



Do que tudo é feito?

Gil da Costa Marques



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Reitor João Grandino Rodas
Vice-reitor Hélio Nogueira da Cruz



EDITORA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Diretor-presidente Plínio Martins Filho

COMISSÃO EDITORIAL

Presidente José Mindlin
Vice-presidente Carlos Alberto Barbosa Dantas
Adolpho José Melfi
Benjamin Abdala Júnior
Maria Arminda do Nascimento Arruda
Nélio Marco Vincenzo Bizzo
Ricardo Toledo Silva

Diretora Editorial Silvana Biral
Editoras-assistentes Marilena Vizentin
Carla Fernanda Fontana

Gil da Costa Marques

Do que Tudo é Feito

Copyright © 2010 by Gil da Costa Marques

Ficha catalográfica elaborada pelo Departamento Técnico
do Sistema Integrado de Bibliotecas da USP

Marques, Gil da Costa

Do Que Tudo é Feito / Gil da Costa Marques. –
São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo,
2010.

358 p.: il.; 24 cm.

Inclui tabelas

Inclui bibliografia.

ISBN 978-85-314-1197-7

1. Física. 2. História da Ciência. I. Título.

CDD 530

Direitos reservados à

Edusp – Editora da Universidade de São Paulo
Av. Prof. Luciano Gualberto, Travessa J, 374
6º andar – Ed. da Antiga Reitoria – Cidade Universitária
05508-010 – São Paulo – SP – Brasil
Divisão Comercial: Tel. (11) 3091-4008 / 3091-4150
SAC (11) 3091-2911 – Fax (11) 3091-4151
www.edusp.com.br – e-mail: edusp@usp.br

Printed in Brazil 2010

Foi feito o depósito legal

Sumário

<i>Apresentação</i>	9
PARTE I: Do que Tudo é Feito?	
1. Do que Tudo é Feito?	13
PARTE II: As Transformações e as Interações	
2. As Transformações e as Interações.....	27
3. As Interações Fundamentais.....	39
4. As Transformações Fundamentais.....	51
PARTE III: Aceleradores e Detectores	
5. Aceleradores e Detectores	69
6. O Acelerador LHC.....	81
7. Os Detectores do LHC	93
PARTE IV: As Partículas Elementares	
8. Do Atomismo às Partículas Elementares.....	113
9. Partículas Elementares	125
10. O Vácuo.....	139
11. O Elétron	151
12. Fótons	163
13. Antipartículas.....	177
14. Léptons e <i>Quarks</i>	187
15. Bósons Intermediários.....	199
PARTE V: Aglomerados	
16. Aglomeração: Uma Visão Geral.....	215
17. As Partículas Compostas.....	227
18. O Núcleo Atômico.....	237
19. Átomos.....	249
20. Compostos Químicos: Moléculas.....	263
21. Novos Materiais	275
22. A Matéria	291
PARTE VI: Nosso Mundo	
23. A Litosfera Terrestre.....	307
24. As Partículas Elementares e Alguns Fenômenos Naturais	319
25. Atmosfera, Nuvens e Tempestades.....	331
<i>Referências Bibliográficas</i>	349
<i>Crédito das Imagens</i>	351

Do que Tudo é Feito?

1.1 As Questões Fundamentais

Ao olharmos para o céu à noite e depararmos com a imensidão do espaço onde cintilam as estrelas, vez por outra nos ocorrem algumas indagações. O que é o Universo? Quais as suas dimensões? Do que ele é feito? Há quanto tempo ele existe? Como foi o início de tudo? Estas perguntas, ao lado daquelas que dizem respeito ao surgimento da vida na Terra, e da sua continuidade, têm sido feitas pelos seres humanos desde épocas imemoráveis. Elas fazem parte de um seleto grupo de questões consideradas as mais básicas, as mais fundamentais, dentre todas.

Durante muitos anos essas questões ficaram restritas ao domínio da mitologia, da teologia ou da filosofia, por falta de evidências experimentais minimamente seguras que permitissem aos pensadores fazer análises bem fundamentadas.

Por intermédio de mitos, os povos da Antiguidade procuravam explicações religiosas, passadas de uma geração a outra, para as questões básicas a respeito da vida e do Universo. Um bom número de mitos se baseia em histórias de deuses, os quais, na maioria dos casos, acabam exibindo algumas fraquezas típicas dos seres humanos. Essa semelhança com os homens fazia com que os mitos perdessem a credibilidade e por isso fossem alvo de críticas por parte dos primeiros filósofos gregos.

Cerca de seis séculos antes de Cristo, os gregos introduziram, numa reação à mitologia, uma nova forma de pensar as questões fundamentais. Essa nova forma – a filosofia – visava a encontrar respostas para essas questões, desenvolvendo um pensamento construído sobre a razão, mas sem descartar a observação dos fenômenos naturais. Introduziram assim uma forma quase científica de pensar.

A parte da filosofia que era voltada para o entendimento da natureza, a filosofia natural, deu lugar, com o passar do tempo, às ciências naturais. O marco dessa transformação foi o trabalho criativo do genial Galileu, que incorporou ao uso do raciocínio a experimentação e o formalismo matemático. Esse último aspecto foi incorporado por Newton em seus estudos da teoria da gravitação universal, e por tantos outros que com-

preenderam que o entendimento dos fenômenos naturais passa pela experimentação e que as leis físicas são mais bem formuladas quando fazemos uso do formalismo matemático.

A abordagem científica se distingue da abordagem teológica, mitológica ou filosófica pelo fato de que a ciência procura entender o cosmos e todas as coisas que nele existem a partir de fenômenos observáveis, mensuráveis e, preferencialmente, reprodutíveis.

1.2 Por que Entender os Constituintes

Uma das características mais marcantes dos seres humanos é a curiosidade. Ela se reflete em atitudes que se assemelham à inquietação e, acima de tudo, em atitudes que estimulam a busca incessante da verdade. Essa busca se inicia pela formulação de questões para as quais procuramos uma resposta.

Dentre os questionamentos mais básicos está o da constituição de tudo. Esta era uma das preocupações dos filósofos da natureza, e que, a despeito de grandes avanços, persiste até hoje.

Como apontado antes, a busca pelo entendimento do nosso mundo físico deu origem às mais diversas ciências. Uma das principais metas da ciência é procurar explicar os fenômenos observados a partir de determinadas leis. De preferência, leis bastante gerais. Essas leis são formuladas com maior precisão quando utilizamos equações matemáticas. Por intermédio de equações conseguimos obter concisão e grande generalidade. Entre as leis mais conhecidas, temos a lei de Newton, que rege a interação gravitacional, e as equações de Maxwell, que descrevem todo o eletromagnetismo.

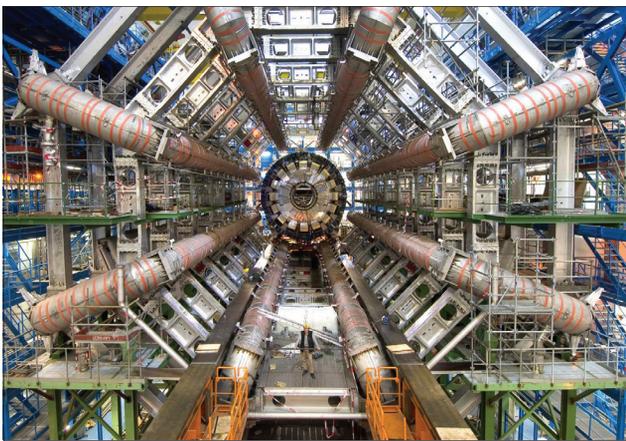


Fig. 1.1. O estudo dos constituintes requer equipamentos sofisticados. Detector atlas. CERN.

Durante muitos séculos fomos capazes de descrever o nosso mundo físico sem a necessidade de fazermos referência aos constituintes de todas as coisas. Bastava recorrermos às leis. A lei da gravitação é um bom exemplo dessa situação. Dada a massa de um planeta, podemos prever a aceleração da gravidade à qual todos os objetos, por ocasião da aproximação de tais corpos celestes, ficam sujeitos. Nesse caso, não há necessidade de fazermos referência aos constituintes do planeta.

Com o passar do tempo, no entanto, demos conta de que só podemos explicar todos os fenômenos físicos, com base em primeiros princípios, se entendermos quais são os constituintes da matéria, suas interações e as leis que regem essas



Fig. 1.2. O estudo dos constituintes requer grandes investimentos. Último Dipolo Magneto do LHC. CERN.

da Física que se dedica a entender os constituintes últimos da matéria e suas interações. Pelas razões já elencadas, a Física das Partículas Elementares se tornou por muitos anos, entre todas as áreas da Física, a que mais recebeu investimentos. Ao longo de muitas décadas, as descobertas nessa área foram contempladas com o prêmio Nobel de Física, a honraria máxima nas ciências físicas.

Em 2008 entrou em operação o maior laboratório do mundo. Ele é conhecido pela sigla LHC (Grande Colisor de Hádrons, em inglês). Esse laboratório, que é o resultado de uma parceria entre vários países, requereu investimentos da ordem de 7 bilhões de dólares. Esse investimento é um reconhecimento da relevância de nos aprofundarmos no entendimento da estrutura da matéria, no seu nível mais fundamental possível.

interações. Um bom exemplo, nesse contexto, é o fenômeno da radioatividade. Não se pode entender, por exemplo, a emissão da radiação alfa sem uma compreensão da estrutura do Núcleo.

Entender quais são os constituintes da matéria e deduzir as leis que os regem passaram a ser uma necessidade premente a partir do início do século XX.

O estudo dos constituintes do Universo é, ainda hoje, uma área de grande interesse científico, uma vez que estamos abordando uma questão científica fundamental, mas indo mais além, uma questão diretamente relacionada com o passado do Universo e com o seu futuro. A Física das Partículas Elementares é a área



Fig. 1.3. O estudo dos constituintes requer grandes laboratórios como o Fermilab.

1.3 Do que Tudo é Feito?

Esta é uma indagação formulada tanto por leigos como por estudiosos e que encontra eco na comunidade científica, uma vez que, como apontado antes, ela se tornou uma necessidade para o entendimento de todos os fenômenos a partir de leis e princípios gerais.

Este livro é dedicado à análise da constituição de todas as coisas. Não só das coisas que podemos tocar e observar no nosso pequeno mundo, como de tudo que existe no Universo. Nesse último caso, nosso entendimento tem aumentado, mas não o suficiente.

É importante desde o início, no entanto, formular essa pergunta de uma forma mais precisa. Sem essa precisão, a pergunta comporta mais de uma resposta certa.



Fig. 1.4. As galáxias estão entre as maiores estruturas do Universo. Hubble.

Para entendermos a sutileza dessa questão, consideremos o caso do Universo. Do que o Universo é feito? Se respondêssemos que o Universo é constituído de aglomerados de matéria, como galáxias, estaríamos dando a resposta certa, desde que analisássemos o Universo a partir de uma escala de distâncias muito grandes e descartássemos alguns detalhes que envolvem os vários tipos de radiação. Se olharmos a partir de escalas de distância menores, veremos que as galáxias são constituídas de estrelas, como o Sol, as quais podem formar

algo como o sistema solar, com planetas e luas orbitando em torno de planetas. Assim, olhando numa escala de distâncias bem menores, poderíamos argumentar, ainda que sujeitos a questionamentos, que o Universo é constituído de estrelas. Olhando as estrelas, assim como o nosso mundo, somos levados à ideia de que, como tais objetos são constituídos a partir da matéria, tudo é constituído de átomos.

No entanto, no início do século passado, descobrimos que os átomos são constituídos de partículas. Há cerca de quarenta anos, descobrimos também que, se olharmos numa escala de distâncias diminuta, algumas dessas partículas são compostas por partículas mais elementares ainda. Dessa forma, poderíamos argumentar e, com uma precisão muito maior, que tudo no Universo é constituído de partículas elementares. Sob este aspecto, nos parece hoje que a constituição do Universo é mais complexa.

Procuraremos discutir a questão da constituição de tudo no Universo numa sequência que começa pelas menores coisas e caminha em direção às maiores. Isso serve para elucidar a constituição do mundo que nos cerca e a do próprio Universo. Essa sequência

parte do pressuposto de que existem partículas elementares, que se constituem nos tijolinhos a partir dos quais todas as coisas se formam, ou se formaram. Esses tijolinhos formam outras partículas, as quais denominamos *partículas compostas*. Estas formam os núcleos que, por sua vez, formam os átomos. E assim, a partir de considerações a respeito de estruturas cada vez maiores e mais complexas, podemos entender a constituição do próprio Universo. Tanto a constituição do Universo hoje como a sua constituição num passado muito remoto.

Esse tema será abordado em capítulos que serão agrupados em cinco tópicos:

As Interações e as Transformações

Aceleradores e Detectores

As Partículas Elementares

Formação de Aglomerados

Nosso Mundo

Com o intuito de explicar a lógica por trás dessa apresentação e também para introduzir alguns conceitos, apresentaremos, a seguir, um breve resumo desses tópicos. Encerraremos este capítulo com uma breve discussão a respeito dos ingredientes fundamentais utilizados na descrição do mundo subatômico.

1.4 As Interações e as Transformações

A base para se fazer previsões sobre o comportamento de sistemas físicos, e em última análise chegar ao entendimento de todos os fenômenos, é a compreensão das interações e das leis que regem essas interações.

As interações são responsáveis por processos físicos que levam a alterações, ou transformações, do sistema considerado. Observamos muitas transformações no cotidiano. Perceberemos, nesse bloco de capítulos, que aquelas que ocorrem no nível microscópico requerem um aparato muito sofisticado para serem identificadas. Ademais, veremos que as transformações no mundo subatômico são absolutamente surpreendentes. Isto será explicado no capítulo 2.

Para entendermos todas as transformações basta recorrermos a apenas quatro tipos de forças, ou interações: a força forte, a força fraca, a força eletromagnética e a força gravitacional. A essas interações damos o nome de interações fundamentais.

Alguns processos físicos são de particular relevância no estudo desse pequeno, mas fundamental, mundo das partículas elementares. Dentre eles vamos destacar três.

O primeiro diz respeito ao desaparecimento das partículas elementares, dando lugar a outras partículas. A essa transformação damos o nome de *decaimento da partícula*. O

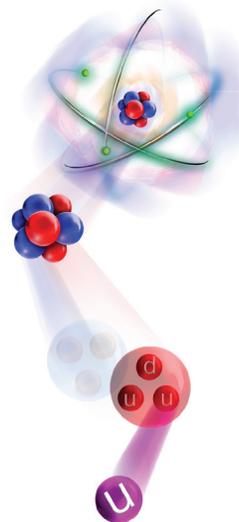


Fig. 1.5 - A partir dos menores objetos compomos os maiores.

decaimento aponta para um aspecto surpreendente do mundo das partículas elementares: algumas delas são altamente instáveis. Elas desaparecem, dando origem a outras, depois de curto intervalo de tempo. Elas são muito efêmeras. Algumas, por demais efêmeras.

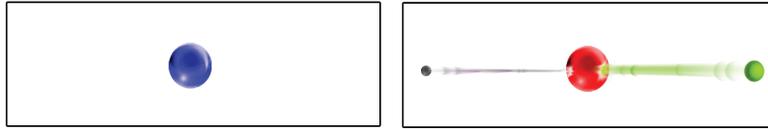


Fig. 1.6. Neste exemplo, o decaimento beta, um nêutron se transforma em três partículas distintas.

O segundo processo notável é a formação de aglomerados de partículas, que, numa linguagem científica, é denominado *formação de estados ligados*. A aglutinação molda todo o Universo no qual vivemos. Em particular, sem nada análogo no cotidiano, algumas partículas só existem aglomeradas. Nunca vamos encontrá-las livres viajando pelo espaço. Essas partículas especiais, e bastante singulares, são conhecidas como *quarks* e *glúons*.

Objetos materiais em contínua mutação são outro exemplo de transformação surpreendente. No reino animal encontramos um paralelo nos camaleões, que mudam de cor. No mundo subatômico uma partícula muda lentamente de um tipo em outro. Foi isso que aprendemos recentemente sobre os neutrinos.

O último capítulo deste primeiro tópico, o capítulo 4, aborda a relação entre as transformações em geral, e as que ocorrem no mundo subatômico. Tendo em vista que as partículas são os tijolinhos a partir dos quais todas as coisas são feitas, todos os fenômenos observados resultam de transformações envolvendo esses diminutos objetos.

1.5 Aceleradores e Detectores

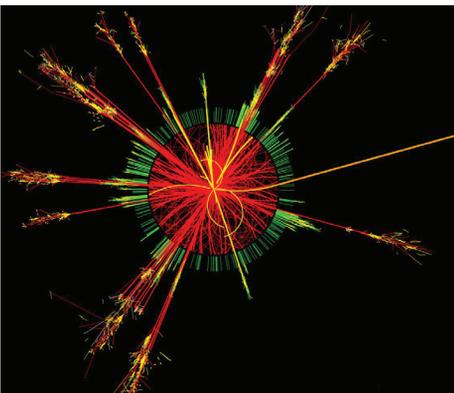


Fig. 1.7. Simulação da produção de um buraco negro a partir da colisão de partículas no Atlas. CERN.

Todo o conhecimento básico a respeito dos constituintes da matéria e da radiação foi, e é, inferido a partir de processos de colisões. Os aceleradores e os detectores são equipamentos científicos utilizados para promover as colisões e registrar tais eventos para posterior análise. Realizamos experiências de relevância envolvendo colisões tanto de partículas como os prótons, elétrons e antiprótons, quanto de aglomerados delas, como os íons dos átomos.

Esse tema, colisões, será abordado ao longo de três capítulos. O primeiro deles é de natureza bastante geral. Os demais são dedicados ao grande laboratório do CERN. Um capítulo é dedicado ao acelerador propriamente dito, outro capítulo é dedicado aos detectores. No grande laboratório europeu dispomos de quatro desses grandes, caros e sofisticados equipamentos.

Colisões provocam transformações radicais dos constituintes. O resultado das colisões pode ser previsto, do ponto de vista teórico, por meio do conceito de probabilidade de ocorrência de um estado final, a partir de um determinado estado inicial. Assim, na Física falamos da probabilidade de ocorrência de uma transformação. Em particular, algumas dessas probabilidades nos levam a uma grandeza física que recebe o nome científico de *seção de choque de espalhamento*. Essa é uma das grandezas medidas nos processos de colisão.

1.6 As Partículas Elementares

As partículas elementares são os constituintes últimos da matéria. Dedicaremos seis capítulos à análise dos tijolinhos básicos a partir dos quais todas as coisas são feitas. “Partículas Elementares” é o tópico a ser abordado no segundo bloco de capítulos. Podemos classificá-las em dois grandes grupos cujo significado, até este momento, não foi esclarecido. Esses dois grupos são denominados *bósons* e *férmions*.

- BÓSONS

Temos absoluta certeza de que existem doze bósons. Oito deles recebem o nome genérico de glúons. Na figura (1.8) apresentamos os bósons já identificados, experimentalmente. Destacamos, nessa tabela, o fóton, que é, sem dúvida, o bóson mais conhecido de todos.

Suspeitamos ainda da existência de mais duas partículas elementares bosônicas, denominadas *gráviton* e *Higgs*. Não temos certeza ainda de que elas, de fato, existam.

- FÉRMIONS

Os férmions, mais abundantes, são divididos em duas categorias: os léptons e os *quarks*. Temos seis tipos de léptons e seis tipos de *quarks*. Ocorre que estes últimos têm um atributo que os distingue, conhecido como cor, e portanto, a rigor, temos dezoito tipos de *quarks*.

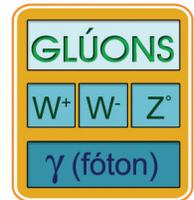


Fig. 1.8. Os bósons conhecidos.

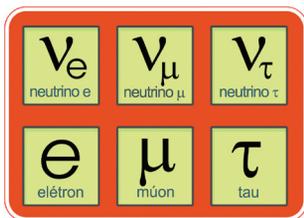


Fig. 1.10. Léptons.

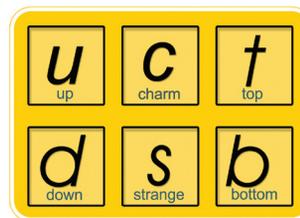


Fig. 1.11. Quarks.



Fig. 1.9. O gráviton e higgs são as grandes incertezas.

Considerando-se a distinção entre partículas e antipartículas, temos um total de apenas 60 partículas elementares. Esse conjunto de objetos comparece na composição de tudo no Universo e, de acordo com a Teoria do Big-Bang, seria, numa de suas fases, tudo que nele teria existido. Apenas duas delas, e duas compostas, entram na composição do Universo visível a olho nu. Assim, de uns poucos blocos compomos o “lego” do Universo.

A partícula elementar mais conhecida e, de longe, aquela com a qual estamos mais familiarizados, é o elétron. A corrente elétrica, por exemplo, é o resultado do movimento de elétrons. O elétron é um dos seis léptons já mencionados. O capítulo 11 é dedicado a ele. O elétron é um “átomo” na concepção dos atomistas gregos: ele é eterno e indivisível.

O fóton, tema do capítulo 12, é outra partícula elementar que faz parte do nosso dia a dia, pois a luz é constituída de um grande número de fótons. Dizemos que a luz é um pacote de fótons, um número extraordinário de fótons. O fóton é um dos doze bósons conhecidos e já aludidos acima. Também é, como o elétron, eterno e indivisível.

O fóton compõe a luz, e o mesmo se pode afirmar em relação às ondas eletromagnéticas em geral. Por exemplo, o processo de frenagem de elétrons resulta na produção de um grande número de fótons. Esses fótons compõem os raios X. Eles diferem dos fótons que compõem a luz apenas por terem maior energia.

Chamaremos a atenção, nos capítulos 13 e 14, para as seguintes características dos constituintes últimos da matéria:

- **Instabilidade**

Muitas partículas elementares são efêmeras. Pouquíssimas são estáveis.

- **Confinamento**

A maior parte das partículas elementares, 44 delas, nunca será observada. Elas só existem quando em grupos. São, permanentemente, confinadas.

- **Mutação**

Algumas partículas vivem em contínua mutação.

Essas características fazem com que as partículas elementares exibam comportamentos totalmente distintos de tudo a que estamos acostumados. A única exceção fica por conta do elétron. O fato, aqui destacado, é que o mundo subatômico é *sui generis*.

1.7 Formação de Aglomerados

Uma das características mais marcantes do nosso mundo físico é a aglomeração. Temos aglomerados diminutos, aglomerados grandes e superaglomerados. No mundo das partículas, a grande maioria delas só existe em aglomerados. Nunca fora deles.

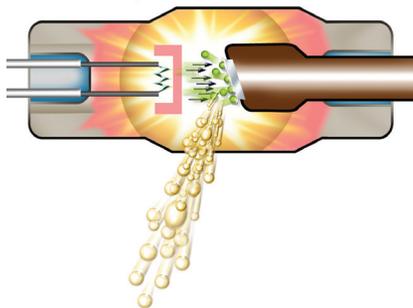


Fig. 1.13. Os raios X resultam da frenagem de elétrons.

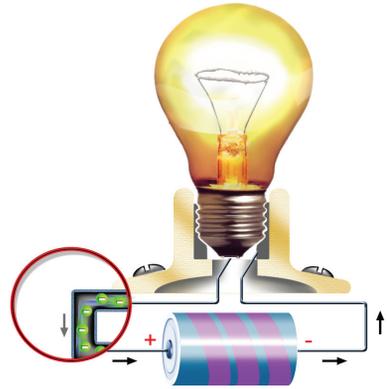


Fig. 1.12. Elétrons em movimento.

A formação de aglomerados, ou formação de estados ligados, é uma tendência do nosso mundo físico em todas as escalas de distância e em todas as escalas de massa. Ela resulta das interações entre os constituintes. Não fora por isso, o Universo não teria grandes vazios populadas, aqui e ali, por corpos muito densos. As maiores estruturas do Universo são grandes aglomerados de galáxias. Aspectos bastante gerais da aglomeração de constituintes serão tratados no capítulo 16.

1.7.1 Partículas Compostas

Assim como os átomos, as partículas elementares também dão origem a aglomerados. Aglomerados pequenos, no entanto. São denominados, criando um certo conflito de linguagem, *partículas compostas*. Trataremos desses pequenos aglomerados de partículas elementares no capítulo 17. Aqueles já conhecidos contêm um número bem pequeno de partículas elementares, apenas duas ou três delas. Suspeita-se da existência de aglomerados maiores. Afinal, por que não?

O curioso dessas estruturas é que somente um aglomerado composto por três partículas, conhecido como próton, é estável. Até o ponto que sabemos, um próton dura a vida inteira. Ou seria o próton instável? Ainda não sabemos.

A instabilidade é a marca registrada desses diminutos aglomerados.

O nêutron é outra dessas partículas compostas. Ao contrário dos prótons, o nêutron, fora do núcleo, é instável. Fora do núcleo ele dura apenas alguns minutos. Menos conhecidos hoje são os mésons π . Existem muitas partículas formadas a partir de umas poucas partículas elementares.

Em que pese o risco de causar confusão, utilizaremos a palavra partícula para designar, indistintamente, as partículas elementares bem como as compostas.

Duas dessas partículas – os prótons e nêutrons – formam grandes e pequenos aglomerados de partículas. Esses aglomerados chegam a conter mais de duzentos e cinquenta prótons e nêutrons. Essas estruturas são denominadas *núcleos*.

1.7.2 Núcleos

Os núcleos, discutidos no capítulo 18, são ajuntamentos de apenas duas partículas compostas. Ajuntamentos de prótons e nêutrons. A grande maioria dessas estruturas são muito instáveis. Dessa instabilidade resulta, por exemplo, o fenômeno da radioatividade dos átomos. Alguns núcleos, relativamente poucos, são estáveis. A existência e a estabilidade dos núcleos têm a ver com a força forte.

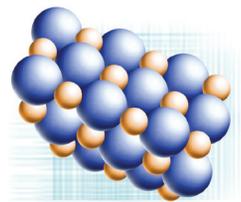


Fig. 1.14. Cristais como o cloreto de sódio, sal de cozinha, são compostos por átomos por intermédio de arranjos regulares.

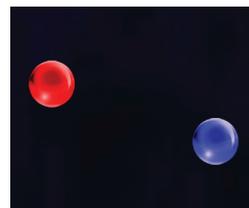


Fig. 1.15. O próton e o nêutron são os menores objetos compostos.

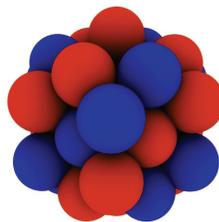


Fig. 1.16. O núcleo é composto por prótons e nêutrons.

1.7.3 Átomos, Moléculas e a Matéria

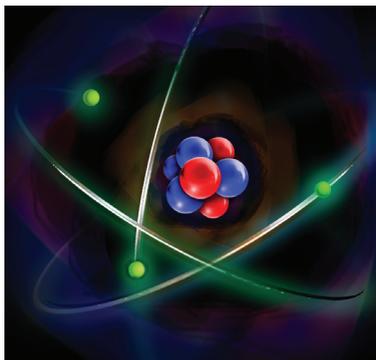


Fig. 1.17. O átomo é composto por um núcleo e elétrons orbitando em torno dele.

No nível de agregação seguinte encontramos os átomos, os quais são compostos por núcleos e um número de elétrons igual ao número de prótons existentes no núcleo. Nossa discussão sobre os átomos, levada a efeito no capítulo 19, será centrada na questão da estrutura, dita quântica, dos mesmos.

Os átomos se agrupam formando estruturas ainda maiores. Entre elas, destacamos as moléculas. No capítulo 20 abordaremos a questão das ligações químicas e os compostos químicos.

Por serem de grande interesse, uma vez que lidamos com eles no dia a dia, apresentaremos, no capítulo intitulado “matéria”, vários aspectos do fenômeno da aglomeração de átomos. A discussão sobre esse tema será centrada na questão dos estados da matéria, das suas fases e sua relação com simetrias.

Um capítulo especial, sob número 21, trata da manipulação de átomos e sua relevância para a produção de novos materiais.

1.8 Nosso Mundo

Objetos como uma maçã ou um livro são exemplos de enormes agregados de átomos. Nosso mundo também o é. Existe, contudo, uma diferença. Os objetos já mencionados, assim como outros bastante comuns, resultam da interação eletromagnética dos elétrons com os núcleos. A formação da Terra, dos planetas, do Sol e das grandes estruturas no Universo tem como ingrediente central a interação gravitacional entre os átomos. Neste último bloco trataremos de monumentais aglomerados de átomos que resultam da ação da força gravitacional.

Veremos, no capítulo 23, que a Terra exibe uma enorme diversidade de elementos químicos em sua composição. Alguns átomos predominam na atmosfera terrestre, outros predominam no interior da Terra. Assim, a composição química depende da camada à qual estamos nos referindo.

Alguns fenômenos naturais têm uma relação direta com os atributos dos constituintes da matéria. Nos capítulos 24 e 25 abordaremos a carga elétrica dos constituintes e sua relevância para o entendimento de vários fenômenos, como a existência da camada de ozônio, as auroras boreais e as tempestades.

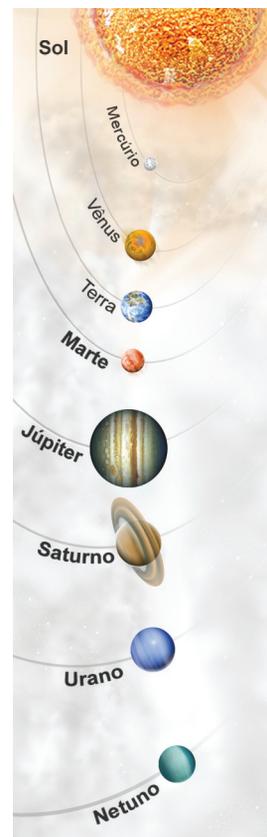


Fig. 1.18. O sistema solar é composto por grandes aglomerados de átomos.

1.9 Os Ingredientes para a Descrição do Mundo Físico

Na descrição dos fenômenos físicos lançamos mão de três ingredientes básicos.

O primeiro deles diz respeito às teorias da relatividade de Einstein. Na realidade, Einstein elaborou duas teorias da relatividade. A primeira teoria, a da relatividade restrita, é relevante no estudo de colisões e, num nível ainda mais básico, na formulação da teoria que descreve as interações fundamentais. A segunda teoria, a teoria da relatividade geral, foi pensada para descrever a gravitação. Essa teoria, portanto, é imprescindível na descrição do Universo como um todo e isso porque, para grandes distâncias, a força gravitacional é a força dominante no Universo. Usamos a teoria da relatividade geral para descrever tanto o Universo como a matéria quando esta se aglomera em circunstâncias especiais. Ou seja, quando a matéria se encontra aglomerada numa região muito pequena do espaço. Neste último caso, os objetos que resultam de tais aglomerados dão lugar a campos gravitacionais intensos. Nem mesmo a luz escapa deles. São os buracos negros.

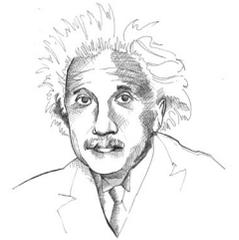


Fig. 1.19. Albert Einstein.

A descrição do mundo físico deve ser feita de tal forma que levemos em conta o caráter dualístico da matéria bem como o caráter dualístico da radiação. A teoria que leva em conta esse aspecto, o dualismo onda-partícula, é a Teoria Quântica. *Quantum* (cujo plural é *quanta*) é uma palavra latina que designa uma quantidade elementar de alguma coisa. Utilizamos, obrigatoriamente, a Teoria Quântica no mundo atômico e subatômico.

Finalmente, destacamos o aspecto que envolve as simetrias das leis físicas. As simetrias desempenham um papel central na Física e, em particular, na Física das Partículas Elementares. Elas se constituem no guia para a dinâmica da teoria. A descrição das partículas elementares faz uso de dois tipos de simetria.

Primeiramente, temos as simetrias do espaço-tempo. A razão para esse nome é que elas estão associadas a transformações que envolvem as coordenadas de um ponto no espaço e, eventualmente, da coordenada tempo. Finalmente, devemos levar em conta as simetrias internas. As simetrias internas não são nada intuitivas. Além disso, sua abordagem é mais complexa, uma vez que não estamos muito familiarizados com elas.

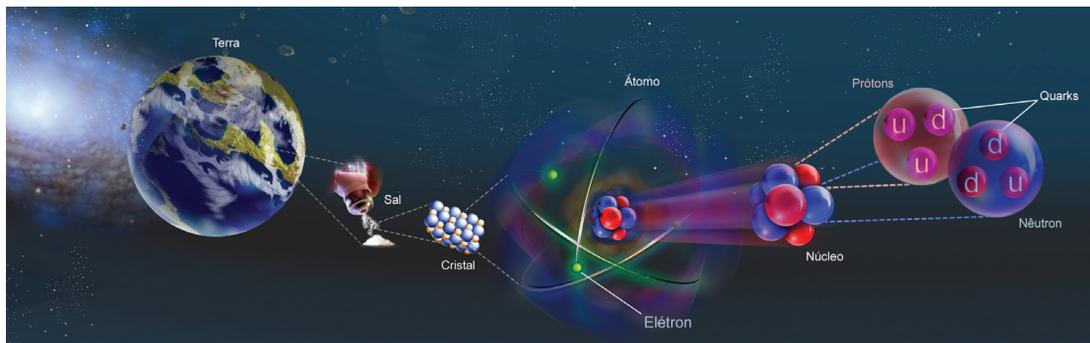


Fig. 1.20. Do que Tudo é Feito? Entendemos muito, mas muito existe por entender.