUS será cinco vezes mais potente do que a fonte atual de luz síncrotron. O novo acelerador será um dos melhores na sua categoria.

Fonte: <http://cnpem.br/projeto-sirius-o-novo-acelerador-de-particulas/>

Conforme acabamos de citar, o SÍRIUS será um dos melhores em sua categoria, ou seja, o estudo da Matéria Condensada, mas não será o maior dos aceleradores de partículas. Os três maiores aceleradores são: o SLAC, o Tevatron e o LHC. É importante frisar que existem diversos outros aceleradores de partículas, os citados aqui serviram apenas como exemplos.

O primeiro acelerador, o SLAC, está localizado na Universidade de Stanford – Califórnia, Estados Unidos. Conforme cita Martins (2001), o SLAC possui, aproximadamente, 3,2km de extensão e acelera partículas, em linha reta (linear), na ordem de 50Gev até se chocarem com um alvo fixo. Foi nesse laboratório que surgiu a ideia de acelerar partículas não em linha reta e contra alvo fixo, mas sim em trajetórias circulares. Desta forma, as partículas poderiam ser aceleradas até alcançarem velocidades próximas à da luz. Para que os choques entre as partículas fossem ainda maiores, os feixes de partículas seriam lançados em sentidos opostos, em trajetórias diferentes, mas paralelas. Ao alcançarem as velocidades limites, as trajetórias em que se descolassem os feixes de partículas seriam direcionadas de tal forma que eles se chocassem em um ponto pré determinado, ou seja, nos detectores. A figura 11b ilustra a descrição de um acelerador circular. Foi no SLAC que se

deu a descoberta de duas outras partículas elementares do Modelo Padrão: o quark charm, em 1974, e o lépton tau, em 1995. No SLAC também surgiram as primeiras evidências experimentais sobre o confinamento de quarks em prótons e nêutrons, conforme cita Peruzzo (2014).

O segundo acelerador, o Tevatron, está localizado no centro de pesquisa FERMILAB (Laboratório e Acelerador Nacional Fermi) – Illinois, Estados Unidos. Esse centro passou a se chamar FERMILAB em 1974, substituindo o antigo National Accelerator Laboratory (NAL), inaugurado em 1967. O laboratório é subterrâneo, possui um diâmetro de aproximadamente 2km, o que corresponde a um perímetro de 6,3km, e opera com energia de 1Tev - daqui surgiu o nome de acelerador Tevatron. Conforme cita Martins (2001), as pesquisas realizadas no FERMILAB ocorrem fazendo-se chocarem feixes de partículas de altas energias em alvos fixos ou produzindo colisões entre prótons e antiprótons. Foi nesse centro de pesquisa que, em 1995, fez-se a descoberta do quark top, outra partícula que compõe o Modelo Padrão, mas somente em 2007 que se obteve a medida precisa da massa desse quark. Encontramos nas citações de Peruzzo (2014, p. 296) que “Em meados de 2011 o Tevatron foi desativado. Um dos motivos é que ele se tornou ultrapassado perto do LHC. Os cientistas norte-americanos vão se concentrar em outras áreas, bem como trabalhar em conjunto com o LHC no CERN”.

O Large Hadron Collider (LHC) é o terceiro e o último dos aceleradores de partículas que vamos abordar. Ele é o maior acelerador de partículas em funcionamento da atualidade. Pertence à Organização Europeia para Pesquisas Nucleares (CERN), centro de pesquisa localizado na fronteira da Suíça com a França. O CERN é um complexo de máquinas aceleradoras de partículas interligadas entre si, estando o LHC ocupando o último estágio desse complexo. Nele, estão instalados quatro grandes detectores de partículas, dos quais falaremos mais adiante: ATLAS, ALICE, CMS e LHCb. O tamanho do LHC e a sua finalidade especificam o seu nome: Grande Colisor de Hádron. A sua estrutura possui uma configuração circular, com perímetro de 27km, e está subterrânea, a profundidade de aproximadamente 100m. Feixes de hádrons (prótons ou íons de chumbo) são lançados em sentidos opostos nos dois tubos metálicos que constituem a estrutura do LHC, e esses feixes são acelerados por campo elétrico e descrevem trajetórias circulares controladas por campo

magnético, até atingirem velocidades próximas à da luz, cerca de 300.000 km/s. Neste estágio, com o objetivo de fazer com que os feixes de hádrons se choquem, as trajetórias são alteradas para pontos específicos do LHC, onde se encontram os detectores. Esta máquina está projetada para acelerar dois feixes de prótons a uma energia total de 16TeV, o que corresponde a uma energia de 8TeV por feixe. A figura 12 representa, de forma simplificada, o LHC com os seus quatro principais detectores de partículas.

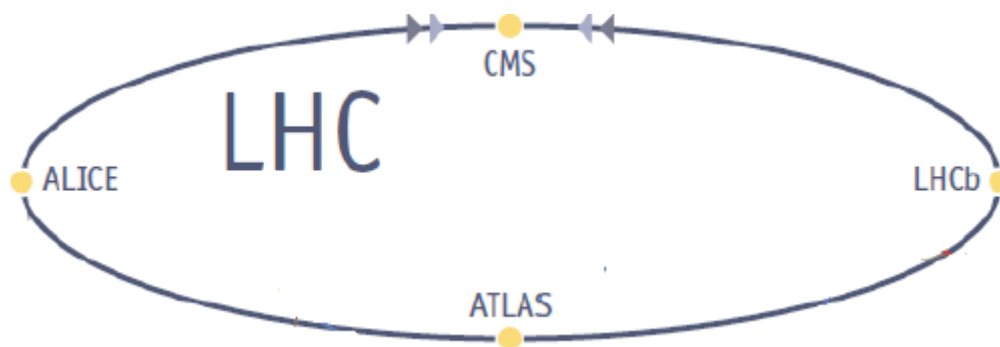


Figura 13. Representação do LHC e dos seus principais detectores de partículas: ALICE, CMS, LHCb e ATLAS. As setas próximas ao detector CMS indicam o sentido em que os feixes de partículas circulam dentro dos tubos do LHC.
Fonte: Grupo de Comunicação CERN/2009 (tradutor: Miguel Neto)

Os detectores de partículas são dispositivos construídos por físicos, engenheiros e técnicos e têm a função de “ver” os rastros das partículas secundárias que são formadas após o choque dos feixes de partículas que passam pelos aceleradores. Como são neles que ocorrem as experiências, eles são conhecidos, também, como experimentos. Assim, por meio desses detectores, os cientistas conseguem saber algumas particularidades dessas partículas, como carga, massa e energia. Nas construções dos detectores, são aplicadas tecnologias de última geração, as quais muitas vezes são desenvolvidas nos próprios centros de pesquisas dos aceleradores de partículas. Cada um dos quatro detectores acima possui uma função específica, com estrutura peculiar, conforme citam Balthazar e Oliveira (2008):

O experimento ALICE é um detector para estudo das colisões de íons de chumbo, nesse experimento serão estudados quarks e glúons em estados não confinados (quarks e glúons só existem na natureza em estados confinados, presos dentro de hádrons. Estudá-los em estados não confinados significa simular condições que só existiram na natureza num intervalo de tempo muito pequeno, após o Big Bang). Os experimentos ATLAS e CMS são de caráter mais geral, onde físicos vão analisar um grande número de partículas surgidas na colisão. Nesses experimentos, físicos esperam que apareçam o bóson de Higgs, as dimensões extras e partículas que poderiam torna-se matéria escura. No experimento LHCb será estudado o motivo pelo qual nosso universo tem mais matéria que antimatéria. Segundo o atual modelo essa assimetria entre matéria e antimatéria acontece devido a uma quebra de simetria, explicado por um mecanismo matemático que se originou do mecanismo de Higgs (BALTHAZAR E OLIVEIRA, 2008, p. 12).

Assim, esperamos ter respondido à pergunta feita logo no início deste subcapítulo: por que são feitos altíssimos investimentos na construção de aceleradores, uma vez que eles já existem naturalmente? De forma simples, podemos dizer que os aceleradores de partículas são construídos para que os cientistas possam estudar, de forma controlada, a constituição da matéria, procurando entender a origem do Universo. Outros, como o UVX, são construídos com o propósito de estudar a estrutura dos materiais, desenvolvimento de medicamentos, conservação de alimentos, entre outras funções. Na construção desses aceleradores, muitas tecnologias de ponta são desenvolvidas e, de forma direta ou indireta, são aplicadas em nosso cotidiano.

CONTEÚDO COMPLEMENTAR

TECNOLOGIAS

São diversos os dispositivos eletrônicos e digitais de nosso cotidiano que fazem uso de tecnologias associadas à FMC nas mais diversificadas áreas do conhecimento, tais como biologia, medicina, química e diversos ramos da engenharia. Alguns exemplos podem nos deixar mais familiarizados com esses assuntos: a televisão de LCD, os telefones celulares, o GPS, aparelhos de Raios X, aparelhos de Ressonâncias Magnéticas, computadores, engenharia alimentícia - produção e conservação de alimentos - entre outros. Com esse projeto, não temos o objetivo de detalhar todos os leques tecnológicos

relacionados à FMC, e sim dar uma ideia aos alunos da importância dessa ciência e enfatizar que as tecnologias e aplicações abordadas a seguir estarão intrinsecamente ligadas aos aceleradores de partículas, mas que a FMC não está associada somente a eles.

Alguns aceleradores de partículas, como o LHC, o SLAC e o Tevatron, têm como objetivo estudar partículas que ajudarão os cientistas a entenderem a origem do Universo, conforme já citamos. Porém, com a necessidade de criar dispositivos físicos sofisticados com o intuito de registrar “os rastros” e os comportamentos dessas partículas, algumas dessas tecnologias são adaptadas e aplicadas à comunidade não científica. A exemplo disso, temos a criação da “world wide web” (www) - que em português significa Rede de Alcance Mundial -, o desenvolvimento da protonterapia e a irradiação com o isótopo de cobalto para a conservação de alimentos.

A primeira foi desenvolvida no CERN, por volta de 1989, pelo cientista Tim Berners-Lee, com o propósito de facilitar a comunicação entre todos os pesquisadores que desenvolviam trabalhos nesse centro de pesquisa. Mais tarde, essa ideia foi estendida às universidades e a outros centros para que trabalhos acadêmicos fossem utilizados por cientistas e estudantes de outras partes do mundo. Essa extensão revolucionou a Internet, a qual tinha os seus alcances limitados até então. É importante destacar que a internet, desenvolvida por volta de 1969, não foi desenvolvida com tecnologias construídas para aceleradores de partículas, e a sua finalidade era bem diferente do que a conhecemos atualmente. Hoje praticamente todas as pessoas, sendo elas pertencentes aos meios acadêmicos ou não, estão conectadas com o mundo, tendo acesso aos mais diversificados meios de informações.

A segunda aplicação, ou seja, a protonterapia, é uma terapia adotada para o tratamento de câncer, utilizando-se de feixes de prótons - daqui deriva o seu nome: protonterapia. A área médica tem destaque quando o assunto é aceleradores de partículas, muitas pessoas são beneficiadas com tratamentos radioterápicos desenvolvidos nos laboratórios de aceleradores de partículas. Conforme cita Santoro:

Nos Estados Unidos, duas Instituições, a Loma Linda University e o Fermilab desenvolveram um projeto em colaboração e juntos construíram o primeiro hospital dedicado ao tratamento do Câncer baseado inteiramente em um complexo de aceleradores para este fim. A produção de isótopos de vida extremamente curta dá-se dentro dos próprios hospitais por pequenos aceleradores, com finalidade médica, proporcionando tratamentos e visualização de doenças no organismo humano (CARUSO e SANTORO, 2012, p. 138).

A relação entre o desenvolvimento dessa tecnologia para o tratamento de câncer e os aceleradores de partículas utilizados para fazer estudo sobre a origem do Universo é que em ambos são utilizados feixes de prótons altamente energéticos, variando de elétronVolts (eV) até TeraelétronVolts (TeV).

Nesta abordagem tecnológica, não poderíamos deixar de citar a tecnologia que está revolucionando o mercado tecnológico: a nanotecnologia. Com ela é possível manipular átomo por átomo, o que dá aos cientistas possibilidades de construir materiais que não existem na natureza ou, ainda, melhorar os já existentes, abrindo portas para os mais variados tipos de materiais e aplicações: supercomputadores, semicondutores, nanotubos de carbono, nanochip, entre outros. Aqui no Brasil essa tecnologia só foi possível graças ao Laboratório Nacional de Luz Síncrotron (LNLS), um dos quatro laboratórios que fazem parte do Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais (CNPEM). No que se refere ao LNLS, Toma cita que:

A fonte de Luz Síncrotron instalada em Campinas, única em todo o Hemisfério Sul, torna possível desvendar a estrutura dos materiais. O equipamento, desenvolvido inteiramente por cientistas brasileiros e concluído em 1997, gera uma energia potente, que abrange quatro faixas do espectro eletromagnético: a visível e outras três que o olho humano não percebe: o raio-X, o ultravioleta e o infravermelho. Com esses raios, os cientistas podem “ver” muitas características dos materiais. E enxergar o mundo nanométrico é enxergar o próprio futuro da ciência (TOMA, 2009, p. 87).

A Luz Síncrotron descrita pelo autor é produzida pelo acelerador UVX. Conforme já citamos, atualmente está em construção um novo acelerador de partículas: o SÍRIUS. O autor cita, ainda, que “a nanotecnologia é vista, pela maioria dos países, como a alavanca que poderá conduzir a patamares mais elevados no *ranking* da economia global.” De acordo com informações do diretor responsável pelo projeto SÍRIUS, Antônio José Roque, o novo acelerador produzirá radiação que será capaz de analisar a composição detalhada dos

mais diversos materiais, beneficiando diversos setores do país, como a agricultura, a medicina, a biologia e até mesmo a arqueologia (CNPEM - CENTRO NACIONAL DE PESQUISA EM ENERGIA E MATERIAIS, 2015).

A figura 14 nos dá uma visão resumida de alguns aceleradores de partículas, bem como a finalidade de cada um deles:

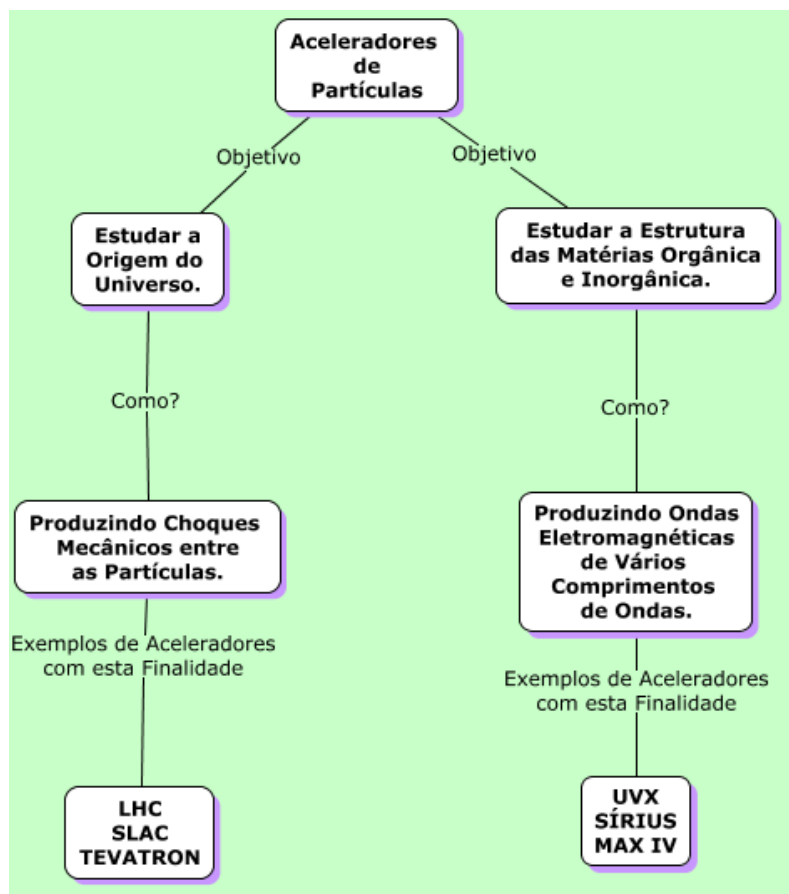


Figura 14. O mapa conceitual descreve as duas principais funções dos aceleradores de partículas. Na coluna da esquerda, os aceleradores focam o estudo da origem do Universo, enquanto que os da direita focam o estudo das estruturas dos materiais, sejam eles orgânicos ou inorgânicos. É importante destacar aqui que estes não são os únicos aceleradores de partículas.

SETOR ECONÔMICO

No setor econômico, principalmente com as tecnologias desenvolvidas nos aceleradores de Luz Síncrotron, os países mais desenvolvidos investem milhões de dolares no setor, pois acreditam que o retorno provocará um aumento considerável no PIB do país. Para que esse retorno ocorra a curto ou médio prazo, as autoridades públicas de alguns países vêm trabalhando para

que haja um estreitamento da relação entre centros de pesquisas e indústrias, principalmente as privadas. O gráfico e a tabela abaixo, respectivamente, nos dão uma idéia geral dos investimentos associados à nanotecnologia - seja ela aplicada à geração de produto ou como tecnologia de capacitação - feitos por setores industriais e do crescimento econômico dos Estados Unidos desde 2002 com previsão até 2020:

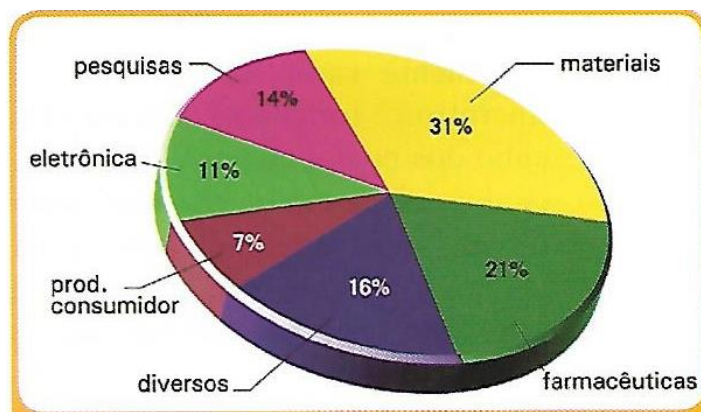


Gráfico 01. Investimento em Nanotecnologia.
Fonte: Chemical and Engineering News, 2003.

Área/Ano	2002	2007	2012	2020	%
Crescimento Anual					
Minerais	140	675	2100	11500	28
Metais	45	150	500	3000	26
Polímeros/Química	5	175	1400	15500	56
Novos Materiais	10	100	500	5000	41
Total	200	1100	4500	35000	33

Tabela 01. Expectativa de crescimento do mercado nos EUA em nanomateriais (U\$ milhões)
Fonte: Chemical and Engineering News, 2003

Sobre o aquecimento da economia dos Estados Unidos, vemos na tabela que para 2020 a previsão para o mercado está na ordem de trinta e cinco bilhões de dolares, o que corresponde a um aumento no crescimento em trinta e três por cento. Conforme já citamos, não só a nanotecnologia contribui para este crescimento, mas praticamente todos os ramos da FMC, e isso não ocorre somente nos Estados Unidos. Fontes confiáveis informam que em alguns países a FMC tem contribuído positivamente no PIB, conforme podemos ver em Sociedade Brasileira de Física (SBF), 2005, p. 129: “até 2015,

os bens e serviços de base nano tecnológica deverão ultrapassar US\$ 1 trilhão anuais.” Em Ruzzi (2008, p. 21), encontramos que “em torno de 30% do PIB mundial está ligado à Física Moderna.” Toma (2009, p.87) afirma que “nos EUA, as projeções na área de nanomateriais apontam para um crescimento de 33% ao ano, que ampliarão o mercado de US\$ 35 milhões, de 2002, para algo em torno de US\$ 35 bilhões em 2020.”

Assim como algumas indústrias possuem ramificações para outros setores que dão suporte à fabricação de seus produtos, no caso dos aceleradores de partículas são eles que dão suporte para outros ramos, tanto na indústria como na prestação de serviços. A figura 15 resume essa descrição.

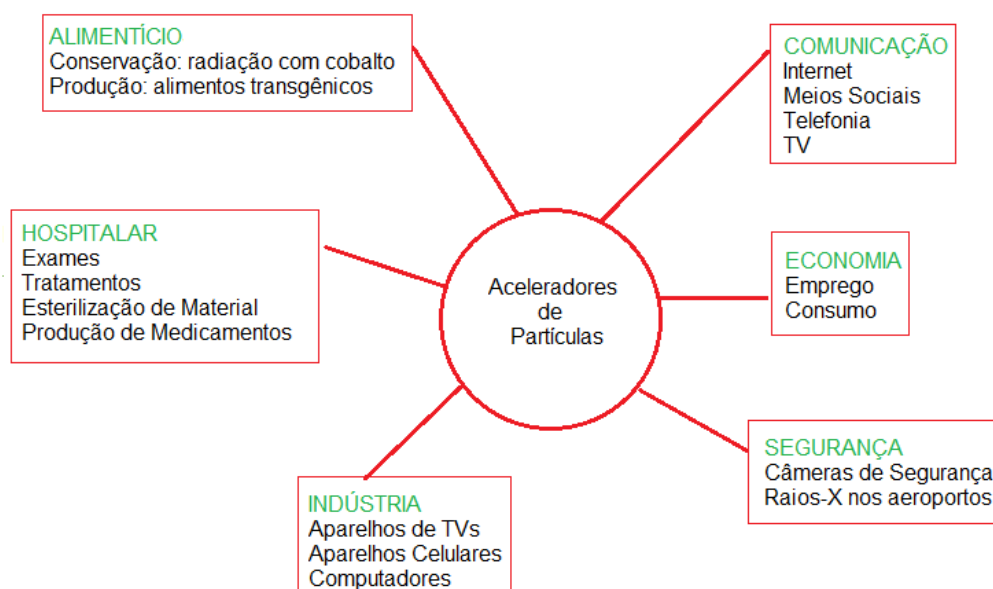


Figura 15. Ilustração das contribuições que os aceleradores de partículas têm contribuído com tecnologias e aplicações para o desenvolvimento de outros setores.
Fonte: Autor

Com esses argumentos, esperamos que os alunos compreendam que as verbas aplicadas na construção e manutenção de aceleradores de partículas, sejam eles desenvolvidos para a compreensão da criação do Universo ou para os estudos da matéria – orgânica e inorgânica – não sejam vistos como gastos, mas sim como investimento.

Atividade 05

Objetivo: Entender os conceitos sobre o Modelo Padrão estudando as partículas de constituição da matéria e as partículas de interação. A “vídeo aula” apresenta de forma dinâmica as partículas elementares e as famílias que cada uma delas faz parte.

Acessar o site https://www.youtube.com/watch?v=FAISMNkR_WM, assistir ao vídeo O discreto charme das partículas elementares I, II, III, IV e V. Os cinco vídeos totalizam, aproximadamente, 50 minutos. Na sequência, cada grupo deve fazer um relatório abordando os seguintes itens:

- I-) O assunto principal do vídeo;
- II-) Os assuntos secundários;
- III-) O cenário;
- IV-) Outras considerações que acharem necessárias.

Atividade 06

Objetivos: Memorizar os nomes das principais partículas do Modelo Padrão, os símbolos que as representam, conhecer se uma determinada partícula é elementar ou não, e ter noção da ordem de grandeza da energia das principais partículas.

Jogo de Cartas: bárions e léptons.

Partida	Jogadores					
	1		2		3	
1	Bárion		Bárion		Bárion	
	Quarks		Quarks		Quarks	
	Energia		Energia		Energia	
2	Bárion		Bárion		Bárion	
	Quarks		Quarks		Quarks	
	Energia		Energia		Energia	
3	Bárion		Bárion		Bárion	
	Quarks		Quarks		Quarks	
	Energia		Energia		Energia	
	Total		Total		Total	

Tabela representando o número de jogadores e o número de partidas por jogo. Em cada partida, os jogadores devem preencher a tabela com o nome de cada bárion formado, com o nome das partículas que o constitui e a sua energia.

Questões para serem respondidas após o jogo:

- 01) O que são bárions? Dê um exemplo;
- 02) O que são mésons? Dê um exemplo;
- 03) O que são léptons? Dê um exemplo;
- 04) O que é uma antimatéria? Como os físicos representam a antimatéria, ou seja, a simbologia?
- 05) O que são fótons? Como eles são produzidos?

Atividade 07

Objetivo: Reforçar o aprendizado sobre partículas elementares estudadas no Modelo Padrão de forma lúdica e dinâmica.

Acessar o site <https://www.sprace.org.br/sprace-game/sprace-game-v2-pt>, fazer leitura do texto e participar de algumas partidas do jogo virtual. Na sequência, os alunos devem fazer um relatório abordando os seguintes itens:

- I-) Quem criou o jogo;
- II-) Quando o jogo foi criado;
- III-) O objetivo do jogo;
- IV-) As missões do jogo;
- V-) O cenário;
- VI-) As principais dificuldades
- VII-) Outras considerações que acharem necessárias.

Atividade 08

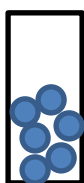
Objetivo: desenvolver atividade prática com construção de modelos de bárions e mésons

MATERIAL

- 1-) Esferas de plástico (miçangas) , com diâmetro, aproximadamente, de 1cm. É necessário esferas com seis cores diferentes, conforme seguem: azul, verde, vermelho, ciano, magenta e amarelo. As três primeiras representam os quarks e as demais representam os antiquarks. Todas as esferas possuem furos que as atravessam diametralmente. São necessárias cinco miçangas para cada aluno;
- 2-) Seis recipientes de, aproximadamente, meio litro cada;
- 3-) Espiral de plástico (semelhantes aos de caderno) de comprimento igual a 15cm, com diâmetro inferior ao diâmetro dos furos das miçangas;
- 4-) Cola de secagem rápida;
- 5-) Caneta hidrográfica permanente de ponta fina;
- 6-) Bola acrílica bipartida transparente com diâmetro de 5cm ou 6cm;

MÃO-NA-MASSA

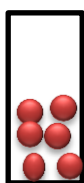
- a-) Colocar as partículas (miçangas) de cada cor nos recipientes de meio litro. Deixar as miçangas separadas por cor, conforme figura abaixo:



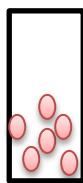
azul



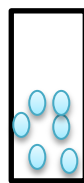
verde



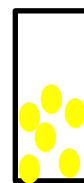
vermelho



magenta



ciano



amarelo

- b-) Os alunos devem retirar dos recipientes esferas para formarem um bárion e um méson;
- c-) Cada aluno deve ficar com um espiral de 15cm;

d-)Os espirais serão introduzidos nos furos das três esferas, no caso do bário, conforme figura 01, ou introduzi-los nos furos de duas esferas, no caso de méson, conforme figura 02.

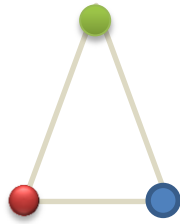


figura 01



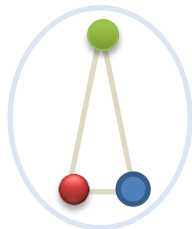
figura 02

e-)Com a cola de secagem rápida, fixar as esferas aos espirais;

f-)Com a caneta hidrográfica permanente, de ponta fina, anotar em cada trio das esferas que representam os quarks, a primeira letra de cada partícula;

g-)Com a caneta hidrográfica permanente de ponta fina, anotar em cada par das esferas que representam os quarks e antiquarks, a primeira letra de cada partícula;

h-)Colocar a estrutura formada na figura 01, já com a esfera de cada quark identificada, dentro da esfera acrílica bipartida, conforme figura abaixo;



Pronto, os modelos de bárions e mésons estão construídos;

Atividade 09

INVESTIGAÇÃO “CIENTÍFICA”: As Pegadas

Objetivo: Proporcionar aos alunos uma ideia de como os cientistas desenvolvem suas pesquisas: investigação e criação de hipóteses.

Importante: a questão de número três deve ser apresentada somente depois que os alunos responderem e discutirem as questões um e dois.

Observe a figura a seguir. Ela representa pegadas que foram deixadas em um local.



Fonte: material de apoio ao currículo do estado de São Paulo. Caderno do aluno. Física – Ensino Médio – 3ª série – volume 2 – página 66. Com adaptação do autor deste produto educacional.

01-) Invente e relate uma história que forneça uma explicação para a imagem observada;

02-) O que se pode concluir com base nas várias histórias ou explicações dadas para a figura?

03-) Se o cenário em que ocorrem as pegadas fosse especificado, por exemplo, o pátio da escola, quais ou quantas histórias contadas pelos alunos seriam “refutadas”?

Atividade 10

INVESTIGAÇÃO “CIENTÍFICA”: Espaço Sideral

Objetivo: Proporcionar aos alunos uma ideia de como os cientistas desenvolvem suas pesquisas: investigação e criação de hipóteses.

O vídeo⁸ mostrará uma situação que deverá ser investigada por cada grupo. O vídeo tem duração de 5 minutos, mas ele terá três pausas: após 10, 15 e 26 segundos.

Primeira Pausa (t=10 segundos): Descreva o que a primeira imagem representa para o seu grupo;

Segunda Pausa (t=15 segundos): O grupo ainda continua com a descrição anterior? Se houver novas informações, descreva-as no espaço abaixo:

Terceira Pausa (t=26 segundos): As afirmações/ideias levantadas anteriormente permanecem? Se não, descreva as novas informações.

Agora, formule hipóteses que possam convencer aos demais grupos que o seu grupo está seguindo a linha correta de investigação.

Discussão aberta à turma: Confirmação ou refutação das hipóteses

Que (ais) argumento (s) o seu grupo tem para confirmar ou refutar a (s) hipótese (s) dos outros grupos?

Para finalizar, assista ao vídeo até o fim.

⁸ o vídeo pode ser visto, também, acessando: <https://sites.google.com/site/fisicacientec/>

SUGESTÃO DE VÍDEOS

- 1- Música original: é preciso saber viver
Compositor: Erasmo Carlos e Roberto Carlos
Publicação: 22 de maio de 2013
Paródia: é preciso um LHC
Duração: 4:08
Compositor: Ricardo Meloni.
<https://www.youtube.com/watch?v=pdAov4muO8o>
Acessado: 20 de novembro de 2015

O vídeo musical faz referências ao LHC. Ele cita a localização do LHC, seus principais componentes e objetivos.

- 2- (O anel de colisões (LHC) do CERN em 10 minutos, 2008-2015)
<http://cds.cern.ch/record/1129494>

Neste vídeo é feita uma visita virtual ao LHC. Nele, há entrevista com alguns cientistas que trabalham nesse centro de pesquisas. O vídeo aborda a localização do LHC, as suas dimensões e o porquê de sua construção.

- 3- DVD – O DISCRETO CHARME DAS PARTÍCULAS ELEMENTARES
Ilustrações do livro: o discreto charme das partículas elementares
Autora: Maria Cristina Botoni Abdalla
(52'00").
TV Escola – Realização TV Cultura e Ministério da Educação.
Vídeo disponível em:
https://www.youtube.com/watch?v=FAISMNkR_WM
Publicação: 26 de novembro de 2008.
Acessado: 20 de outubro de 2015.

Neste vídeo, a autora faz referências às partículas subatômicas, bem como as partículas elementares. Há uma classificação das partículas em léptons e bárions e, ainda, aborda as diferenças entre as partículas constituintes da matéria e as partículas de interação.

- 4- Quem você pensa que é?
Publicação: 5 de abril de 2010
Duração:10:55
Por: Alexandre Arrenius Elias
<https://www.youtube.com/watch?v=6lgtwxeslwQ>
Acessado: 05 de janeiro de 2016

O vídeo nos dá uma ideia de ordem de grandeza, em notação científica, do microscópico ao macroscópico. Ele faz uma “viagem” ao espaço sideral chegando até a potência de 10^{21} fazendo referências ao infinito. Depois ele regride até chegar à potência de 10^{-15} , quando cita o núcleo atômico e os quarks.

5- Visões do Futuro: a revolução quântica

Publicação: 23 de janeiro de 2014.

Duração: 58:32

Categoria: tecnologia

http://www.dailymotion.com/video/x1a61fr_a-revolucao-quantica-documentario-2007_tech

Acessado em 15 de janeiro de 2016

O vídeo A Revolução Quântica cita diversas tecnologias da atualidade que já estão sendo aplicadas, bem como cita tecnologias que estão sendo desenvolvidas e que em um futuro não muito distante farão parte de nossas vidas. Alguns dos assuntos são: plasma, supercondutores, tecnologia espacial, nano chip, etc.

6- How does proton therapy work?

Publicação: 29 de janeiro de 2013

Duração: 2:44

Categoria: tecnologia

<https://www.youtube.com/watch?v=MS590Xtq9M4>

Acessado: 10 de janeiro de 2016

Adaptação de áudio feita pelo autor deste Produto Pedagógico Educacional.

Este vídeo mostra uma das descobertas feitas em um acelerador de partículas e que hoje é aplicada no tratamento do câncer. Vale citar que a construção de acelerador de partículas foi para o estudo da origem do Universo, mas que algumas descobertas feitas ao acaso ou invenções que foram feitas para sanar dificuldades encontradas nas pesquisas estão sendo aplicadas em tratamentos médicos, comunicações, segurança, entre outros.

7- Olhar Digital: para que serve um acelerador de partículas?

Publicação: 06 de junho de 2011

Duração: 4:16

Categoria: Ciência e Tecnologia

<https://www.youtube.com/watch?v=voc5ydW9jdA>

Acessado: 20 de novembro de 2015

Aqui encontramos uma abordagem feita em um acelerador de partículas construído com a finalidade de estudar a estrutura da matéria e não a sua origem. O acelerador em questão é o UVX, o qual fica em Campinas, cidade do interior de São Paulo. O vídeo aborda as diversas aplicações que estão sendo feitas nas indústrias – farmacêuticas, petroquímicas, alimentícias – bem como a substituição desse acelerador por um mais moderno: maior e mais potente. Vale a pena conferir.

QUESTIONÁRIO AVALIATIVO

Durante o 1º trimestre de 2016, os assuntos estudados em Física Moderna e Contemporânea foram abordados com métodos e/ou metodologias diversificados para que atingíssemos melhor compreensão dos conteúdos. Para cada item abaixo, levando em consideração o que mais contribuiu para a sua aprendizagem, atribua uma nota de 0 a 10. Caso não tenha participado, assinale Não Participei (NP).

MÉTODO/METODOLOGIA	NOTA											
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	NP
Aulas expositivas.												
Leitura de texto (discussão em grupo).												
Construção de Mapa Conceitual.												
Visitas Técnicas	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	NP
Física (IFUSP).												
Virtual (CERN).												
Vídeos	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	NP
O Discreto Charme das P. Elementares.												
Quem você pensa que é?												
Visões do Futuro – a nanotecnologia.												
How does próton therapy work?												
Para que serve um acelerador de partículas (LNLS: UVX e o SÍRIUS).												
Jogos/Atividade Prática	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	NP
SPRACE (jogo virtual).												
Cartas – bárions e léptons.												
Mão-na-Massa												
Investigação	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	NP
Investigação Científica: Pegadas.												
Investigação Científica: Espaço Sideral.												

BIBLIOGRAFIA

ABDALLA, M. C. B. **Bohr, o arquiteto do átomo**. 2ª. ed. São Paulo: Odysseus, 2006.

ABDALLA, M. C. B. **O discreto charme das partículas elementares**. São Paulo: UNESP, 2006.

ALFONSO-GODFARB, A. M. et al. **Percursos de História da Química**. 1ª. ed. São Paulo: Livraria da Física, 2016.

AMALDI, U. **Imagens da Física**. 1ª. ed. São Paulo: Scipione, 2006.

ARAGÃO, M. J. **História da Química**. Rio de Janeiro: Interciênica, 2008.

ARAÚJO, N. R. S. et al. Mapas Conceituais como Estratégia de Avaliação. **Semina**, Londrina, v. 28, p. 47-54, janeiro-junho 2007. ISSN 1.

BAEYER, H. C. V. **A Física e o Nosso Mundo**. 2004. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 1994.

BALTHAZAR, W. F.; OLIVEIRA, A. L. **Partículas Elementares no Ensino Médio: uma abordagem a partir do LHC**. Instituto Federal de Educação, ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro. Nilópolis, p. 94. 2008.

BEGALLI, M.; CARUSO, F.; PEDRAZZI, E. O Desenvolvimento da Física de Partículas. In: AUTORES, V. **Do átomo grego à Física das Interações Fundamentais**. 3ª. ed. São Paulo: Livraria da Física, 2012. Cap. 5º, p. 195.

BORISSEVITCH, I. E.; GONÇALVES, P. J.; SCHABERLE, F. A. **Fundamentos da Espectroscopia de Absorções Óptica**. 1ª. ed. São Paulo: Livraria da Física, 2016.

BRASIL - MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA. **Secretaria da educação Média e Tecnológica**. 3ª. ed. Brasília-DF: [s.n.], 2001.

BRASIL, MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO, SECRETARIA DE EDUCAÇÃO MÉDIA E TECNOLÓGICA. **Parâmetros Curriculares Nacionais: Ensino Médio**. Brasília: [s.n.], 1999.

BRENNAN, R. P. **Gigantes da física: uma história da física moderna através de oito biografias**. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 2003.

CARUSO, F.; SANTORO, A. **Do átomo grego à Física das Interações Fundamentais**. 3ª. ed. São Paulo: Livraria da Física, 2012.

CNPEM - CENTRO NACIONAL DE PESQUISA EM ENERGIA E MATERIAIS. Conheça o Sírius, o mais novo acelerador de partículas brasileiro. **CNPEM**, 2015. Disponível em: <<http://cnpem.br/conheca-sirius-o-novo-acelerador-de-particulas-brasileiro/>>. Acesso em: 10 maio 2016.

COSTA, S. F. **Método Científico - Os caminhos da investigação**. São Paulo-SP: HARBRA, 2001.

CRUZ, F. F. D. S. **Faraday & Maxwell - luz sobre os campos**. 2014. ed. São Paulo: Odysseus, 2005.

FARIAS, R. F. D. **Para Gostar de Ler a História da Química**. [S.l.]: Átomo e Alínea, 2013.

FERNANDA OSTERMANN, M. A. M. Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa "Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio". **Revista Investigações em ensino de ciências do Instituto de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul**, Porto Alegre, v. 5, n. 16, p. 7-64, janeiro 2000a. ISSN 1.

FERRARI, T. T. Física III_02: Carga Elétrica. **Slideshare**, 2014. Disponível em: <Fig. 01- Mapa conceitual do modelo padrão relacionando as partículas e as suas interações. Fonte: <http://pt.slideshare.net>>. Acesso em: 15 novembro 2015.

FILGUEIRAS, C. A. L. Duzentos Anos da Teoria Atômica de Dalton. **Química Nova na Escola**, p. 38 - 44, novembro 2004.

GELL-MANN, M. **"O Quark e o Jaguar"**. [S.l.]: Rocco, 1993.

GIL, A. C. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. 4ª. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GILMORE, R. **Alice no país do quantum: uma alegoria da física quântica**. Rio de Janeiro: Zahar , 1998.

GODINHO, R. D. S. Renascimento: uma nova concepção de mundo através de um novo olhar para a natureza. **DataGramZero - revista de informação**, Rio de Janeiro, v. 13, fevereiro 2012.

GOUIRAN, R.; WEIDENFELD, G. **Particles and Accelerators**. Porto-Portugal: Inova, v. 7º, 1967.

GRECA, I. M.; MOREIRA, M. A.; HERSCOVITZ, V. E. Uma Proposta para o Ensino de Mecânica Quântica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, Porto Alegre, v. 23, p. 444-457, dezembro 2001. ISSN 4.

GREIS, L. K.; REATEGUI, E. Um Simulador de Fenômenos Físicos para Mundos Virtuais. **Relatec - Revista Latinoamericana de Tecnologia**, v. 10, p. 10, 2010. ISSN 1.

JOHANN, J. R. **Introdução ao Método Científico**. Canoas-RS: ULBRA, 1997.

JOSHI, C. A onda do Plasma. **Scientific American Brasil**, São Paulo, p. 33-39, março 2006. ISSN 46.

JUNG, C. F. **Metodologia Científica e Tecnológica**. Unisc. [S.I.], p. 357. 2003.

JÚNIOR, J. T. et al. **Ciências, natureza & cotidiano: criatividade, pesquisa, conhecimento**. São Paulo: FTD, 2009.

JUNIOR, O. P. **Conceitos de Física Quântica**. 1. ed. São Paulo: Livraria da Física, 2003.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. **Metodologia Científica**. São Paulo: Atlas, 1991.

MACHADO, D. I.; NARDI, R. Construção de conhecimentos sobre Física moderna e sobre a natureza da ciência com o suporte da hipermídia. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, Porto Alegre, v. 28, p. 473-485, dezembro 2006. ISSN 4.

MARCONI, M. D. A.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos de Metodologia Científica**. 6ª. ed. São Paulo: Atlas, 2005.

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

MARTINS, R. D. A. O éter ou o nada. **www.ghc.usp.br**. Disponível em: <<http://www.ghc.usp.br/server/pdf/Sci-Am-eter-2.PDF>>. Acesso em: 20 janeiro 2016.

MELLO, C. O Início do Obscurantismo. **RicardoOrlandini**, Porto Alegre-RS, 27 abril 2011. 2.

MÉTODO Científico. Disponível em: <http://user.das.ufsc.br/~cancian/ciencia/ciencia_metodo_cientifico.html>. Acesso em: 10 outubro 2015.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO. Ciência e Tecnologia. **Portal Brasil**, 2014. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/>>. Acesso em: 10 abr. 2016.

MOREIRA, M. A. Ensino de Física no Brasil: Retrospectiva e Perspectiva. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, Porto Alegre, v. 22, p. 94-99, março 2000. ISSN 1.

MOREIRA, M. A. O Modelo Padrão da Física de Partículas. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, Porto Alegre - RS, v. 31, n. 01, abril 2009.

MOREIRA, M. A. **Mapas Conceituais e Aprendizagem Significativa**. [S.l.]: Centauro, 2010.

MOREIRA, M. A. **Teorias de Aprendizagem**. 2. ed. São Paulo: EPU, 2011.

MOREIRA, M. A.; MASINI, E. F. S. **Aprendizagem Significativa**. 1ª. ed. São Paulo: Centauro, 2001.

MOTA, R. et al. **Método Científico & Fronteiras do Conhecimento**. Santa Maria: Cisma, 2003.

NEVES, L. S. D.; FARIAS, R. F. D. **História da Química - um livro texto para graduação**. 2ª. ed. Campinas - SP: Átomo, 2011.

O anel de colisões (LHC) do CERN em 10 minutos. Direção: Silvano de Gennano. Produção: Silvano de Gennano. Intérpretes: CERN Communication Group. [S.l.]: CERN Communication Group. 2008-2015.

OLIVEIRA, I. S. **Física Moderna: para iniciados, interessados e aficionados**. 2ª. ed. São Paulo: Livraria da Física, 2010.

OSTERMANN, F. **Tópicos de Física contemporânea em escolas de nível médio e na formação de professores de Física**. Universidade Estadual do Rio Grande do Sul. Porto Alegre - 1999. 1999. 175f. Tese (Doutorado em Ciências) -.

PARKER, S. **Caminhos da Ciência: Marie Curie e a Radioatividade**. São Paulo: Scipione, 1996.

PARTICLE accelerator. **Taking a closer look at LHC**, 2010. Disponível em: <<http://www.lhc-closer.es/>>. Acesso em: 6 março 2016.

PELIZZARI, A. et al. Teoria da Aprendizagem Significativa Segundo Ausubel. **Rev. PEC**, Curitiba, v. 2, p. 37-42, julho 2001/2002. ISSN 1.

PEREIRA, A. P.; OSTERMANN, F. SOBRE O ENSINO DE FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA: UMA REVISÃO DA PRODUÇÃO ACADÊMICA RECENTE. **Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v. 14, p. 393-420, dezembro 2009. ISSN 3.

PERUZZO, F. M.; CANTO, E. L. D. **Química na abordagem do cotidiano**. São Paulo: Moderna, v. 1, 2010.

PERUZZO, J. **Física Quântica: conceitos e aplicações**. 1ª. ed. Concórdia - SC: Irani, 2014.

PINTO, A. C.; ZANETIC, J. É possível levar a física quântica para o ensino médio? **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 16, p. 7-34, abril 1999. ISSN 1.

PIRES, A. S. T. **Evolução das Ideias da Física**. 2ª. ed. São Paulo: Livraria da Física, 2011.

PIRES, A. S. T.; CARVALHO, R. P. **Por dentro do Átomo**. 1ª. ed. São Paulo: Livraria da Física, 2014.

PLEITEZ, V. Inateração Colorida no Mundo dos Quarks: quanto mais próximos mais livres. **Física na Escola**, v. 5, p. 31 a 33, 2004. ISSN 02.

QUIMLAB-SOLUÇÕES em química. **quimilab.com.br**. Disponível em: <http://www.quimilab.com.br/guiadoselementos/conceito_elemento.htm>. Acesso em: 07 fevereiro 2016.

ROCHA, J. F. M. et al. **Origens e Evolução das Ideias da Física**. Salvador: EDUFBA, 2011.

ROSADO, R. M. Escola de Física Cern. **Youtube**, 2013. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=pdAov4muO8o>>. Acesso em: 15 novembro 2015.

ROSENFELD, R. **Feynman & Gell-Mann: luz, quarks, ação**. 1ª. ed. São Paulo: Odysseus, 2003.

ROSMORDUC, J. **Uma História da Física e da Química**. 2ª. ed. Rio de Janeiro: Zahar, 1988.

RUZZI, M. **Metodologia do Ensino de Matemática e Física - Física Moderna: Teorias e Fundamentos**. Curitiba: Epbex, v. 8, 2008.

SAIZ, F. **Método Científico**. UFSC. [S.l.], p. 8. 2011.

SANCHES, M. B.; NEVES, M. C. D. **A Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio- uma reflexão didática**. Maringá: Eduem, 2011.

SANTOS, J. C. F. D. **Aprendizagem Significativa: modalidades de aprendizagem e o papel do professor**. 5ª. ed. Porto Alegre: Mediação, 2013.

SOCIEDADE Brasileira de Física. In: _____ **Física para o Brasil: Pensando o Futuro**. São Paulo: [s.n.], 2005. p. 248.

STRATHERN, P. **Borh e a teoria quântica em 90 minutos**. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 1999.

TERRAZAN, E. A. A Inserção da Física Moderna e Contemporânea no Ensino de Física na Escola de 2º Grau. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 9, p. 2009-2014, dezembro 1992. ISSN 3.

TOMA, H. E. **O mundo NANOMÉTRICO**: a dimensão do novo século. 2ª. ed. São Paulo: Oficina de Textos, v. 1, 2009.

VALADARES, E. D. C.; MOREIRA, M. A. Ensinando Física Moderna no Segundo Grau: Efeito fotoelétrico, laser e emissão de corpo negro. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 15, p. 121-135, agosto 1998. ISSN 2.

WIKI.STOA.USP. O que é o Observatório Auger na Argentina? **wiki.stoa.usp**, 2013. Disponível em: <<http://wiki.stoa.usp.br/>>. Acesso em: 04 abril 2016.