

13. Glashow, discurso do Prêmio Nobel, *Review of Modern Physics*, vol. 52, n.º 3, jul. de 1980, p. 543.
14. Schwinger, 1958, p. xvii.
15. Glashow, discurso do Prêmio Nobel, *Review of Modern Physics*, vol. 52, n.º 3, jul. de 1980, p. 540.
16. In Crease e Mann, 1986, p. 224.
17. *Ibid.*, p. 225.
18. Glashow, "Partial Symmetries of Weak Interactions", *Nuclear Physics*, vol. 22, n.º 4, fev. de 1961, p. 579.
19. In Hassan e Lai, 1984, p. 17.
20. Weinberg, *Review of Modern Physics*, op. cit., p. 515.
21. Weinberg, entrevista com o autor, Austin, Texas, 28 de fevereiro de 1985.
22. Weinberg, *Review of Modern Physics*, op. cit., p. 517.
23. *Ibid.*, p. 518.
24. In Hiltz, 1982, p. 86.
25. Wilson, entrevista a Linda Dackman, *Arts and Architecture*, vol. 3, n.º 1, 1984.
26. Abdus Salam, discurso do Prêmio Nobel, *Review of Modern Physics*, op. cit., p. 530.
27. In Ne'eman e Kirsh, 1986, p. 250.
28. *CERN Courier*, jan./fev. de 1985, p. 5.
29. In Taubes, 1986, p. 39.
30. Rubbia, entrevista com o autor, CEPN, dez. de 1984.
31. *Engineering and Science*, set. de 1985, p. 20.
32. In Crease e Mann, 1986, p. 417.
33. Green, Schwarz e Witten, 1987, p. 55.
34. Gamow, 1966, p. 163.
35. Weinberg, entrevista com o autor, Austin, Texas, 5 de abril de 1982.
36. Sheldon Glashow e Paul Ginsparg, "Desperately Seeking Superstrings?", *Physics Today*, maio de 1986, p. 7.
37. Weinberg, entrevista com o autor, Austin, Texas, 5 de abril de 1982.

O EIXO DA HISTÓRIA

Todo estado atual de uma substância simples é naturalmente consequência de seu estado anterior, de tal modo que seu presente está impregnado do seu futuro.

Leibniz

Aquele que viu as coisas presentes viu tudo, tudo o que ocorreu desde toda a eternidade e tudo que ocorrerá pelo tempo sem fim; pois todas as coisas são de uma mesma família e de uma mesma forma.

Marco Aurélio

O final do século XX pode ser lembrado na história da ciência como a época em que a física das partículas, o estudo das menores estruturas da natureza, uniu suas forças à cosmologia, o estudo do universo como um todo. Juntas, essas duas disciplinas iriam delinear a história cósmica, investigando a ascendência das estruturas naturais através de um âmbito enorme, desde o núcleo dos átomos até os aglomerados de galáxias.

Foi um casamento forçado entre duas disciplinas muito diferentes. Os cosmólogos tendem a ser pessoas solitárias, com os olhos fixos nos horizontes distantes do espaço e tempo, e seus dados são ternamente recolhidos do piscar das luzes estelares antigas; nenhum deles jamais tocará numa estrela. Os físicos de partículas, em contraste, são relativamente gregários — têm de ser: nem mesmo um Einstein sabe bastante física para fazer tudo sozinho. E são físicos — são, por tradição, estudiosos práticos do aqui e agora, inclinados a torcer coisas, a fazer explodir coisas, a desmontar coisas.* Os físicos trabalham com afinco e de-

* Há exceções, é claro, notadamente os matemáticos que chegam à física com pouca ou nenhuma formação em ciência experimental. Mas de modo geral, os melhores físicos teóricos estão dispostos, ainda que apenas durante sua fase de estudantes, a sujar as mãos no laboratório. Lembremos que o jovem Einstein quase *perdeu* uma das mãos, dessa maneira.

pressa, perseguidos pela lenda de que é improvável que tenham muitas idéias novas e úteis depois dos 40 anos, enquanto os cosmólogos são, com mais frequência, jogadores de partidas finais, dedicados a prazos longos, e deles se pode esperar que continuem a realizar pesquisas produtivas depois de terem cabelos brancos. Se os físicos são as raposas que Arquíloco disse saberem muitas coisas, os cosmólogos parecem-se mais com os ouriços-cacheiros, que sabem uma coisa grande.

Não obstante, em fins da década de 1970 os físicos de partículas se estavam aventurando pelos seminários de cosmologia, para queimar pestanas sobre galáxias e quasars, enquanto os cosmólogos contratavam a prática da física de alta energia em instalações subterrâneas do CEPN e do Fermilab, de onde não se viam as estrelas. Em 1985 Murray Gell-Mann pôde declarar que "a física das partículas elementares e o estudo do universo inicial, os dois ramos mais fundamentais das ciências naturais, fundiram-se, essencialmente."¹

O ponto de encontro foi o *big bang*. Como já vimos no capítulo anterior, os físicos identificaram simetrias na natureza que hoje estão quebradas, mas que deviam estar intactas num ambiente de alta energia. Dos cosmólogos veio a informação de que o universo esteve outrora exatamente nesse estado de alta energia, nas fases iniciais do *big bang*. Juntem-se as duas coisas, e surge um quadro de um universo mais ou menos perfeitamente simétrico que fraturou suas simetrias à medida que se expandiu e resfriou, criando as partículas de matéria e energia que encontramos hoje à nossa volta, e marcando-as com a prova de sua genealogia. Steven Weinberg, campeão da nova aliança, descreveu a teoria unificada eletrofraca em termos de sua ligação com o universo inicial:

O que há de tão especial na teoria eletrofraca é que as partículas [portadoras de força] formam uma família muito unida, com quatro membros: há a W^+ , a partícula de carga oposta W^- , a neutra Z , e o quarto membro é o nosso velho amigo, o fóton, o portador do eletromagnetismo. São parentes entre si, relacionados de perto por um princípio de simetria segundo o qual elas são, na realidade, todas a mesma coisa — mas que a simetria está quebrada. A simetria existe nas equações subjacentes da teoria, mas não é evidente nas próprias partículas. É por isso que W e Z são tão mais pesadas do que o fóton.

Houve porém uma época, no começo mesmo do universo, quando a temperatura estava algumas centenas de vezes acima da massa do próton, em que a simetria não tinha sido ainda quebrada, e as forças eletromagnéticas fracas eram todas não só matematicamente as mesmas, mas na realidade as mesmas. Um físico que então vivesse, o que é difícil de imaginar, não veria nenhuma distinção real entre as forças produzidas pelo intercâmbio dessas quatro partículas — as W s, a Z e o fóton.²

Da mesma forma, embora de maneira menos clara, as nascentes teorias da supersimetria diziam que todas as *quatro* forças podem ter sido ligadas, por uma simetria que se evidencia nos níveis de energia ainda mais elevados que caracterizavam o universo antes mesmo do *big bang*.

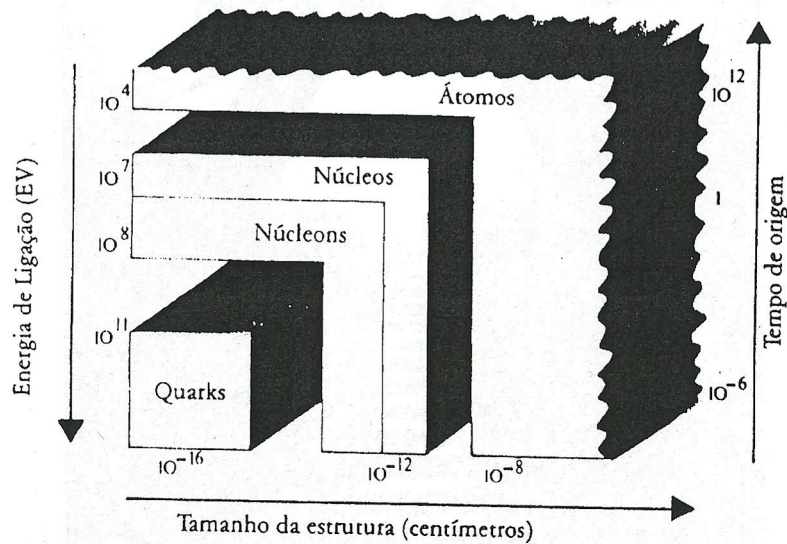
A introdução de um eixo de tempo histórico na cosmologia e na física de partículas foi benéfica para os dois campos. Os físicos deram aos cosmólogos uma ampla variedade de ferramentas úteis para tentar reconstituir a maneira pela qual o universo inicial se desenvolveu. Evidentemente, o *big bang* não era a im-

penetrável muralha de fogo que Hoyle havia suposto, mas uma arena para fenômenos de alta energia que talvez pudessem ser compreendidos em termos da teoria quântica de campo relativista. A cosmologia, por sua vez, deu uma tinteira de realidade histórica às teorias unificadas. Embora nenhum acelerador concebível possa alcançar as energias titânicas invocadas pelas teorias da grande unificação e supersimetria, essas idéias exóticas ainda poderiam ser testadas, investigando-se a constituição de uma partícula do universo de hoje está de acordo com o tipo de história antiga implícita nas teorias. Como disse Gell-Mann: "As partículas elementares oferecem, ao que tudo indica, a chave para alguns dos mistérios fundamentais da cosmologia inicial ... e a cosmologia, como se vê, proporciona uma espécie de terreno de provas para algumas das idéias da física das partículas elementares."³

Vista dessa perspectiva nova e histórica, a proliferação dos tipos de partículas, que foi tão desanimadora para os físicos (levando Fermi a reclamar que deveria ter sido botânico); começou a parecer menos um ônus do que uma bênção. Quando se tornou claro que toda partícula nasceu de um processo de evolução cósmica, sobre o qual ela pode testemunhar, podia-se considerar a variedade de partículas como evidência da riqueza da história cósmica. Os físicos não precisavam mais sentir-se infelizes com a diversidade do mundo das partículas, tal como arqueólogos não ficariam desapontados se, digamos, ao escavar as ruínas da antiga Herculano desenterrassem as ruínas de uma cidade ainda mais velha, abaixo dela. Em lugar disso, poderiam achar que a natureza é complicada e imperfeita porque tem um passado — que, como disse o físico norte-americano Thomas Gold, as coisas são como são porque foram como foram.

Na realidade, podiam-se perceber sinais de uma relação direta ligando o tamanho, a energia de ligação e a idade das estruturas fundamentais da natureza. Uma molécula é maior e mais fácil de desmontar do que um átomo; o mesmo ocorre com o átomo em relação ao núcleo atômico, e de um núcleo em relação aos *quarks* que o formam. A cosmologia sugere que tal relação resulta do curso da história cósmica — que os *quarks* estavam unidos primeiro, na energia extremamente alta do começo do *big bang*, e que, à medida que o universo expandiu-se e resfriou-se, os prótons e nêutrons feitos de *quarks* aderiram uns aos outros para formar os núcleos dos átomos, que então atraíram elétrons para começar a vida como átomos completos, que por sua vez se ligaram entre si para formar moléculas.

Se assim foi, quanto mais de perto examinarmos a natureza, mais estaremos vendo o passado. Observemos alguma coisa bem familiar, as costas de nossa mão, por exemplo — e imaginemos que podemos ampliá-la a qualquer potência desejada. Numa ampliação relativamente pequena perceberemos as células individuais da pele, parecendo tão grandes e complexas quanto uma cidade, seus limites delineados pelas paredes da célula. Aumentemos a ampliação, e veremos, dentro da célula, uma confusão de tortuosos ribossomos e ondulantes mitocôndrias, lisossomos esféricos e estrelados centríolos — conjuntos inteiros de complexos aparatos para as funções respiratória, sanitária e produtora de energia, que mantêm a célula. Já encontramos aqui amplas evidências de história: embora essa célula particular tenha apenas alguns anos, sua arquitetura remonta a mais de um bilhão de anos, à época em que células eucariotas como esta evoluíram sobre a Terra.



A relação entre os tamanhos das estruturas naturais básicas e suas energias de ligação (isto é, as forças necessárias para destruí-las) parece refletir suas origens em diferentes estágios da história cósmica. Os quarks, por exemplo, são tidos como menores que os núcleons (isto é, prótons e nêutrons), e possuidores de energia de ligação maiores, porque foram formados mais cedo no tempo cósmico, quando o universo, por si, era pequeno e relativamente energético.

Para determinar onde a célula obteve a planta que lhe dizia como formar-se, devemos penetrar o núcleo e observar os escorridos contornos das macromoléculas do ADN segregadas dentro do seu gene. Cada uma delas encerra uma grande abundância de informação genética acumulada no decorrer de cerca de quatro bilhões de anos de evolução. Armazenada num alfabeto nucleotídico de quatro "letras" — feito de açúcar e moléculas de fosfato e cheio de sinais de pontuação, reiterações para proteção contra erro, e supérfluos acumulados em becos sem saída da história evolucionária — sua mensagem soe exatamente como fazer um ser humano, desde pele e ossos até células cerebrais.

Aumente-se ainda um pouco mais a ampliação e podemos ver que as moléculas ADN são compostas de muitos átomos, suas camadas externas de elétrons misturadas e engrinaldadas numa maravilhosa variedade de formas, desde ampulhetas até espirais ascendentes como molas finas, até elipses cheias como escudos e fios finos como charutos. Alguns desses elétrons são recém-chegados, arrancados há pouco de átomos vizinhos; outros, juntaram-se aos seus núcleos atômicos há mais de cinco bilhões de anos, na nebulosa da qual a Terra foi formada. Aumentemos a ampliação mais cem mil vezes, e o núcleo de um único átomo de carbono cresce, enchendo todo o campo visual. Esses núcleos foram

reunidos dentro de uma estrela que explodiu muito antes do aparecimento do Sol; sua idade poderia situar-se em algum ponto entre 5 e 15 bilhões de anos, ou mais. Finalmente, examinando ainda mais de perto, podemos perceber os trios de *quarks* que formam cada próton e nêutron no núcleo. Os *quarks* foram reunidos desde que o universo tinha apenas uns poucos segundos de idade.

Ao nos aventurarmos por escalas menores, entramos também em reinos de energias de ligação cada vez mais fortes. Um átomo só pode ser privado de sua camada de elétrons com a aplicação de alguns milhares de elétron-volts de energia, mas para quebrar os núcleons que constituem um núcleo atômico são necessários vários milhões de elétron-volts, e para liberar os *quarks* que formam cada núcleo seria necessária uma energia centenas de vezes maior. Introduzamos o eixo da História, e essa relação atesta o passado das partículas: as estruturas menores, mais fundamentais, estão ligadas por níveis de energia ainda mais altos porque as próprias estruturas foram forjadas no calor do *big bang*.

Isso significa que os aceleradores, como os telescópios, funcionam como máquinas do tempo. Um telescópio olha para o passado em virtude do tempo necessário para que a luz viaje entre as estrelas; o acelerador recria, por mais brevemente que seja, as condições existentes no princípio do universo. O acelerador de 200 KeV, imaginado na década de 1920 por Cockroft e Walton, reproduzia alguns dos fenômenos ocorridos cerca de um dia depois do começo do *big bang*. Aceleradores construídos nas décadas de 1940 e 1950 recuaram para a marca de um segundo após o início do universo. O Tevatron do Formilab fez recuar o limite para menos de um bilionésimo de segundo depois do começo. O supercolisor superconductor proposto proporcionaria uma visão do ambiente cósmico quando o universo tinha menos de mil bilionésimos de um segundo.

Isso é muito remoto: um decimilbilionésimo de segundo representa num segundo um fragmento de tempo menor do que um estalar de dedo representa para toda a história humana registrada. E não obstante, por mais estranho que pareça, a pesquisa na evolução do universo recém-nascido indica que muita coisa aconteceu antes mesmo, durante aquela primeira minúscula fração de segundo. Os teóricos, assim sendo, empenharam-se em formular uma descrição coerente dos primeiros momentos da história cósmica. Suas idéias eram, é claro, incompletas e apenas esboçadas, e muitas de suas conjeturas estarão, decerto, deformadas ou serão simplesmente erradas, mas constituíram uma crônica do começo do universo muito mais esclarecedora do que as existentes apenas uma década antes, e indicavam a extraordinária beleza e capacidade de explicação que se pode esperar de uma teoria mais avançada, quando esta for formulada.

Para ver a história cósmica tal como mostrada pelas teorias do universo inicial, imaginemos uma escada que levasse ao passado — uma escada para o céu, se quiserem. Estamos na sua base, no presente, num momento em que o universo tem cerca de 10 a 20 bilhões de anos. (A maior parte das provas observacionais indicam que a idade do universo está entre 15 e 18 bilhões de anos.) O primeiro degrau para cima nos levará de volta à época em que o universo tinha apenas um bilhão de anos, e cada degrau para o alto fará recuar o relógio a um décimo da leitura anterior — a apenas cem milhões de anos depois do começo, em seguida a 10 milhões de anos, depois a um milhão, e assim sucessivamente.

Suponhamos que subimos essa escada. Um degrau, e a data é um bilhão de anos depois do início do tempo (DIT, abreviadamente). O universo parece

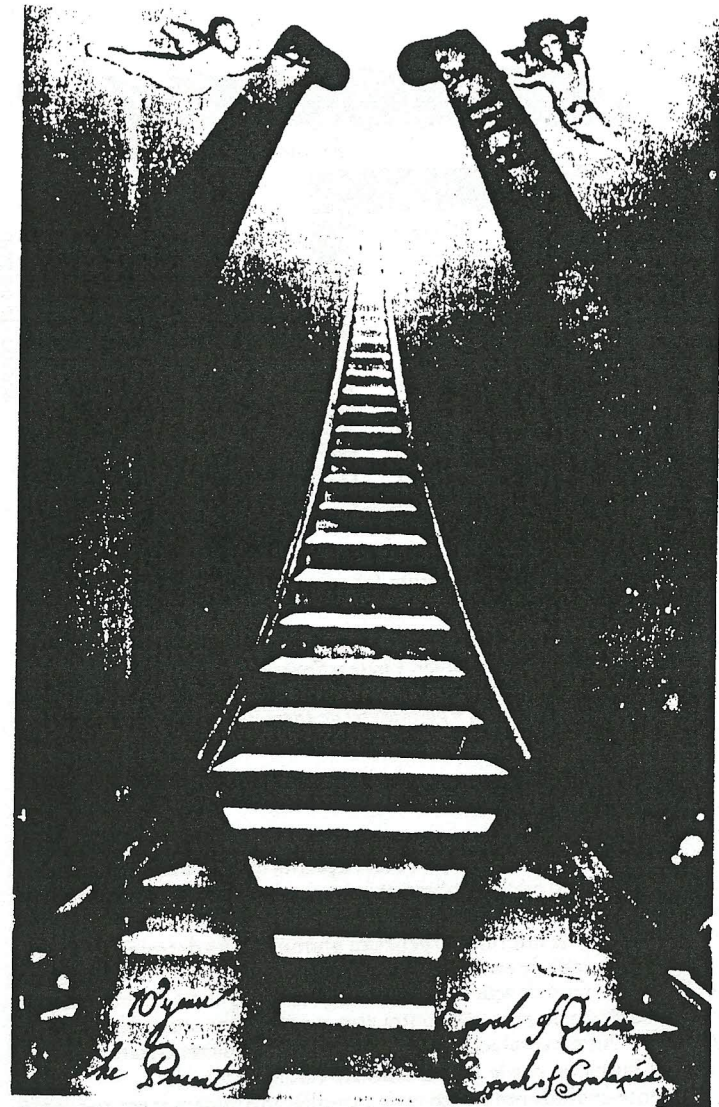
muito diferente. O núcleo da jovem galáxia da Via Láctea brilha intensamente, lançando as sombras de cúmulos de trovoadas galácticas através do espesso disco; no seu núcleo brilha um quasar luminoso, branco-azulado. O disco, ainda em processo de formação, está confuso e denso com poeira e gás; ele secciona um halo esférico que será obscuro em nossa época, mas naquele momento envolve a galáxia num brilhante candelabro de quentes estrelas de primeira geração. As galáxias vizinhas no superaglomerado de Virgo flutuam relativamente próximas; a expansão do universo ainda não teve tempo de afastá-las para as distâncias, tipicamente de dezenas de milhões de anos-luz, nas quais nós as encontraremos em nossa era. O universo é altamente radioativo: torrentes de raios cósmicos chovem sobre nós a cada milissegundo, e se alguma coisa vive nessa época, provavelmente tem mutações rápidas. Na verdade, o ritmo da maioria dos fenômenos é intensíssimo, uma agitação urbana se comparada com a calma relativa de nossa época mais madura.

Com o segundo degrau mergulhamos nas trevas. Chegamos a um período, cem milhões de anos DIT, antes que qualquer estrela, exceto as mais precoces, tenha tido tempo de formar-se. Com exceção de seus escassos e fumarentos faróis, o universo é uma sopa escura de hidrogênio e gás de hélio, que turbilho-na aqui e ali em protogaláxias.

Com mais dois degraus, as trevas são substituídas por uma ofuscante luz branca. A época é um milhão de anos DIT, e o termo técnico para o que aconteceu é desacoplamento do fóton. O gás cósmico que estava por toda parte rarefez-se o suficiente para permitir que partículas leves — fótons — percorram distâncias significativas sem colidirem com partículas de matéria e serem reabsorvidas. (Há muitos fótons, porque o universo é rico em partículas de carga elétrica, que geram energia eletromagnética, cujo *quantum* é o fóton.) É essa grande golfada de luz, muito desviada para o vermelho e rarefeita pela subsequente expansão do universo, que os seres humanos irão detectar, dentro de bilhões de anos, com radiotelescópios, e chamarão de radiação cósmica de microondas de fundo.

Essa época, do "faça-se a luz", tem um efeito significativo sobre a estrutura da matéria. Os elétrons, aliviados da perseguição constante pelos fótons, estão agora livres para se instalarem em órbita em torno dos núcleos, formando átomos de hidrogênio e hélio. Com a presença dos átomos, a química pode ter lugar, para levar, dentro de eões, à formação do álcool e de formaldeído em nuvens interestelares e de moléculas bióticas nos oceanos da Terra primitiva. A temperatura ambiente do universo eleva-se rapidamente à medida que continuamos a subir nossa escada. Era de menos de 3 graus acima do zero absoluto no primeiro degrau, chegou à temperatura ambiente no terceiro, e no sexto degrau elevou-se a 10.000° Kelvin — mais quente do que a superfície do Sol. No décimo primeiro degrau, ponto em que o universo tem pouco menos de um mês de idade, a temperatura por toda parte ultrapassa a do centro do Sol, e no décimo quinto degrau (cinco minutos DIT) é de um bilhão de graus Kelvin.

Por maior que seja a sua energia, o universo aos cinco minutos de idade já se resfriou o suficiente para que núcleos se juntem formando núcleos atômicos permanentes. Vemos prótons e nêutrons aderirem para formar núcleos de deutério (uma forma de hidrogênio) e núcleos de deutério se emparelharem, à parte, para formar os núcleos do hélio (dois prótons e dois nêutrons). Desse



Time - Tempo. Events - Fenômeno. 10^{15} second - 10^{11} do segundo. 10^{12} second - 10^{12} do segundo. 10^{11} second - 10^{13} do segundo. 10^8 second - 10^8 do segundo. 0.3 second - 0,3 de segundo. 5 minutes - 5 minutos. Universe super-symmetric - Universo supersimétrico. Epoch of inflation - Época de inflação. Densest of electroweak force - Densidade da força eletrofraca. Formation of muons - Formação de múons. Epoch of millimeter neutrinos - Época dos neutrinos milimétricos. Disruption of helium nuclei - Desaparelhamento dos núcleos de hélio. 10¹⁰ years - 10¹⁰ anos. Ionization of atoms - Ionização dos átomos. 10¹⁰ years - 10¹⁰ anos. The Present - O presente. Epoch of Quasars - Época dos quasars. Epoch of Galaxies - Época das Galáxias.

A história do universo, mostrada em termos de uma escadaria que leva exponencialmente de volta pelo tempo, demonstra a evolução das estruturas naturais, dos quarks aos núcleos atômicos e átomos e galáxias de estrelas.

modo, um quarto de toda a matéria no universo se está combinando rapidamente em núcleos de hélio — juntamente com traços de deutério, hélio-3 (dois prótons, um nêutron) e lítio. Todo o processo termina em 3min20s.

Além desse ponto — antes de cerca de 1min40s DIT — não há núcleos atômicos estáveis. O nível de energia ambiente excede a energia nuclear de ligação. Em consequência, quaisquer núcleos que se formem são rapidamente separados, outra vez.

Entre os 17° e 18° degraus, a cerca de um segundo DIT, encontramos a época da desacoplagem do neutrino. Embora o universo nessa época seja mais denso do que a rocha (e tão quente quanto a explosão de uma bomba de hidrogênio) já começou a parecer vazio aos neutrinos. Como estes só reagem à força fraca, cujo alcance é extremamente reduzido, eles agora vêem que podem escapar à sua garra e voar indefinidamente sem sofrer nenhuma outra interação significativa. Assim emancipados, estão livres, desde então, para vagar pelo universo ao seu jeito distante, voando através da maioria da matéria como se não existisse. (Dez milhões de trilhões de neutrinos passarão rápida e inocuamente através de nosso cérebro e corpo no tempo necessário para ler esta frase. Quando já tivermos lido, eles estarão mais distantes do que a Lua.) O dilúvio de neutrinos liberados em um segundo DIT, portanto, persiste até mesmo depois, formando uma radiação de fundo cósmica de neutrinos comparável à radiação de fundo de microondas produzida pela desacoplagem dos fótons. Se esses neutrinos "cósmicos" (como são chamados, para distingui-los dos neutrinos liberados mais tarde pelas supernovas) pudessem ser observados por alguma forma de telescópio de neutrinos, eles proporcionariam uma visão direta do universo quando tinha apenas um segundo de idade.

À medida que subimos, o universo continua a se tornar cada vez mais quente e mais denso, e o nível de estrutura que pode existir torna-se cada vez mais rudimentar. Não há, é claro, moléculas, ou átomos, ou núcleos atômicos nesse tempo remoto, e mais ou menos no 22° degrau, cerca de 10^{-6} (0,000001) de segundo DIT não há também prótons nem nêutrons. O universo é um oceano de *quarks* livres e outras partículas elementares.

Se nos dermos ao trabalho de contar, veremos que para cada bilhão de *antiquarks* há um bilhão e um de *quarks*. Essa assimetria é importante: os poucos *quarks* excedentes destinados a sobreviver à aniquilação geral *quark-antiquark* irão formar todos os átomos da matéria de um universo posterior. A origem da desigualdade é desconhecida; presumivelmente ela envolveu o rompimento da simetria matéria-antimatéria em alguma fase anterior.

Aproximamo-nos de uma época em que as estruturas básicas da lei natural, e não apenas as estruturas das partículas e campos cujo comportamento elas determinam, foram alteradas à medida que o universo evoluiu. A primeira dessas transições ocorre no 27° degrau, 10^{-11} de segundo DIT, quando as funções das forças fraca e eletromagnética passam a ser executadas por uma única força, a eletrofraca. Há agora suficiente energia ambiente para apoiar a criação e manutenção de grande número de bósons W e Z. Essas partículas — do mesmo tipo cuja invocação no acelerador do CEPN comprovou a teoria eletrofraca — provocavam interações eletromagnéticas e de força fraca que se intercambiavam, tornando as duas forças indistinguíveis. Antes do 27° degrau, o universo é gover-

nado por apenas três forças — a gravidade, e as interações nuclear forte e eletrofraca.

Os próximos vinte degraus, mais ou menos, de nossa subida, estão envolvidos em mistério. Alguns estudiosos dizem que eles atravessam um "deserto", uma desolada faixa de tempo na qual pouca coisa importante ocorreu. Resta comprovar, porém, com novos experimentos de acelerador e o desenvolvimento de teorias mais sofisticadas, se o deserto não terá florescido.

De acordo com a teoria do "universo inflacionário" (sobre a qual falaremos mais no próximo capítulo) pode ter havido um breve período, lá pelo 40° degrau, durante o qual o universo se expandiu muito mais rapidamente do que depois. Durante essa época inflacionária, o universo teria sido vazio, toda a sua matéria e energia latentes sendo engolidas pelo vácuo que se expandia rapidamente. Não teria havido nada para registrar (nenhuma estrutura material!) a não ser o próprio vácuo, cujos campos se desdobravam prenhes de potencial, mas destituídos de objetos concretos.

Antes do começo da época inflacionária — aproximadamente no 50° degrau, apenas 10^{-33} de segundo DIT — entramos numa fase na qual as condições cósmicas são ainda menos compreendidas. Se as teorias unificadas gerais estão corretas, houve ali um rompimento de simetria no qual a força unificada eletrofraca dividiu-se nas forças eletrofraca e forte. Se a teoria da supersimetria for correta, a transição pode ter ocorrido antes, e teria envolvido a gravitação. Formular uma teoria totalmente unificada equivale a tentar entender o que aconteceu nessa época remota, quando a simetria perfeita, que se supõe ter caracterizado o universo originalmente, decompôs-se em simetrias quebradas que encontramos hoje à nossa volta.

Mas enquanto não tivermos essa teoria, não podemos esperar compreender o que aconteceu no universo recém-nascido. Chegamos aos limites de nossa atual conjectura no 60° degrau, quando a idade do universo é de apenas 10^{-41} do segundo. Encontramos aqui uma porta fechada. Do outro lado está a época de Planck, quando a atração gravitacional exercida pelas partículas era comparável, em força, à força nuclear forte.* A chave teórica que poderia abrir essa porta seria uma teoria unificada que incluísse a gravitação. Quem chegar a essa teoria contemplará mais de perto o alvorecer do tempo. O que verá?

Uma possibilidade, é claro, é a existência de novas portas. Essa perspectiva foi levantada por vários pesquisadores, entre eles Michael Turner, cosmólogo norte-americano que trabalhou na teoria do universo inicial no Fermilab e na Universidade de Chicago. "Acho que nós poderemos encontrar sempre nessa posição — a de que para avançarmos para a seguinte fração mínima de um segundo precisamos de mais conhecimentos do que temos", disse Turner, numa entrevista de 1985. "Se assim for, talvez decorra muito tempo antes de poder-

* A essa altura os gravítions, os portadores da força gravitacional, se teriam desacoplado das outras partículas, produzindo uma radiação gravitacional de fundo muito parecida com as geradas mais tarde pela separação dos neutrinos e fótons. A temperatura, hoje, da radiação gravitacional cósmica, porém, é de apenas 1° Kelvin, situando-se muito abaixo da sensibilidade de qualquer detector gravitacional concebível. Ainda assim, ela aí está, e se pudéssemos encontrar uma maneira de observá-la, poderíamos ver todo o caminho até a época de Planck.

mos, se é que algum dia poderemos, responder à pergunta que todos gostaríamos de elucidar — a questão do que causou a criação.”⁴ Outra possibilidade é que encontraremos a resposta, atrás da porta de Planck, ou da que vier depois dela. A convicção de que isso é possível foi assim expressa em 1985, pelo físico norte-americano John Archibald Wheeler:

Para mim, deve haver, no fundo de tudo isso, não uma equação, mas uma idéia totalmente simples. E para mim essa idéia, quando finalmente a descobrirmos, será tão compulsória, tão inevitável, que diremos uns aos outros: “Oh, que bela. Como poderia ter sido de outro modo?”⁵

Suponhamos que uma teoria unificada seja formulada — dentro de uma ano, ou dentro de um século — que consiga apresentar exatamente essa visão transcendental da perfeição. Como ter certeza de que poderíamos confiar nela? Como Kepler compreendeu depois de perder anos em seu universo esférico de sólidos platônicos, uma teoria não deve ser apenas elegante, mas também ter o veredicto da prova experimental ou observacional. Uma teoria totalmente unificada descreveria, com muita probabilidade, o universo tal como foi a menos de 10^{-43} de segundo DIT, quando o nível da energia ambiente era de mais de 10^{19} GeV. Para recriar tais condições seria necessário um acelerador um milhão de trilhões de vezes mais poderoso do que o supercolisor supercondutor proposto — o que está muito além do alcance de qualquer tecnologia previsível. A verificação experimental dessa teoria poderia permanecer para sempre fora do nosso alcance.

O próprio *big bang*, porém, pode ser considerado como um gigantesco experimento em acelerador, e o universo em que vivemos, o seu resultado. Vistos desse ângulo, os nossos radiotelescópios de microondas são como os detectores de Carlo Rubbia no CEPN, na medida em que as partículas que interceptam foram lançadas pela primeira (e ainda a maior delas) experiência de todos os tempos. Uma teoria bem unificada deveria especificar como se processou essa experiência, prevendo a existência de todas as partículas do universo de hoje. Algumas delas, presumivelmente, ainda não teriam sido detectadas: poderíamos então testar a teoria buscando essas partículas “reliquias” no presente. A teoria da supersimetria, como já vimos no capítulo anterior, prevê a existência de um enorme número de partículas ainda não detectadas, vindas do universo inicial — a chamada “matéria obscura”*. Se a teoria amadurecesse ao ponto de poder especificar as massas dessas partículas, seria possível testá-la, procurando tais partículas.

Um fantasmagórico indício de que esse material não detectado pode existir no universo de hoje é proporcionado pelo que os astrônomos chamam de pro-

* A teoria de *string* postula que existe, e existiu, apenas uma variedade de partícula, mas que essa partícula tem um número infinito de manifestações — como as inúmeras melodias que podem ser compostas numa única corda da lira de Pitágoras. Assim, uma única variedade supersimétrica de partícula evidencia-se nas várias harmonias como gravitons e gravitini, *quarks* e *squarks*, *fótons* e *fontos* e assim por diante. Como, segundo observou Gell-Mann, “esse número infinito de partículas obedecem todas a uma única equação mestre muito bela”, a teoria sugere como a complexidade máxima poderia ter surgido de uma simplicidade máxima.

blema da “massa oculta”. As massas das galáxias e seus aglomerados podem ser deduzidos medindo-se a velocidade na qual as estrelas fazem a órbita aos centros das galáxias a que pertencem, e na qual as galáxias giram em torno do centro dos aglomerados de galáxias.* Em caso após caso, isso chega a alguma coisa como cinco a dez vezes a massa de todas as estrelas e nebulosas visíveis. A implicação surpreendente é que tudo o que vemos e fotografamos no céu equivale apenas a uma fração da matéria que interage gravitacionalmente em nossa área do universo. A matéria não vista poderia, é claro, consistir de objetos relativamente grandes, como as estrelas anãs marron, ou os buracos negros pequenos. Mas poderia consistir também de partículas subatômicas, muitas delas deixadas pelos dias de alta energia do começo do universo, e nesse caso a identidade das partículas proporcionaria um teste observacional da supersimetria, ou de qualquer teoria unificada comparável sobre o começo do universo.

Enquanto esperamos a desejada apoteose da teoria da supersimetria, podemos refletir sobre o papel desempenhado pela simetria na história cósmica. Com isso, chegamos logo à compreensão de que a simetria perfeita, embora bela em termos abstratos, é também estéril. Se, por exemplo, a simetria matéria-antimatéria que se supõe ter existido no início da evolução cósmica tivesse sido preservada, as partículas de matéria e as de antimatéria se teriam aniquilado no *big bang*, e nenhuma matéria, de qualquer tipo, teria sobrevivido, com a qual constituir as estrelas, os planetas e o homem. Se a suposta força original não se tivesse decomposto nas quatro forças, o universo de hoje seria muito diferente, a ponto talvez de ser inabitável. Pode ser então que devamos nossa existência, e a das estrelas no céu, a imperfeições nascidas da quebra de simetria. A investigação do enigma da criação exigiria, então, que imaginássemos um universo perfeitamente simétrico, mas no qual era impossível viver, tentando depois determinar como ele evoluiu a partir desse estado estéril, prístino, para tornar-se o universo menos perfeito, mas mais variado e hospitaleiro, no qual hoje nos encontramos.

NOTAS

1. Gell-Mann, entrevista com o autor, Pasadena, 2 de fevereiro de 1985.
2. Weinberg, entrevista com o autor, Austin, Texas, 28 de fevereiro de 1985.
3. Gell-Mann, entrevista com o autor, Pasadena, 2 de fevereiro de 1985.
4. Turner, entrevista com o autor, Fermilab, 26 de fevereiro de 1985.
5. John Archibald Wheeler, entrevista com o autor, Austin, 28 de fevereiro de 1985.

* Lembremos que, como descobriu Newton, a força gravitacional de qualquer objeto pode ser considerada como emanada de um ponto em seu centro. Cada estrela da galáxia responde à gravitação total da massa da galáxia que está dentro de sua órbita, como se a gravidade viesse de um ponto no centro galáctico. A velocidade orbital de uma estrela próxima da orla de uma galáxia, portanto, constitui um índice da massa total da galáxia.