

TERCEIRA PARTE

A CRIAÇÃO

Ó vazio sem terra, Ó vazio sem céu,
Ó espaço nebuloso e sem propósito,
Eterno e intemporal,
Transforma-te no mundo, expande-te!

História taitiana da criação

O que realmente me interessa é se Deus tinha uma escolha na criação do mundo.
Einstein

O QUANTUM E OS SEUS DESCENDENTES

O que é o caminho? Não há caminho.

Niels Bohr, citando Goethe

O progresso na física passou sempre do intuitivo para o abstrato.

Max Born

O ato da exploração altera a perspectiva do explorador. Odisseu e Marco Polo voltaram para casa como homens mudados. O mesmo tem acontecido com a investigação científica dos extremos da escala, desde as grandes imensidões do espaço cosmológico até o compacto e frenético mundo das partículas subatômicas. Essas viagens nos modificaram, questionando muitas das concepções científicas e filosóficas que nos eram mais caras. Algumas tiveram de ser postas fora, como bagagem deixada para trás numa trilha do deserto. Outras foram alteradas e reparadas até se tornarem quase irreconhecíveis, como as cunhas que os alpinistas prendem à mão nas pedras, ou a faca do velho marinheiro com seu cabo coberto por fio de vela e sua lâmina fina. A exploração do mundo das galáxias ampliou o alcance da visão humana num fator de cerca de 10^{26} mais do que a escala humana, e provocou a revolução que chamamos de relatividade, que revelou ser a visão newtoniana do mundo apenas um paroquialismo num universo mais amplo, em que o espaço é curvo e o tempo se torna flexível. A exploração do mundo subatômico nos levou a penetrar pro-

fundamente o mundo do que é pequeno, a cerca de 10^{-15} da escala humana, o que também representou uma revolução. Essa foi a física quântica, que transformou tudo o que tocou.

A teoria quântica nasceu em 1900, quando Max Planck compreendeu que podia explicar a chamada curva do corpo negro — o espectro de energia gerado por um objeto de radiação perfeita — desde que abandonasse a suposição clássica de que a energia é emitida continuamente, substituindo-a pela hipótese sem precedentes de que a energia vem em unidades distintas. Planck chamou essas unidades de *quanta*, a partir da palavra greco-latina para “quanto”, e as definiu em termos do *quantum* de ação, simbolizado pela letra *h*. Planck não foi um revolucionário — aos 42 anos era um velho, pelos padrões da ciência matemática, e um pilar da alta cultura alemã do século XIX — mas compreendeu logo que o princípio quântico modificaria grande parte da física clássica a que tinha dedicado sua carreira. “Quanto maiores as suas dificuldades”, escreveu ele, “mais significativa ela se mostrará para a ampliação e o aprofundamento de todo o nosso conhecimento da física.”¹ Suas palavras foram proféticas: em constante variação e desenvolvimento, modificando sua coloração de modo tão imprevisível quanto um reflexo numa bolha de sabão, a física quântica penetrou logo todas as áreas da física, e o *h* de Planck passou a ser considerado como uma constante fundamental da natureza, ao lado do *c* de Einstein, a velocidade da luz.

O princípio quântico era muito estranho — era, como observou Gamow, como se pudéssemos beber um copo de cerveja ou nenhuma cerveja, mas estivessemos impedidos, por uma lei da natureza, de beber qualquer quantidade dela entre zero e um copo — e tornava-se ainda mais estranho à medida que evoluía. O rompimento decisivo com a física clássica ocorreu em 1927, quando o jovem físico alemão Werner Heisenberg chegou ao princípio da incerteza. Heisenberg descobriu ser possível conhecer seja a posição exata de uma partícula, ou sua trajetória exata, *mas não as duas coisas*. Se, por exemplo, observarmos um próton atravessar uma câmara úmida podemos, registrando sua trilha, perceber a direção na qual se move, mas nesse processo de passar pelo vapor d'água na câmara o próton terá sofrido uma desaceleração, privando-nos da informação sobre o lugar onde se encontrava num determinado instante. Alternativamente, podemos irradiar o próton — tomar uma foto instantânea dele, por assim dizer — e com isso determinar a localização exata num determinado instante, mas a luz, ou outra radiação que empregarmos na fotografia desviará o próton de sua trilha, privando-nos do conhecimento preciso de qual seria a sua direção, se não tivesse sido molestado. Nosso conhecimento do mundo subatômico, portanto, está limitado: só podemos conseguir respostas parciais, cuja natureza é de certa forma determinada pelas perguntas que fazemos. Quando Heisenberg calculou o volume mínimo inevitável de incerteza que limita nosso conhecimento dos fatos em pequena escala, verificou ser ele definido nada menos do que por *h*, o *quantum* de ação de Planck.

A incerteza quântica não depende do tipo de aparelhagem experimental usada para investigar o mundo subatômico. Pelo que se pode ver, é uma limitação absoluta, que os mais surpreendentes sábios de uma civilização extraterrestre avançada compartilhariam com o mais humilde físico rudimentar da Terra. Na física atômica clássica supunha-se ser possível, em princípio, medir a locali-

Escala do Universo Conhecido

Raio (metros)	Objetos característicos
10^{26}	Universo observável
10^{24}	Superaglomerados de galáxias
10^{23}	Aglomerados de galáxias
10^{22}	Grupos de galáxias (p.ex., o Grupo Local)
10^{21}	Galáxia da Via Láctea
10^{18}	Nebulosas gigantes, nuvens moleculares
10^{12}	Sistema solar
10^{11}	Atmosferas exteriores das estrelas gigantes vermelhas
10^9	Sol
10^8	Planetas gigantes (p.ex., Júpiter)
10^7	Estrelas anãs, planetas como a Terra.
10^5	Asteróides, núcleos dos cometas
10^4	Estrelas de nêutron
1	Seres humanos
10^{-2}	Moléculas ADN (eixo longo)
10^{-3}	Células vivas
10^{-9}	Moléculas ADN (eixo curto)
10^{-10}	Átomos
10^{-14}	Núcleos dos átomos pesados
10^{-15}	Prótons, nêutrons
10^{-35}	Tamanho Planck; <i>Quantum</i> de espaço; raio de partículas “sem dimensão” na teoria de <i>string</i> .

zação e a trajetória precisas de bilhões de partículas — prótons, digamos — e com os resultados fazer previsões exatas sobre onde estariam os prótons em algum momento futuro. Heisenberg mostrou ser falsa tal suposição — que não podemos conhecer *nunca* tudo sobre o comportamento sequer de *uma* partícula, e muito menos de miríades delas, e portanto jamais podemos fazer previsões que sejam totalmente exatas em todos os detalhes. Isso representou uma mudança fundamental na visão do mundo que a física tem. Revela que não só a matéria e a energia, mas também o conhecimento, são quantizados.

Quanto mais de perto os físicos examinaram o mundo subatômico, maior a incerteza constatada. Quando um fóton atinge um átomo, lançando um elétron para uma órbita superior, o elétron se afasta da órbita inferior para a superior instantaneamente, *sem ter atravessado o espaço intermediário*. Os raios orbitais são, eles próprios, quantizados, e o elétron simplesmente deixa de existir num ponto aparecendo simultaneamente em outro. É o famoso e desorientador “salto quântico”, que não constitui apenas um enigma filosófico — se não

for levado a sério, o comportamento dos átomos não pode ser previsto com exatidão. Da mesma forma, como já vimos, é em virtude da incerteza quântica que os prótons podem saltar a barreira de Coulomb, permitindo que ocorra a fusão nuclear em ritmo suficientemente intensivo para manter o brilho das estrelas.

Os que julgam absurdas tais considerações estão em boa companhia: como observou Niels Bohr, quando um de seus alunos em Copenhague queixou-se de que a mecânica quântica o deixava tonto: "Se alguém disser que pode refletir sobre os problemas do *quantum sem* ficar tonto, isso apenas mostrará que não compreendeu nada deles."² A razão disso, porém, é simplesmente que nós, seres humanos, tendo crescido num mundo macroscópico, costumamos pensar nas coisas em termos de símiles macroscópicos — as partículas subatômicas são como chumbo grosso, as ondas leves são como ondas no mar, os átomos são como pequenos sistemas solares, e assim por diante — e esses símiles não se aplicam em escala microscópica.

Nossas imagens mentais são traçadas a partir de nossas percepções visuais do mundo que nos cerca. Mas o mundo tal como é visto pelo olho revela-se como ilusório, se examinado em escala microscópica. Uma barra de ouro, embora pareça sólida, é composta quase que totalmente de espaço vazio: o núcleo de cada um dos seus átomos é tão pequeno que se um átomo fosse ampliado em um bilhão de vezes, até que sua camada externa de elétrons fosse do tamanho de Los Angeles, seu núcleo teria apenas o tamanho aproximado de um carro tipo compacto estacionado no centro da cidade. (As camadas de elétrons seriam zonas de relâmpagos sem trovão, de pouca substância, cada qual com cerca de 1,6km de espessura, separadas por muitos quilômetros de espaço.) Nem, voltando à velha metáfora clássica, uma bola de bilhar atinge a outra. São antes os campos de cargas negativas das duas bolas que se repelem; em escala subatômica, as bolas de bilhar são tão espaçosas quanto as galáxias, e se não fosse pelas suas cargas elétricas poderiam, como as galáxias, passar umas pelas outras, sem nada sofrer.

A revolução quântica foi penosa, mas podemos agradecer a ela por nos ter livrado de várias ilusões existentes na visão clássica do mundo.

Uma delas era a ilusão da separação — a suposição de que o homem está separado da natureza e os atos de observação podem, portanto, ser realizados com objetividade total. Tradicionalmente, os cientistas podiam ver-se como observadores passivos, separados por um vidro de laboratório ou por uma lente de telescópio do mundo exterior que examinavam. Mas em nível microscópico, todo ato de observação é destruidor — inúmeros fótons de luz estelar morrem no olho, prótons se chocam com os alvos no acelerador — e a maneira pela qual fazemos a observação (o "colapso da função de onda", como dizem os físicos) influi nos resultados da interação. As partículas subatômicas assemelham-se por vezes a partículas, outras a ondas, dependendo de como as examinarmos. Não são "realmente" uma coisa ou outra — e, de qualquer modo, as duas imagens equivalem-se matematicamente. Ou melhor, são participantes num ato de observação, cuja natureza influencia as qualidades que nos apresentam. Os físicos quânticos nos obrigam a levar a sério o que tinha sido antes uma consideração puramente filosófica: a de que não vemos as coisas em si mesmas, mas apenas aspectos delas. O que vemos na trilha de um elétron numa câmara de ebulição não é um elétron, e o que vemos no céu não são estrelas, tal como uma gravação

da voz de Caruso não é Caruso. Revelando que o observador tem um papel no que é observado, a física quântica fez para a física em geral o que Darwin tinha feito para as ciências naturais: derrubou muralhas, reunificando a mente com o universo maior.

O mesmo ocorre no dilema da causalidade exata. A física clássica era determinista: se A, então B; a bala disparada contra a janela despedaça o vidro. Na escala quântica, isso é apenas provável: a maioria das partículas da bala encontram as do vidro, mas algumas vão para outros lugares, e a trajetória de qualquer uma delas só pode ser prevista invocando-se as estatísticas das probabilidades. Einstein sentiu-se profundamente perturbado pelos aspectos da nova física. "Deus não joga dados" disse ele, e argumentou que o princípio da incerteza, embora útil na prática, não representa a relação fundamental entre a mente e a natureza. Assim escreveu ao amigo e colega Max Born:

Parece-me intolerável a idéia de que um elétron exposto à radiação possa escolher, *de sua livre vontade*, não só o seu momento para pular fora, mas também sua direção. Nesse caso, eu preferiria ser sapateiro, ou mesmo empregado de uma casa de jogo, do que físico.³

Einstein apresentou a Bohr uma série de experimentos mentais que visavam a negar a teoria da incerteza quântica. Estava então no auge de seu vigor, e suas idéias tinham, com frequência, uma originalidade e uma engenhosidade surpreendentes, mas Bohr e seus discípulos encontraram falhas em todas elas. Nada na natureza, então ou agora, indica que o universo seja construído em bases rigorosamente deterministas, e nenhum filósofo foi capaz de provar que precisamos acreditar em mecanismos deterministas ocultos — "variáveis ocultas" — que não produzem resultados observáveis.

Embora vencido numa batalha, Einstein não se dobrou e refugiou-se na visão a longo prazo: "A mecânica quântica é certamente impressionante" observou a Born, "mas uma voz interior me diz que ainda não é definitiva." A teoria esclarece muita coisa, mas não nos aproxima mais, realmente, do segredo do "velho". "Eu, de qualquer modo, estou convencido de que *Ele* não está jogando dados."⁴ Em última análise, insistiu Einstein, o tempo mostraria que tinha razão: "Estou convencido de que alguém acabará aparecendo com uma teoria cujos objetos, ligados por leis, não são probabilidades, mas fatos concretos."⁵

Isso poderia acontecer, mas não é clara a razão pela qual devemos *desejar* que acontecesse. A causalidade rigorosa, com toda a sua linhagem clássica, era em última análise uma doutrina monstruosa. Vejamos a sua formulação clara pelo matemático francês Pierre-Simon de Laplace:

Uma inteligência que compreenda, num determinado momento do tempo, todas as forças que agem na natureza, bem como a posição momentânea de todas as coisas que constituem o universo, será também capaz de compreender os movimentos dos maiores corpos do mundo e dos mais leves átomos numa única fórmula, desde que seu intelecto seja significativamente poderoso para submeter todos os dados à análise; para ela, nada seria incerto, tanto o passado como o futuro estariam presentes aos seus olhos.⁶

O que haveria digno de preservar, nessa posição, contra as provas concre-

tas da física quântica? A invocação de uma inteligência onisciente, que só poderia ser a de Deus? A imagem do homem como uma máquina privada de vontade? A idéia de que tudo, desde a desintegração radiativa de um átomo de bário até a Batalha de Hastings, estava fadado a ocorrer exatamente quando, e como, ocorreu, num universo destituído de originalidade e surpresa? Somos livres (ou estamos fadados a) para responder que nada disso, e rejeitar a visão determinista de Laplace com a mesma aversão de Einstein ante a interpretação dada por Bohr a Heisenberg. A incerteza quântica pode não ter nada a ver com a vontade humana, mas como uma questão de gosto filosófico, há boas razões para celebrarmos o retorno do acaso às questões fundamentais do mundo.

E, naturalmente, a prova da teoria científica tem menos a ver com a possibilidade de ser filosoficamente aceitável do que com a possibilidade de funcionar. A física quântica funciona. Ela retrata o mundo como um conjunto de campos animados, e as equações de campo são, com frequência demasiado abstratas para parecerem familiares, mas contam a história do mundo subatômico com mais exatidão do que as metáforas mais conhecidas, às quais fomos acostumados pela anterior história intelectual da nossa espécie.

Não que o preceito quântico tenha escapado à sua parcela de dores do crescimento. Longe disso: ao descrever o terreno pouco conhecido do pequeno, seus praticantes envolveram-se em concepções errôneas e em perplexidades que fizeram com que a desorientação dos astrônomos sobre as nebulosas espirais e a idade do Sol, registradas antes, parecesse amena. Números quânticos e abstrações aéreas foram atirados, com as duas mãos, contra difíceis problemas, até que a microfísica, em seus dias mais sombrios, foi justa e sarcasticamente comparada à cosmologia ptolomaica, com suas rodas dentro de rodas e seu esquecimento de tudo, exceto da pretensão extremamente abstrata de ser um modelo do mundo real. Havia partículas demais, tantas que os físicos eram, por fim, obrigados a consultar um livreto, *Particle Properties Data Handbook (Manual dos dados das propriedades das partículas)* para saber se existiam. "Se eu pudesse lembrar os nomes de todas essas partículas, teria sido botânico",⁷ comentou, irritado, Enrico Fermi, e o físico Martinus Veltman mais tarde observou, bem-humorado, que "ao aumentar o número de partículas, estamos apenas aumentando a nossa ignorância".⁸ Houve, durante algumas décadas, um número excessivo de teorias também, e muitas incoerências entre elas. Uns poucos físicos ficaram tão frustrados que abandonaram totalmente a ciência.

Mas são a agitação e a confusão, e não a calma e a certeza, que marcam o crescimento da mente, e quando a poeira começou a assentar, a física quântica surgiu não só como um campo científico vital e em rápido crescimento, mas também como uma das maiores realizações intelectuais da história do pensamento humano. Mesmo não estando completa, pode fazer previsões exatas sobre um número impressionante de fenômenos, da óptica, e projeção de computadores até o brilho das estrelas, e fazê-las em termos de estruturas teóricas nas quais já se podia perceber uma beleza e uma amplitude dignas do universo que buscavam descrever.

A colcha de retalhos das teorias que passaram a constituir a física quântica no último quartel do século foi conhecida coletivamente como o modelo-padrão. À sua luz, o mundo é formado de duas categorias gerais de partículas — as de *spin* fracionário ($1/2$) chamadas *férmions*, em homenagem a Enrico Fer-

mi, e as de *spin* inteiro (0, 1 ou 2), chamadas *bósons*, em homenagem a Satyendra Nath Bose, que, com Einstein, desenvolveu as leis estatísticas que governam o seu procedimento.*

Os férmions compreendem a matéria. Obedecem ao chamado princípio de exclusão de Pauli, formulado pelo físico austríaco Wolfgang Pauli em 1925, segundo o qual dois férmions não podem ocupar um determinado estado quântico ao mesmo tempo. Devido a essa característica, só um número limitado de elétrons pode ocupar cada camada num átomo, e não há limite superior ao número de prótons e nêutrons que se podem reunir para formar um núcleo atômico estável. Prótons, nêutrons e elétrons são, todos, férmions.

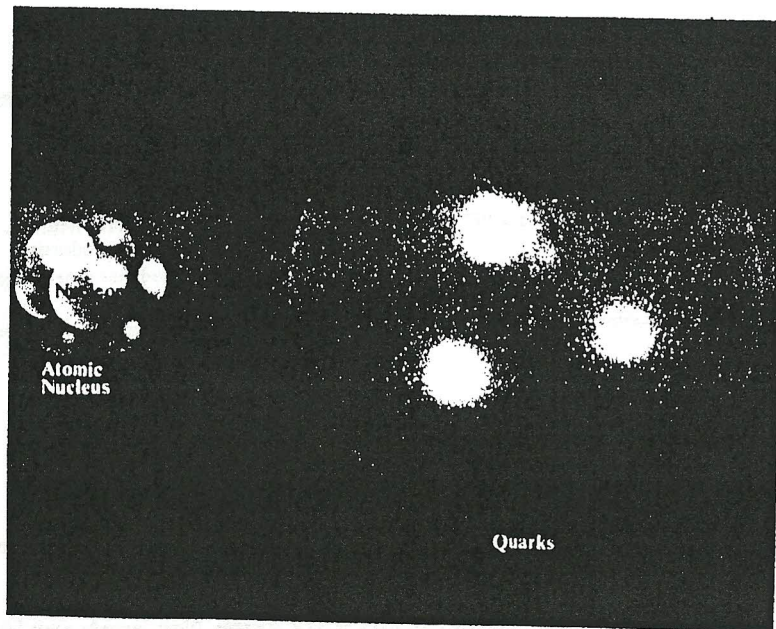
Os bósons transmitem força. Arriscando uma imagem hiperbólica, poderíamos pensar nos férmions como semelhantes a patinadores do gelo que jogam bolas de um lado para outro; as bolas são os bósons, a modificação no trajeto de cada patinador que ocorre quando ele lança ou apanha a bola revela, em linguagem newtoniana a presença de uma força.** Os bósons não obedecem ao princípio de exclusão, e em consequência, várias forças diferentes podem operar no mesmo lugar, ao mesmo tempo. Os átomos deste livro, por exemplo, são simultaneamente submetidos à atração elétrica entre seus prótons e elétrons, e à força gravitacional da Terra.

Há quatro forças fundamentais conhecidas (ou classes de *interações*, na terminologia quântica): gravitação, eletromagnetismo, e as forças nucleares forte e fraca. Cada uma delas desempenha um papel diferente. A gravitação, a atração universal de todas as partículas da matéria entre si, sustenta as estrelas e planetas, e conserva os planetas em suas órbitas em torno das estrelas, e estas em suas órbitas nas galáxias. O eletromagnetismo, a atração de partículas com carga elétrica ou magnética entre si, produz a luz e todas as outras formas de radiação eletromagnética, inclusive a radiação de onda longa chamada onda de rádio, e a radiação de onda curta, chamada raios X e raios gama. O eletromagnetismo também junta os átomos em moléculas, o que o torna responsável pela estrutura da matéria tal como a conhecemos. A força nuclear forte junta prótons e nêutrons (conhecidos como núcleons) nos núcleos dos átomos, e junta as partículas elementares chamadas *quarks* para formar cada núcleon. A força nuclear fraca é mediadora do processo de decaimento radioativo, a fonte de energia emitida pelos pedaços de rádio estudados por Rutherford e os Curies.

O comportamento diferente das forças reflete-se na natureza dos bósons que as transmitem. A gravitação e o eletromagnetismo têm um alcance infinito — razão pela qual nossa galáxia "sente" a pressão gravitacional do aglomerado Virgo de galáxias, pela qual podemos ver luz estelar vinda de bilhões de anos-luz de distância — porque os bósons que transportam essas duas forças,

* O *spin* em questão é o *spin* conhecido, mecânico, embora quantizado, e é medido em termos de \hbar , o *quantum* de ação.

** As bolas são puramente repulsivas, como na interação de dois elétrons ou outros férmions, da mesma carga. Para as forças atrativas (como entre um próton e um elétron), imaginemos que os bósons são elásticos que se estendem quando os patinadores se afastam, para juntá-los novamente. Para o princípio de exclusão, pensemos que cada patinador usa um envoltório que impede sua colisão... E basta.

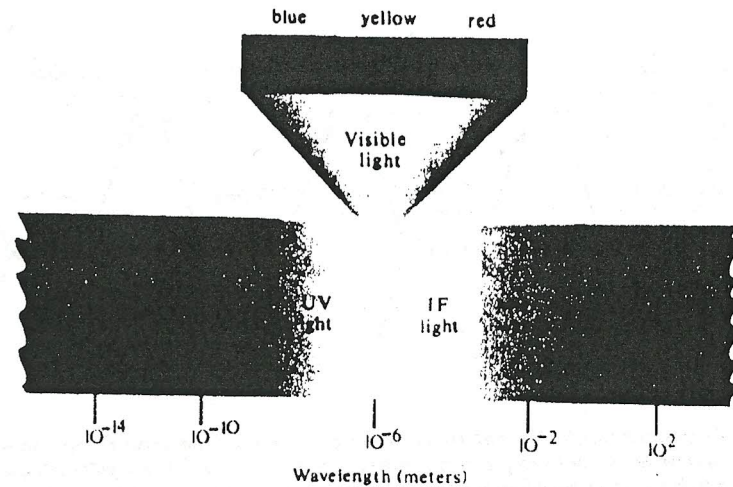


Nucleon — Núcleon. Atomic Nucleus — Núcleo atômico. Quark — Quark.

Trios de quarks compõem, segundo se acredita, os núcleos — prótons e nêutrons — que por sua vez constituem os núcleos dos átomos. De acordo com este modelo, um próton consiste de dois quarks "superiores", cada um deles com uma carga elétrica de $+2/3$, e um quark "inferior", que tem uma carga de $-1/3$; a carga total do próton é, portanto, $4/3 - 1/3 = +1$. Um nêutron consiste de dois quarks inferiores e um superior; em consequência, sua carga é igual a 0.

As explicações científicas do comportamento das várias partículas da matéria sob a influência de três das quatro forças são conhecidas como as teorias quânticas de campo relativista. São assim chamadas porque incorporam tanto o preceito quântico quanto a teoria especial da relatividade, a fim de levar em conta efeitos como os aumentos na massa de partículas que viajam a uma velocidade próxima da luz. O eletromagnetismo é descrito, com requintada precisão, pela teoria da eletrodinâmica quântica, ou QED. A força forte é descrita pela cromodinâmica quântica, ou QCD. (O "cromo" vem de um número quântico, fantasiosamente chamado de "cor", que desempenha nos quarks um papel comparável ao da carga elétrica entre os elétrons.) A força fraca, como iremos ver, passou recentemente para a esfera da teoria unificada "eletrofraca".

A gravitação continua sendo a força estranha. Seu funcionamento ainda é descrito pela teoria geral da relatividade de Einstein, que é uma teoria clássica, ou seja, ela não incorpora o princípio quântico. Isso não causa problemas na maior parte das condições, mas a relatividade perde o valor quando se trata de campos gravitacionais extremamente intensos, como os existentes dentro de



Blue — azul, yellow — amarelo, red — vermelho, Visible light — luz visível, Gamma rays — Raios gama, X rays — Raios X, UV light — Luz UV (ultravioleta), IF light — Luz IV (Infravermelho), Microwaves — Microondas, Radio — Rádio. Wavelengths (meters) — Comprimento de onda (metros).

A energia eletromagnética é gerada por processos naturais através de uma ampla faixa de comprimentos de onda, inclusive raios gama e raios X do gás que cai nos buracos negros, luz das estrelas, microondas da radiação cósmica de fundo, e rádio de nuvens interestelares.

um buraco negro ou no universo no início mesmo de sua expansão. Ali, a curvatura do espaço vai ao infinito, ponto em que a teoria tira o chapéu e sai elegantemente de cena. Ainda não havia, em fins da década de 1980, nenhuma teoria quântica da gravitação com a qual complementar a relatividade geral. Uma razão disso é que a gravidade é fraca. As partículas subatômicas individuais são normalmente tão pouco influenciadas pela força gravitacional exercida pelas suas colegas que a gravidade pode ser posta de lado. Outra razão é que as interações gravitacionais são interpretadas, pela teoria geral da relatividade de Einstein, como resultantes da própria geometria do espaço. Os "gravitons" que se imagina transmitirem a gravitação devem, portanto, determinar a própria forma do espaço, e esclarecer como fazem isso não é tarefa simples para uma teoria.

A física das partículas é hoje uma casa dividida, e embora o modelo padrão consiga resultados, poucos imaginam que ele seja a última palavra no assunto. O modelo é uma colcha de retalhos e não uma mandala. Para dispará-la sobre todos os cilindros são necessários cerca de 17 parâmetros separados, números cujos valores foram determinados experimentalmente, mas cuja significação fundamental ainda não é compreendida. Sabemos, por exemplo, que a carga elétrica de um elétron é igual a $1,6021892 \times 10^{-19}$ coulomb, e que a massa do próton é 938,3 MeV, igual a 0,9986 da massa do nêutron, mas ninguém sabe por que os números são estes, e não outros. As raízes do descontentamento com o modelo padrão foram assim mencionadas por Leon Lederman, diretor do acelerador de partículas do Fermilab, em Illinois:

O problema que enfrentamos agora é que o modelo-padrão é muito elegante, muito vigoroso, explica tanta coisa — mas não é completo. Tem algumas falhas, e uma das maiores é estética. Tem demasiada quantidade de parâmetros arbitrários. Não podemos realmente imaginar o criador manipulando 17 botões para ajustar 17 parâmetros para criar o universo tal como o conhecemos. O quadro não é belo, e a busca da beleza, da simplicidade e da simetria tem sido uma orientação infalível sobre como proceder na física.⁹

Assim, os físicos do século passado ainda buscavam uma explicação mais simples e mais eficiente das interações fundamentais. O objeto de sua busca tinha o nome de teoria "unificada", significando isso geralmente uma teoria única que explicasse duas ou mais das forças então tratadas por teorias separadas. Foram guiados, na verdade, por dados experimentais e pelos desafios imediatos — o teórico se parece, como disse Einstein, a um "oportunistista inescrupuloso", que procura uma solução específica para um problema imediato com mais frequência do que procura formular uma explicação abrangente. Mas foram guiados também, como Lederman diz, pela esperança de que suas explicações da natureza pudessem aproximar-se mais da simplicidade elegante e da criatividade superlativa da própria natureza.

NOTAS

1. Planck, discurso do Prêmio Nobel, 1918, in Weaver, 1987, vol. II, p. 292.
2. In Moore, 1985, p. 127.
3. In Born, Max, 1971, p. 82. Grifos de Einstein.
4. *Ibid.*, p. 91.
5. *Ibid.*, p. 158.
6. In Clark, 1971, p. 34.
7. In Segrè, 1970, p. 69.
8. Veltman, palestra inédita feita no Caltech, 29 de abril de 1982.
9. Leon Lederman, entrevista com o autor, 24 de fevereiro de 1985.

16

RUMORES DE PERFEIÇÃO

Espírito do Belo, tu que consagraste
com tuas cores tudo o que iluminaste
no pensamento ou forma humanos, para onde foste?
Por que passaste, deixando este legado —
nosso vale de lágrimas, vazio e desolado?

Shelley, "Hino à beleza intelectual"

O universo está construído num plano cuja profunda simetria está, de alguma forma, presente na estrutura interna de nosso intelecto.

Paul Valéry

Os físicos teóricos, como os artistas (é-se tentado a dizer, como os *outros* artistas) são guiados em seu trabalho por preocupações tanto estéticas quanto racionais. "Para qualquer ciência, é necessário algo mais do que a pura lógica", escreveu Poincaré, que identificou esse elemento racional como a intuição, envolvendo "o senso da beleza matemática, da harmonia dos números e formas, e da elegância geométrica".¹ Heisenberg falou da "simplicidade e beleza dos esquemas matemáticos que a natureza nos apresenta. Você também deve ter sentido isso", disse a Einstein, "a simplicidade e a integralidade quase assustadoras das relações que a natureza de repente estende à nossa frente".² Paul Dirac, o físico teórico inglês cuja descrição relativista e quântico-mecânica do elétron equipara-se às obras-primas de Einstein e Bohr, foi ao ponto de lembrar-nos que "é mais importante ter beleza em nossas equações do que fazer com que se enquadrem na experiência."^{3*}

* Dirac queria dizer, é claro, não que devemos desconhecer totalmente os resultados empíricos, mas que uma bela teoria não precisa ser abandonada apenas porque não passa numa prova inicial. Ele pensava na relutância de Erwin Schrödinger em publicar suas equações da mecânica das ondas apenas porque entravam em choque com os dados experimentais. "É muito importante ter uma bela teoria", disse Dirac ao divulgador de ciência Horace Freeland Judson. "E se a observação não a confirmar, não nos devemos preocupar muito, e sim esperar um pouco para ver se não houve algum erro na observação."⁴