

O BÓSON DE HIGGS – Uma fantástica aventura*

TÂNIA DARGAM**
Professora Doutora
NEIDE GONÇALVES**
Professora Doutora

SUMÁRIO

Do que é feito o mundo?
Interações, forças fundamentais e o modelo padrão
Simetrias – mecanismo de Higgs e a quebra espontânea de simetria
O bóson de Higgs
Uma fantástica aventura

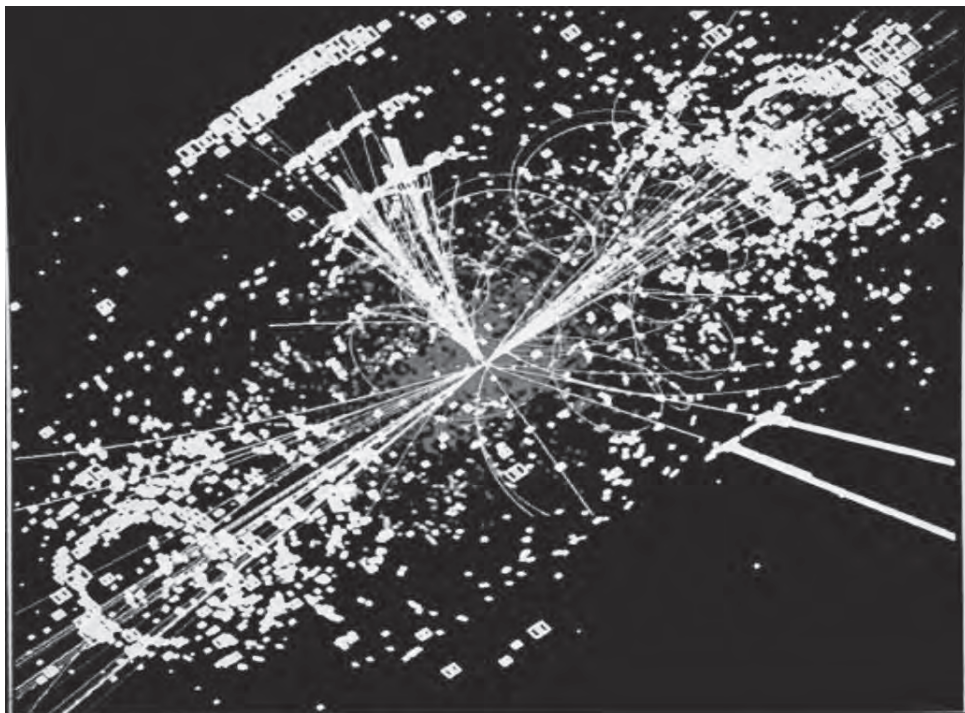
DO QUE É FEITO O MUNDO?

Essa foi a primeira pergunta da filosofia ocidental. Na Grécia antiga, uma corrente de filósofos acreditava que o universo inteiro reduzia-se a um, dois ou alguns poucos componentes da matéria. Tales de Mileto (624-558 a.C.) acreditava que toda a imensa diversidade da natureza podia ser representada por um único elemento, a água. De certa forma ele foi o filósofo

precursor desse ímpeto de explicar o mundo à sua volta. Vieram outros, depois, para corrigir, modificar e ampliar essa descrição, incluindo novos elementos. Para Anaximenes de Mileto (588-524 a.C.), o elemento primordial era o ar, pois do ar em compressão se obtém água; para Xenófanes de Cólofon (570-475 a.C.), a terra seria o elemento mais primitivo do universo; já para Heráclito de Éfeso (535-475 a.C.), o fogo seria o constituinte mais elementar.

* Artigo publicado originalmente na Revista de Villegagnon nº 9, 2014.

** Doutora em Física pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Professora da Escola Naval.



Evento simulado no detector de CMS (Solenóide de Múon Compacto) em que aparece o bóson de Higgs

Passou-se a acreditar, então, que os elementos fundamentais da natureza eram o fogo, a terra, a água e o ar.

Uma descrição mais elaborada deu-se por volta do quinto século antes de Cristo, quando o filósofo grego Demócrito de Abdera (460-370 a.C.), aluno de Leucipo, desenvolveu a chamada teoria atomista criada por seu mestre. A palavra átomo é derivada do grego *atomos*, que significa indivisível. Essa escola acreditava que toda a matéria do mundo era composta por partículas muito pequenas que não podiam ser destruídas nem quebradas. Evidentemente, não era possível a Demócrito valer-se de qualquer experiência que desse suporte a sua crença, e alguns de seus contemporâneos assimilaram a noção proposta por ele, mas não a maioria, que preferia o ponto de vista de que a matéria que constitui o nosso mundo apresenta uma estrutura contínua.

Mais tarde, Aristóteles, que foi o grande sistematizador da ciência na Antiguidade, adotou o conceito de matéria contínua e renegou o conceito de átomo, o que influenciou a maior parte dos pensadores posteriores.

Durante a Idade Média (século V ao XV), os alquimistas mantiveram em seus trabalhos a proposta aristotélica e, assim, a ideia da matéria ser composta por átomos indivisíveis hibernou por mais de 24 séculos! Somente quando a Ciência Moderna se delineava, do final do século XVI ao início do século XVII, o conceito de átomo timidamente reaparece.

John Dalton, que é considerado o pai da teoria atômica moderna, publicou em 1808 sua teoria atômica com o título “Um novo sistema da filosofia química”. Para ele, a existência dos átomos era a única ideia que poderia explicar certas propriedades dos

gases. Isto o levou a formular e postular a Lei das Proporções Definidas, sendo esta a primeira tentativa de relacionar o átomo com a Química. A ideia principal era de que toda a matéria seria composta por átomos, todos os átomos de um dado elemento químico seriam idênticos e átomos de diferentes elementos químicos difeririam quanto a sua massa e outras propriedades.

Apenas a experimentação permite descobrir se a natureza pode ou não ser descrita por modelos e teorias elaboradas pelos físicos teóricos. Portanto, é essencial desenvolver instrumentos que possam explorar minuciosamente o cerne da matéria. A resposta que obtemos sobre qual é este cerne depende do nível de sensibilidade dos experimentos, ou seja, da tecnologia disponível. Antigamente, por exemplo, acreditava-se que o átomo fosse indivisível, ou seja, que era uma partícula elementar. As experiências realizadas por J. J. Thomson, em 1897, revelaram a existência do elétron, e as de Rutherford, em 1911, mostraram que as cargas positivas estão concentradas em um pequeno núcleo atômico. Assim, provou-se que o átomo não era uma partícula elementar.

Pouco mais de cem anos após a descoberta do núcleo atômico, nosso conhecimento teve um desenvolvimento extraordinário. No entanto, ainda no século XXI, passados mais de 26 séculos, a pergunta “do que é feito o mundo?” continua sendo a questão central da física de partículas, que busca os constituintes fundamentais da matéria, as partículas que compõem todo o Universo.

Hoje, temos já identificadas várias partículas elementares, a partir das quais a matéria do universo é formada e, segundo esse entendimento, há forças fundamentais ligando essas partículas, pois a matéria não pode existir sem a ação dessas interações. Muito se pesquisou para chegarmos até

essas formulações, e as leis que governam o mundo das partículas elementares são fruto consistente de modelos teóricos submetidos à observação experimental. Nesse sentido, grandes aceleradores foram construídos no intuito de se estudar as partículas elementares e como elas interagem entre si. Algumas vezes a descoberta de uma partícula forçou a mudança dos modelos, outras vezes o modelo ou conceitos mais precisos previram a existência de uma partícula nova. E, assim, a Física das Partículas Elementares foi evoluindo até chegar ao que se denomina hoje de Modelo Padrão da Física de Partículas.

INTERAÇÕES, FORÇAS FUNDAMENTAIS E O MODELO PADRÃO

O Modelo Padrão pode ser comparado à tabela periódica da Física de Partículas, mostrada na figura 1. Nele, as partículas elementares são divididas em dois grandes grupos:

- os férmions, que são chamados genericamente de matéria e podem, ainda, ser classificados em dois tipos: léptons e quarks.
- os bósons, que estão associados com as forças fundamentais da natureza. Eles são os mediadores das interações.

Partículas Elementares					
léptons	quarks	u up	c charm	t top	g gluão
		d down	s strange	b bottom	H^0 Higgs
		e elétron	μ muão	τ tau	γ fóton
		ν_e neutrino e	ν_μ neutrino μ	ν_τ neutrino τ	Z^0 bóson Z
férmions			bósons de Gauge		
			bósons		

Figura 1. Tabela Periódica da Física de Partículas Elementares

Até 2012, sabíamos da existência de quatro interações fundamentais da natureza. Duas delas são bastante conhecidas no nosso cotidiano.

1. A força gravitacional, responsável pela atração mútua de massas. A teoria clássica da gravitação é a lei de Newton da Gravitação Universal. Sua generalização relativística é a teoria da Gravitação de Einstein, também chamada de Teoria da Relatividade Geral de Einstein. Para descrever os estágios iniciais da formação do Universo, precisamos de uma teoria quântica da gravitação, algo que os físicos ainda não possuem, apesar dos enormes esforços desenvolvidos para isto. Esta força tem o gráviton como partícula mediadora, ainda não comprovada experimentalmente.

2. A força eletromagnética, que rege a interação entre cargas elétricas, tem como partícula mediadora o fóton. De fato, ondas eletromagnéticas, como a luz ou as micro-ondas, são compostas de fótons.

As duas outras interações são mais sutis e importantes somente no domínio subatômico.

3. A força forte, que é responsável por manter os *quarks* “colados”, formando partículas compostas como prótons e nêutrons. Sabemos, hoje, que os prótons são partículas formadas por três *quarks* e vemos que a interação entre dois prótons é, na verdade, uma interação entre seis *quarks* que trocam glúons incessantemente durante todo o processo. A força forte tem os glúons como partículas mediadoras. O trabalho pioneiro sobre esta interação foi realizado pelo físico japonês Hideki Yukawa em 1934, mas até meados da década de 1970 não havia, realmente, uma teoria capaz de explicar os fenômenos nucleares. Foi então que surgiu a cromodinâmica quântica, que é a teoria física atual que descreve a interação forte e a estrutura dos prótons, nêutrons e partículas similares.

4. A força fraca é aquela que explica os processos de decaimento radioativo, tais como o decaimento beta nuclear, o decaimento do pión, do múon e de várias partículas “estranhas”. É interessante notar que esta força não era conhecida pela Física clássica, sendo sua formulação estritamente quântica, e apresentada pela primeira vez por Fermi, em 1933. As partículas mediadoras associadas à interação fraca são chamadas de *W* e *Z*.

Na década de 1960, modelos teóricos começaram a ser desenvolvidos, no intuito da unificação entre as forças eletromagnética e fraca. Na teoria eletrofraca, independentemente desenvolvida por Glashow, Weinberg e Salam, e que, devido a este trabalho, dividiram o Prêmio Nobel de 1979, as interações fraca e eletromagnética apresentam-se como manifestações diferentes de uma única força – a força eletrofraca. Uma vez que a unificação entre a interação fraca e eletromagnética foi implementada com sucesso, o número de forças existentes no universo reduziu-se a apenas três: a força gravitacional, a eletrofraca e a forte.

Até o momento não existe uma formulação quântica da força gravitacional, o que a impede de entrar no jogo das unificações. Restam, assim, duas forças a serem unificadas, a força forte e a eletrofraca, que é a proposta do Modelo Padrão – um belíssimo modelo matemático com regras muito bem definidas por conceitos matemáticos formais baseados em noções de simetria, como veremos a seguir.

SIMETRIAS – MECANISMO DE HIGGS E A QUEBRA ESPONTÂNEA DE SIMETRIA

Muitas teorias físicas são baseadas em noções de simetria, que podem ser incorporadas matematicamente nos modelos desen-

volvidos pelos físicos teóricos. Simetria é, basicamente, uma mudança que deixa tudo igual ao que era antes. Ela representa uma invariância na natureza com relação a certas transformações. Por exemplo, considere um quadrado perfeito. Não perceberemos diferença nesse quadrado se fizermos rotações de 90 graus com relação ao seu centro. Dizemos que esse quadrado possui uma simetria exata por rotações de 90 graus.

Há quase cem anos, a física Emmy Noether provou que a cada simetria de um sistema físico está associada uma lei de conservação. Sabemos que certas quantidades físicas não mudam quando dois ou mais corpos (ou partículas) interagem entre si. Essas quantidades conservadas é que levaram os físicos a formular as chamadas leis de conservação. Ou seja, a natureza associa uma simetria a uma lei de conservação. Há grandezas físicas cuja conservação é conhecida há muito tempo, como a energia, por exemplo. Energia não pode desaparecer, só pode transformar-se em outras formas de energia. A carga elétrica é outro exemplo de quantidade conservada. Outras grandezas, no entanto, envolvem conceitos mais elaborados, mas o princípio continua o mesmo.

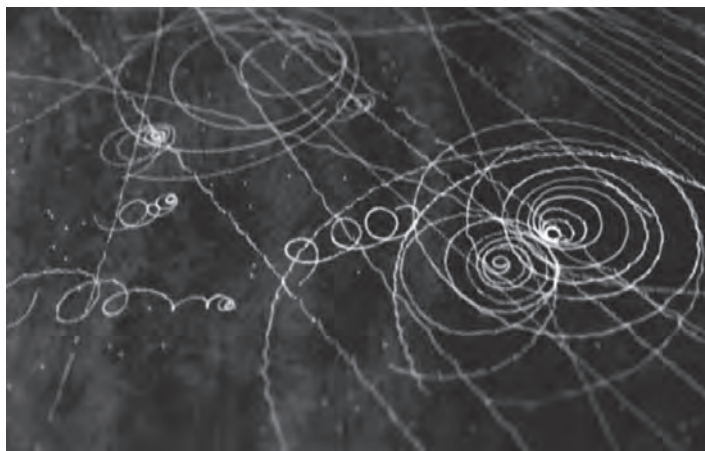


Figura 2. Traços deixados por partículas elementares em detectores

No mundo das partículas, as leis de conservação envolvidas nos traços deixados pelas partículas tornaram-se uma excelente fonte de informação e desempenharam um papel muito importante na classificação destas [fig. 2].

Vamos agora dar um exemplo de simetria no mundo das partículas. O próton e o nêutron são partículas de certo modo muito parecidas. Suas massas são praticamente iguais, a diferença é de apenas uma parte em mil; já suas cargas elétricas são diferentes, o próton é positivamente carregado, enquanto o nêutron não tem carga. Ambas possuem as mesmas propriedades com relação às forças fortes (são formadas por três quarks). Portanto, no que diz respeito às forças fortes, prótons e nêutrons são idênticos. A força eletromagnética consegue distinguir prótons de nêutrons, pois o primeiro tem carga elétrica e o segundo não; no entanto, a força eletromagnética é muito menor que a força forte. Dizemos, então, que prótons e nêutrons são aproximadamente idênticos. Nesse sentido, existe uma simetria aproximada entre eles e certamente prótons e nêutrons devem pertencer ao mesmo grupo de partículas, o grupo dos hádrons. Neste grupo temos as partículas

que sentem a força forte. Os hádrons, por sua vez, são divididos em duas classes: os mais leves, mésons; e os mais pesados, bárions. Prótons e nêutrons são exemplos de bárions. Importante destacar que as simetrias entre partículas de um dado grupo, tal como a simetria de troca entre prótons e nêutrons, não são tão simples quanto a simetria de rotação de

90 graus no nosso exemplo do quadrado. Trata-se de uma simetria conhecida pelos matemáticos como $SU(3)$, uma rotação generalizada cuja discussão seria demasiadamente técnica, fugindo dos propósitos deste artigo.

É importante, no entanto, enfatizar que a determinação das simetrias é tão fundamental que somente por meio delas é possível determinar e classificar as diversas partículas existentes na natureza. Entretanto, algumas dessas simetrias são apenas aproximações, ou seja, a natureza as “respeita”, mas não completamente.

Na unificação das interações eletromagnética e fraca, o Modelo Padrão (MP) previa uma simetria entre os fótons e os bósons W e Z . Desta forma, W e Z , assim como os fótons, não teriam massa. Esta ficou sendo a maior falha do MP, pois W e Z possuem massa.

No desenvolvimento do Modelo Padrão, houve, assim, a necessidade de construir teorias nas quais simetrias deixassem de ser exatas ou, como se diz na linguagem dos físicos de partículas, elas deveriam ser quebradas. Esse era um tema de pesquisa importante na década de 1960, e foi quando o físico britânico Peter Higgs e, de forma independente, o físico belga François Englert propuseram, por meio do que ficou conhecido por mecanismo de Higgs, o uso da quebra espontânea de simetria para comportar massa nas partículas W e Z .

A quebra espontânea de simetria é um processo pelo qual um sistema simétrico passa, de forma espontânea, para um estado não simétrico. Para exemplificar a quebra espontânea de simetria, podemos imaginar um chapéu mexicano, onde há uma elevação central cercada por uma região mais baixa, como uma montanha cercada por um vale circular. Existe uma simetria esférica, ou seja, ao girarmos o chapéu não perceberemos nenhuma diferença. Agora vamos

colocar uma bolinha no topo da elevação central. O sistema continuará com simetria esférica se a bolinha permanecer no topo. No entanto, essa situação é instável, pois qualquer pequena perturbação fará com que a bolinha caia do topo para a região mais baixa. Quando isso acontece, a simetria esférica deixa de existir, pois podemos distinguir a posição da bolinha no vale quando giramos o sistema. Dizemos que a simetria foi quebrada. [fig. 3]

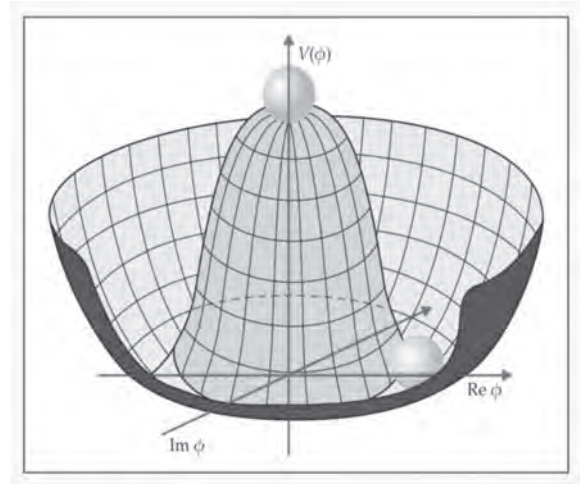


Figura 3. Chapéu mexicano da quebra espontânea de simetria

No MP, os bósons W e Z ganham massa exatamente por meio do mecanismo de Higgs, assim como ganham massa todas as partículas elementares. O mecanismo, por sua vez, prediz a existência de uma nova partícula, o bóson de Higgs.

E, assim, o Modelo Padrão foi fazendo previsões muito fortes, e essas previsões foram, ao longo do tempo, sendo todas elas experimentalmente verificadas. Interessante também é que algumas previsões, que não foram feitas teoricamente, mas que foram observadas experimentalmente, puderam ser incorporadas ao MP sem gerar nenhum conflito teórico. É como se o modelo estivesse sendo construído e esperando por resultados

experimentais que foram naturalmente incorporados e esse modelo foi surgindo e, a partir da incorporação desses resultados experimentais que não eram esperados, novas previsões foram feitas, novas partículas foram previstas e foram achadas depois de dez anos, depois de 15 anos. Assim, o modelo foi ganhando credibilidade no sentido de que ele previu objetos que estavam longe da imaginação de qualquer físico, e esses objetos apareceram. É o caso da chamada partícula de Higgs.

De acordo com as previsões do MP, deve existir uma quinta força na natureza cujo agente mediador é o bóson de Higgs. Essa nova força é responsável pela geração das massas nas partículas elementares. Por exemplo, o elétron é mais pesado que o múon, porque teria maior interação com o bóson de Higgs.

O BÓSON DE HIGGS

O MP pressupõe que estejamos imersos em um meio absolutamente homogêneo, denominado “campo de Higgs”, e o bóson de Higgs é a partícula associada a esse campo. A origem da massa das partículas pode ser explicada por meio de uma analogia simples; no entanto, é bom ter em mente que analogias são sempre limitadas, e esta não é exceção.

Vamos considerar uma superfície do mar em calmaria e que sejamos seres aquáticos confinados em um mundo totalmente submerso em água. Certamente teríamos dificuldade em mover objetos, devido à presença da água, lembrando que a massa de um corpo está relacionada com a sua inércia, ou seja, com a dificuldade em colocá-la em movimento. Portanto, a

“massa medida” de um corpo seria maior do que a sua massa real, na ausência da água. Se o meio fosse mel ao invés de água, a “massa medida” seria ainda maior, pois o mel é muito mais viscoso.

Agora, imaginemos que nesse mar comecem a se formar ondas a partir de um *tsunami*. Assim, dentro da água, forma-se um volume bem definido que tem a característica de se propagar como se fosse um objeto móvel. O campo de Higgs faz o papel do mar sereno permeando todo o universo onde se formam ondas bem definidas. Essa onda se propaga nesse meio e tem a característica de uma partícula produzida a partir de um campo. Essa é a partícula de Higgs.

O campo de Higgs é fundamental, pois ele é o suporte onde as partículas, tais como o elétron, os quarks, o neutrino e outras, se propagam. Todas as partículas conhecidas, e algumas que não conhecemos, movem-se nesse meio. Esse mar é a superfície de navegação dessas partículas. Navegando

O campo de Higgs permeia todo o universo. No entanto, ele não é observável diretamente, pois se manifesta em uma instância microscópica do universo

nele, elas interagem com o meio, e dessa interação surge sua massa. Partículas que interagem de maneira distinta nesse campo possuem diferentes massas. Quanto mais intensa sua interação com o campo de Higgs, maior é a “viscosidade” do meio e, portanto, maior a sua massa.

Então, imaginemos que o elétron, em princípio, seria um objeto sem massa que, ao entrar no mar de Higgs e interagir com ele e com o bóson de Higgs, adquire a propriedade de ter massa. Essa é a importância do bóson de Higgs e do campo de Higgs na nossa concepção da natureza.

O campo de Higgs permeia todo o universo. No entanto, ele não é observável

diretamente, pois se manifesta em uma instância microscópica do universo, na faixa de um milionésimo de trilhonésimo de metro. E é nessa dimensão que temos acesso ao mar de Higgs. Entretanto, teorias precisam ser testadas experimentalmente. Como fazê-lo?

Na analogia com o mundo subaquático, um modo de comprovar a existência da onda seria provocar seu surgimento, por exemplo, atirando uma pedra na superfície da água. Isso exigiria um esforço muito maior se o meio fosse mel. No caso do campo de Higgs, temos que fazer algo parecido, ou seja, dar uma “balançada” no campo para gerar uma onda. Essa onda no campo de Higgs é representada por uma nova partícula, o bóson de Higgs. Contudo, não é nada fácil balançar esse campo. É necessária uma imensa concentração de energia em uma região minúscula do espaço, quase um ponto. Esse feito pode ser realizado

podem “balançar” o campo de Higgs e produzir, assim, o bóson de Higgs.

UMA FANTÁSTICA AVENTURA

O bóson de Higgs era a única peça que faltava para comprovar o MP. Sua procura era prioridade máxima dos mais recentes experimentos em aceleradores de partículas. Caso o bóson de Higgs fosse detectado, o MP estaria definitivamente consolidado. A importância de descobri-lo foi exposta de maneira brilhante no livro de divulgação escrito por Lederman em 1993, intitulado *The God Particle: If the Universe is the Answer What is the Question? (A partícula-Deus: se o Universo é a resposta, qual é a pergunta?)*. No próprio livro, o autor escreve que preferiria o apelido “*the goddamn particle*”, o que se traduz como “partícula maldita”, mas o editor vetou e modificou o título para “*the God particle*”. Como resultado, essa brincadeira de Lederman, infelizmente, abriu espaço para as mais descabidas afirmações teológicas sobre o bóson de Higgs.

Pegando carona na ideia de Lederman para o título de seu livro, se o universo é a resposta, a pergunta dos gregos “do que é feito o mundo?” bem pode ser a pergunta – a pergunta que deu início à mais fantástica aventura do conhecimento humano, que culminou na descoberta do bóson de Higgs no século XXI. O bóson de Higgs foi finalmente anunciado no LHC no dia 4 de julho de 2012, mas a confirmação de que se tratava mesmo dessa partícula veio apenas em março de 2013, depois de uma extensa análise de dados. A figura da página inicial deste artigo mostra a imagem de um evento simulado no detector de CMS (Solenóide de Múon Compacto) em que aparece o bóson de Higgs. Como esperado, e merecidamente, o Prêmio Nobel de Física de 2013 foi oferecido a François Englert e

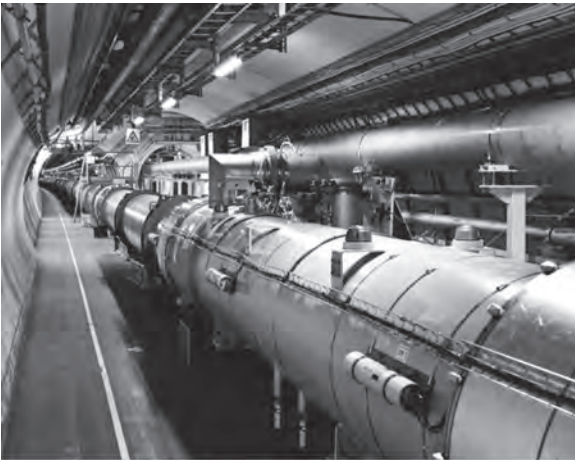


Figura 4. Túnel do acelerador LHC

com a ajuda dos aceleradores de partículas, e este foi um dos motivos do novo acelerador de partículas do Centro Europeu de Pesquisas Nucleares (Cern), o Grande Colisor de Hadrons (LHC – figura 4). No LHC, as colisões de partículas – prótons

a Peter Higgs por seus trabalhos teóricos sobre como as partículas adquirem massa, propostos separadamente em 1964.

Muitas pessoas criticam os gastos envolvidos na construção do LHC, estimados em aproximadamente 8 bilhões de dólares, quantia considerável e muitas vezes questionada. Mas os benefícios provenientes de projetos como o LHC podem ser incalculáveis se essa tecnologia tiver como fim o bem estar social.

Mais interessante ainda é a tecnologia que experimentos em aceleradores de par-

tículas exportam para a sociedade. Como exemplo, o WWW (World Wide Web) foi desenvolvido no Cern para gerenciar experimentos em física de partículas. A simples transferência dessa tecnologia pode (apesar de ser difícil de mensurar) justificar todo o investimento no complexo de pesquisas do Cern.

Por fim, para ilustrar a grandiosidade desta aventura fantástica do conhecimento humano, escolhemos um trecho do livro *The Feynman Lectures on Physics*, do físico Richard Feynman:

“Se, em algum cataclismo, todo o conhecimento científico fosse destruído e apenas uma sentença passada adiante para a próxima geração de criaturas, que enunciado conteria o maior número de informações em menos palavras? Acredito que a hipótese atômica (ou o fato atômico, ou como quiser chamá-lo) de que todo o corpo compõe-se de átomos – pequenas partículas que se deslocam em movimento perpétuo, atraindo umas às outras quando estão a certa distância, mas repelindo-se quando comprimidas umas contra as outras. Nessa única sentença, você verá, existe uma enorme quantidade de informações sobre o mundo, bastando que apliquemos um pouco de imaginação e raciocínio.”

📁 CLASSIFICAÇÃO PARA ÍNDICE REMISSIVO:
<CIÊNCIA & TECNOLOGIA>; Ciência; Energia nuclear;

BIBLIOGRAFIA

- ABDALLA, Maria Cristina B. *O Discreto Charme das Partículas Elementares*. São Paulo: Editora UNESP, 2006.
- BALTAZAR, Wagner Franklin; OLIVEIRA, Alexandre Lopes de. *Partículas Elementares no Ensino Médio: uma abordagem a partir do LHC*. São Paulo: Livraria da Física, 2010.
- CARUSO, Francisco; OGURI, Vitor. *Física Moderna*. Rio de Janeiro: Campus, 2006.
- HELAYEL NETO, José Adballa. A Partícula Final. Instituto Ciência Hoje. Entrevista concedida a Fred Furtado. Disponível em: <<http://cienciahoje.uol.com.br/podcasts/A%20particula%20final.mp3/view>>. Acesso em: 15 ago 2012.
- ROSENFELD, Rogério. *O Cerne da Matéria*. São Paulo: Companhia das Letras, 2013.