Guido Tonelli

Gênesis

A história do universo em sete dias

Tradução:
Federico Carotti

Revisão técnica:
Alexandre Cherman

Material com direitos autorais

Os aceleradores do futuro

Terceiro dia: *Nascimento dos imortais*

O mais perfeito dos líquidos

Um próton é para sempre

Leves, mas indispensáveis

Os mais tímidos e gentis partem primeiro

Eles formarão o coração das estrelas

Quarto dia: *E finalmente fez-se a luz*

Um mundo sem luz e povoado por entidades escuras

Soa a hora da matéria

As mensagens secretas escondidas no muro

Uma narrativa muito detalhada

Quinto dia: *A primeira estrela se acende*

Saímos por ali, a rever estrelas

A era épica das megaestrelas

Um incrível fogo de artifício cósmico

O fascínio das estrelas negras

A singularidade dos buracos negros

Uma fusão que vale ouro

Sexto dia: *E o caos se fantasiou de ordem*

Spira mirabilis

Galáxias, aglomerados e colisões

O coração das trevas da nossa Via Láctea

Não acordem o dragão adormecido

As finas flechas de órion

Sétimo dia: *Um fervilhar de formas complexas*

Material com direitos autorais

O Sol e os seus errantes
Ainda bem que Theia nos devastou
O berço da complexidade
Exoplanetas

O que nos torna humanos
A construção do simbólico
No princípio era o Thauma
Poder da imaginação

Epílogo: O massacre de Nossa Senhora da Assunção

Agradecimentos
Sobre o autor
Créditos

Material com direitos autorais

Ao pequeno Jacopo

Material com direitos autorais

Precisamos de poesia, desesperadamente.

AUTOR ANÔNIMO, pichação no muro de uma viela
no centro de Palermo, outubro de 2018

Todas as dores podem ser suportadas se forem inseridas numa história, ou se você contar uma história sobre elas.

ISAK DINESEN

Lançar raízes é talvez a necessidade mais importante e menos reconhecida da alma humana.

SIMONE WEIL

Material com direitos autorais

Prólogo

"Professor, como vai? Posso lhe fazer uma pergunta? Será que entendi direito? Ele ainda está mesmo vazio? Quero dizer, todo o universo que nos rodeia? Inclusive Donald Trump e os acionistas da Fiat Chrysler que estão me deixando louco? Que maravilha. Genial. Eu sempre soube que devia ter estudado física e deixado de lado essas bobagens que me ocupam há quarenta anos."

Sergio Marchionne está me ligando dos Estados Unidos no fim de sua frenética rotina semanal: um par de dias em Maranello, depois um helicóptero até Turim para pegar um voo para Detroit, encerrar a semana e recomeçar o périplo. Poucas variantes, nada de pausa nem de período de descanso.

Tudo começou em 2016, no final de julho, quando me convidaram para visitar a fábrica da Ferrari para uma entrevista. Para mim, foi uma ocasião para ver pessoalmente aquelas pequenas joias da tecnologia e falar com os jovens técnicos e engenheiros que colocam nos novos modelos o cuidado quase maníaco dos velhos artesãos. A manhã passou voando e já estamos sentados à mesa do restaurante onde Enzo Ferrari costumava almoçar. Por todo lado, fotos do "patriarca" e as relíquias de seus inúmeros triunfos. Enquanto conversamos sobre a Fórmula Um e Ferraris elétricas, chega um telefonema totalmente inesperado: é Sergio Marchionne perguntando se posso dar uma passada em seu escritório para cumprimentá-lo.

Subo até lá na certeza de que vou receber uma rápida saudação de cortesia, mas mal tenho tempo de me sentar e recebo à queima-roupa a menos óbvia das perguntas: "Professor, o senhor acredita em Deus?".

Com um começo desses, fica claro que não se trata de uma saudação rápida nem formal. Passamos a hora seguinte falando sobre como

Material com direitos autorais

nasceu o universo, discutindo o que é o vazio, indagando-nos sobre o nascimento e o fim do espaço-tempo. Marchionne acende um cigarro depois do outro, enquanto pede explicações a respeito de tudo. Vejo no seu olhar uma curiosidade sincera e encantamento. "São essas coisas que eu gostaria de ter estudado quando jovem. Nunca estive à altura de encarar as matérias científicas. Por isso me formei em filosofia. Depois a vida me levou numa direção totalmente diferente", diz, e começa a me contar sobre a sua adolescência canadense nada simples e sobre as circunstâncias, algumas delas fortuitas, que o levaram a chefiar uma das empresas mais importantes do mundo.

Quando a secretária nos avisa que o motorista que me levará ao aeroporto está bastante nervoso, pois corro o risco de perder o voo de volta, precisamos nos despedir. Antes que eu vá, Marchionne me pede uma dedicatória em *La nascita imperfetta delle cose*, e aviso que depois irei interrogá-lo para ver se leu mesmo o livro. Quando recebo o primeiro telefonema, passadas umas duas semanas, vejo que cumpriu o combinado.

Nasce então uma convivência que me leva de volta a Módena meses depois, por ocasião do encontro anual que a Ferrari organiza com os executivos de seus parceiros mais importantes. Durante o jantar continuamos o nosso jogo de perguntas, dessa vez com a participação dos outros comensais. E passamos a noite falando de buracos negros, de Stephen Hawking e de ondas gravitacionais. Depois, um pouco antes de nos servirem a sobremesa, Marchionne interrompe tudo e me convida a tomar a palavra. Pede que eu narre o nascimento do universo e a descoberta do bóson de Higgs, e que não tenha dó nem piedade: "Pegue pesado, professor. Quero que esses brucutus entendam quais são as coisas realmente importantes no mundo".

No final da noite, segurando-me pelo braço, Marchionne me diz: "Daqui a uns anos vou me afastar de tudo isso e voltar a estudar física. O

Material com direitos autorais

senhor me prometa que vai preparar para mim uma listinha de textos sobre mecânica quântica e partículas elementares que me permitam entender melhor as coisas".

Costumo dizer que as grandes questões tratadas pela física estão dentro de cada um de nós e que essa curiosidade primordial ainda arde em nossa alma. Comprometo-me a lhe enviar a bibliografia, mas não consigo disfarçar um certo ceticismo no olhar. "Professor, acredite, vou mesmo fazer isso." Nenhum de nós, naquele momento, podia imaginar a rapidez com que esses projetos mudariam.

Material com direitos autorais

Introdução
A grande narrativa das origens

Quando a segunda onda de *Homo sapiens* chegou da África, há cerca de 40 mil anos, os neandertais já povoavam muitas zonas da Europa. Organizados em pequenos clãs, habitavam cavernas que hoje nos oferecem provas inequívocas de um complexo universo simbólico. Paredes pintadas com símbolos e desenhos de animais, cadáveres sepultados em posição fetal, ossos e grandes estalactites dispostos em círculos rituais. São inúmeros os testemunhos de uma civilização que, com toda probabilidade, possuía uma linguagem sofisticada que jamais conheceremos.

Assim, é possível imaginar uma narrativa das origens do mundo que ressoe já naquelas cavernas, com os velhos transmitindo aos jovens — potência da palavra e magia da memória — os ecos de uma antiquíssima história. Será preciso esperar milhares de gerações antes que Hesíodo, ou quem quer que seja, nos deixe com a *Teogonia* um testemunho escrito dessa narrativa, a primeira a criar uma ligação entre poesia e cosmologia.

Essa narrativa das origens continua até hoje, graças às palavras da ciência. As equações não têm o poder evocativo da linguagem poética, mas os conceitos da cosmologia moderna — o universo que nasce de uma flutuação do vazio ou a inflação cósmica — ainda nos tiram o fôlego.

Tudo nasce de uma pergunta, simples e inelutável: "De onde vem tudo isso?".

Uma pergunta que ressoa ainda hoje, em todas as latitudes, entre indivíduos das culturas mais diversas, traço comum de civilizações aparentemente muito distantes. Ela é feita por crianças e empresários,

Material com direitos autorais

cientistas e xamãs, astronautas e os últimos representantes das pequenas populações de caçadores-coletores que sobrevivem, isoladas, em algumas regiões da ilha de Bornéu e da Amazônia.

Uma questão tão primordial que alguns imaginam, inclusive, que nos foi transmitida pela espécie anterior à nossa.

Os mitos fundadores e a ciência

Para os bacubas do Congo, quem criou o universo foi o grande Mbombo, senhor de um mundo obscuro que vomitou o Sol, a Lua e as estrelas para se livrar de uma terrível dor de barriga; segundo os fulas do Sahel, foi o herói Doondari que transformou uma enorme gota de leite em terra, água, ferro e fogo; para os pigmeus da floresta da África equatorial, tudo nasceu de uma enorme tartaruga que, à medida que ia nadando, deixava seus ovos na água primordial.

Na origem de grande parte das narrativas mitológicas há quase sempre algo de indistinto, que consterna: o caos, as trevas, uma extensão líquida e amorfa, uma grande neblina, uma terra desolada. Até que um ser sobrenatural intervém para dar forma, para trazer ordem. Então surgem o grande réptil, o ovo primordial, o herói ou o criador que separa Céu e Terra, Sol e Lua e dá vida aos animais e aos homens.

A instauração da ordem é uma passagem necessária porque estabelece as regras, lança os alicerces dos ritmos que marcam a vida das comunidades: os ciclos do dia e da noite e a alternância das estações. A desordem primordial remete ao medo ancestral, o pavor de cair presa das forças desencadeadas pela natureza, sejam animais ferozes ou terremotos, secas ou inundações. Mas, quando a natureza é plasmada de modo a seguir as regras ditadas por quem trouxe ordem ao mundo, a frágil comunidade humana pode então sobreviver e se reproduzir. A ordem natural se espelha na ordem social, no conjunto de regras e tabus

Material com direitos autorais

que definem o que é permitido e o que é absolutamente proibido fazer. Se o grupo, a tribo, o povo inteiro se comportarem segundo as leis estabelecidas por esse pacto primordial, esse muro de normas protegerá a comunidade da desagregação.

Do mito nascerão depois outras construções, que se tornarão religião e filosofia, arte e ciência, disciplinas que se mesclarão e se fertilizarão mutuamente, permitindo que civilizações milenares floresçam. Esse entrelaçamento se rompe a partir do momento em que as disciplinas científicas vivem um impetuoso desenvolvimento, desproporcional se comparado ao das demais atividades especulativas. E então o ritmo sonolento de sociedades imutáveis por séculos é subitamente rompido pela sucessão de descobertas que modificam a maneira de viver de povos inteiros. De repente tudo muda e continua a mudar, numa velocidade espantosa.

Com o desenvolvimento da ciência nasce a modernidade, as sociedades se tornam dinâmicas e em contínua transformação, os grupos sociais entram em fermentação, as classes dominantes sofrem mudanças profundas, equilíbrios seculares de poder são subvertidos no decorrer de poucas décadas, se não de anos.

Mas as transformações mais profundas não se referem à forma como nos comunicamos ou produzimos riqueza, à nossa maneira de viajar ou de tratar nossas doenças. As mudanças mais radicais sobrevêm no nosso modo de ver o mundo e, portanto, também, de situar a nós mesmos. A narrativa das origens que deriva da ciência moderna logo adquire uma consistência e uma completude com as quais é difícil rivalizar. Nenhuma outra disciplina pode fornecer explicações mais convincentes, verificáveis e congruentes com a infinidade de observações produzidas pelos cientistas.

Embora o cenário em que a humanidade se move perca progressivamente as características mágicas e misteriosas que a

Material com direitos autorais

acompanharam por milênios, a visão de mundo que se vem desenvolvendo é a mais incrível que se pode imaginar. A ciência narra nossas origens a partir de uma história muito mais imaginativa e poderosa do que as narrativas mitológicas. Pois, para construir essa história, os cientistas sondaram os recessos mais ocultos e minúsculos do real, aventuraram-se a explorar os mundos mais remotos e precisaram enfrentar estados da matéria tão diferentes dos habituais que quase transtornaram suas mentes.

Nascem daqui as mudanças de paradigma que definem uma época e alteram irreversivelmente as nossas relações. É a rápida e incessante sucessão das descobertas científicas que assinala o ritmo desse movimento subterrâneo, como o impulso poderoso de um magma incandescente que deforma a crosta terrestre e, às vezes, a rompe de maneira irremediável.

A narrativa da ciência sobre a origem do universo já condiciona nossas vidas, modifica em profundidade as bases sobre as quais novos pactos sociais serão construídos, abre cenários inéditos de oportunidades e de riscos, determina o futuro das novas gerações.

Por isso a narrativa das origens feita hoje pela ciência deve ser conhecida, como acontecia nas comunidades da Grécia antiga, em que todos sabiam quais eram os mitos fundadores da própria *polis*. Para isso, porém, é preciso vencer um grande obstáculo: é necessário enfrentar a dificuldade da linguagem científica.

Uma língua complicada

Tudo nasce de um episódio aparentemente secundário, ocorrido quatrocentos e poucos anos atrás, tendo como protagonista um professor pisano de geometria e mecânica da Universidade de Pádua. Galileu Galilei, quando começa a modificar o estranho tubo criado por

Material com direitos autorais

um óptico holandês para convertê-lo em instrumento de observação dos corpos celestes, nem de longe pode imaginar os problemas que isso lhe acarretará no futuro, muito menos o abalo que as suas observações provocarão no mundo inteiro.

Aquilo que Galileu vê através desse sistema de lentes o deixa sem palavras: a Lua não é aquele corpo celeste perfeito descrito nos textos mais reputados, não é composta de matéria incorruptível, mas tem montanhas, crateras de bordas irregulares e planícies semelhantes às nossas; o Sol tem manchas e gira em seu próprio eixo; a Via Láctea é um amontoado de enormes astros; as "estrelinhas" que cercam Júpiter são satélites parecidos com a Lua, orbitando ao redor dele.

Ao publicar todas essas descobertas no *Sidereus Nuncius*, em 1610, Galileu provoca, talvez inconscientemente, uma avalanche que derrubará um sistema de crenças e valores dominante por mais de mil anos e que ninguém jamais ousara questionar.

Com Galileu nasce a modernidade: o homem se liberta de toda tutela e fica solitário, armado apenas com o seu engenho, diante da grandeza do universo. O cientista não procura mais a verdade nos livros, não se curva ao princípio da autoridade, não repete mais as fórmulas transmitidas pela tradição, mas submete tudo à crítica mais feroz. A ciência se torna uma busca criativa de "verdades provisórias" por meio de "experiências sensatas" e "demonstrações necessárias".

O poder do método científico reside em utilizar hipóteses verificadas por meio de instrumentos que permitem observar, medir e catalogar os mais díspares fenômenos da natureza. São os resultados dos experimentos, que Galileu chama de "experiências sensatas", que decidem se uma hipótese funciona ou deve ser abandonada.

A partir das suas observações logo serão encontradas provas irrefutáveis para sustentar as teorias "inacreditáveis" de Copérnico e Kepler, e a visão do mundo mudará tão rápido que nada mais será como

Material com direitos autorais

antes. A arte, a ética, a religião, a filosofia, a política, tudo, em suma, será subvertido por essa revolução conceitual que colocará o homem, com a sua razão, no centro de tudo. Os abalos que a nova abordagem produzirá, num arco temporal bastante limitado, serão tão profundos que é difícil encontrar precedentes.

A ciência galileana é tão revolucionária porque não se arroga o direito de deter a verdade, mas procura incessantemente a falsificação das suas previsões: entusiasma-se com a ideia de fazer ruir de repente as certezas adquiridas até o momento; corrige-se a si mesma com base em verificações experimentais; por fim, para acentuar as hipóteses cada vez mais complexas que são elaboradas, se lança à exploração dos recessos mais recônditos da matéria e do universo.

Dessa abordagem paciente e consciente nascem novas concepções que abordam fenômenos elusivos e aparentemente marginais. Assim, enquanto se constrói uma visão de mundo cada vez mais completa e sofisticada, acaba-se por dominar nos mínimos detalhes os fenômenos naturais mais remotos, e tecnologias cada vez mais sofisticadas podem ser desenvolvidas.

O preço a pagar para seguir esse caminho é a utilização de instrumentos cada vez mais complexos e de uma linguagem que se desprende cada vez mais do senso comum. Com esse afastamento do ambiente em que se desenrola nossa vida cotidiana, os instrumentos e o aparato conceitual que marcam nossas atividades usuais se tornam plenamente inadequados. Quando exploramos as dimensões minúsculas em que se escondem os segredos da matéria ou os imensos espaços cósmicos que nos relatam a origem do universo, precisamos de equipamentos muito especiais e anos de preparação.

Isso não deve surpreender. Mesmo as explorações mais aventurosas sobre a Terra exigem muito esforço e instrumentos específicos. Pensemos nas regatas extremas, nas escaladas do Himalaia ou nas

Material com direitos autorais

expedições aos abismos oceânicos. Por que a exploração científica haveria de ser mais simples?

Assim, quem quiser de fato apreciar a física terá de se esforçar por anos, estudar teoria dos grupos e cálculo diferencial, dominar a relatividade e a mecânica quântica, aprender a teoria dos campos. Coisas complicadas, linguagem e conceitos difíceis de dominar mesmo para quem os maneja há anos. Mas a barreira da linguagem especializada, que impede a maioria de entrar no coração pulsante da pesquisa científica moderna, pode ser facilmente removida. É possível usar a linguagem comum para explicar os conceitos de base e, sobretudo, para tornar acessível a todos a nova visão do mundo que está sendo produzida pela ciência.

Uma viagem perigosa

Para entender a origem do nosso universo, é preciso estar disposto a enfrentar uma viagem muito arriscada. O perigo consiste em que temos de levar a nossa mente para lugares tão diferentes dos que nos são habituais que as nossas categorias de praxe se tornam completamente imprestáveis. Assim, somos obrigados a narrar o indizível, a nos representar o inimaginável, enfrentando todos os limites da nossa mente de *Homo sapiens sapiens*, que foi um instrumento poderosíssimo para explorar e colonizar o planeta, mas que se revela inadequado para entender a fundo o que acontece em lugares tão distantes. Como os antigos exploradores, não temos escolha senão apontar a proa para o horizonte, aceitando riscos e incógnitas da navegação num oceano desconhecido.

Contudo, na pesquisa científica, é muito importante também o retorno ao porto de origem. Nisso o pesquisador moderno se parece muito com Ulisses, que sempre sonha, onde quer que esteja, com o

Material com direitos autorais

momento de chegar a Ítaca. Voltar para casa significa, mesmo que a rota não tenha levado a nenhuma terra nova ou ocorra um terrível naufrágio, que se pode narrar a outros marinheiros os percursos infrutíferos e os bancos de areia a serem evitados.

Pois a ciência moderna é também uma grande aventura coletiva. Temos teorias e mapas que nos guiam, mas muitas vezes o acaso nos leva a locais totalmente desconhecidos; temos "navios" atentos a todos os detalhes, mas basta descuidar de um mínimo pormenor e o desastre se abate sobre nós. A nossa tripulação é uma comunidade colorida e turbulenta de milhares de mentes apaixonadas, exploradores modernos pacientes e curiosos, ágeis como Ulisses quando se trata de inventar estratagemas para vencer imprevistos.

Embora as finalidades da nossa pesquisa sejam afetadas por perguntas quase filosóficas (Do que é feita a matéria? Como nasce o universo? Que fim terá o nosso mundo?), o trabalho dos físicos experimentais é uma das atividades mais concretas que se possa imaginar.

O físico de partículas, um dos 10 mil pesquisadores do mundo que exploram o comportamento dos mais minúsculos fragmentos de matéria, não fica sentado à escrivaninha fazendo cálculos, refletindo sobre teorias, imaginando partículas novas. Um aparato moderno para a física de altas energias tem a altura de um prédio de cinco andares, o peso de um cruzador e dezenas de milhões de sensores. Para construir e pôr em funcionamento esses milagres da tecnologia, são necessárias milhares de pessoas e um trabalho de cuidado obsessivo com os detalhes que pode durar décadas. Para construir novos instrumentos mais refinados do que os anteriores, para lançar "navios" mais ágeis e velozes para que naveguemos, são necessários anos de trabalho para desenvolver protótipos, para fazê-los funcionar e depois para produzi-los em larga escala. E, mesmo quando detectores feitos com o máximo e paciente cuidado são instalados no experimento e funcionam

Material com direitos autorais

tranquilamente por meses, vive-se sempre com o pavor da catástrofe. Um detalhe negligenciado, um chip defeituoso, um conector frágil, um tubo de resfriamento soldado às pressas podem, a qualquer momento, produzir danos irreparáveis no empreendimento coletivo inteiro. A diferença entre um clamoroso sucesso científico e o pior dos fracassos muitas vezes se esconde num tolo e insignificante detalhe.

As duas vias da sabedoria

Como reunir informações experimentais sobre o nascimento do espaço-tempo? Como os cientistas estudam os primeiros vagidos do universo criança? Aqui entram em jogo os dois caminhos do conhecimento, independentes e distintos entre si.

Por um lado, os físicos de partículas que exploram o infinitamente pequeno. O ponto de partida é que a matéria que nos cerca — que forma rochas e planetas, flores e estrelas, em suma, tudo, inclusive nós — tem características especiais, propriedades que nos parecem comuns, mas que, na verdade, são muito particulares, ligadas ao fato de que o universo é uma estrutura muito velha e muito fria. Os dados mais recentes nos dizem que a "nossa casa" foi construída quase 14 bilhões de anos atrás e que se trata de um ambiente de fato gelado, frio, diria eu, a níveis impossíveis. Para nós, isolados no planeta Terra, tudo parece tépido e confortável, mas, tão logo saímos da camada protetora da atmosfera, o termômetro despenca. Se medirmos a temperatura de um ponto qualquer nos imensos espaços vazios que separam as estrelas ou no espaço intergaláctico, encontraremos valores poucos graus acima do zero absoluto: −270°C. A matéria do universo atual, rarefeito, antiquíssimo e extremamente frio, comporta-se de maneira muito diferente da do universo criança, que era um objeto incandescente e de enorme densidade.

Material com direitos autorais

Para entender o que aconteceu naqueles primeiros instantes de vida, é preciso se esforçar, encontrar uma maneira de reconduzir minúsculos fragmentos de matéria atual às altíssimas temperaturas daquelas condições originais. É preciso tentar fazer uma espécie de viagem no tempo.

É o que os aceleradores de partículas fazem. Criando colisões entre prótons ou elétrons de alta energia, utilizamos a equação de Einstein: energia igual a massa vezes a velocidade da luz ao quadrado. Quanto maior a energia da colisão, mais alta será a temperatura obtida e maior a massa das partículas que poderão ser produzidas e estudadas. Para alcançar as máximas energias são necessários aparatos gigantescos, como o LHC [Grande Colisor de Hádrons], o enorme acelerador do Cern que se estende por 27 quilômetros no subsolo próximo a Genebra.

Assim, aquecendo minúsculas porções de espaço a temperaturas semelhantes às do universo primordial, é possível trazer partículas extintas de volta à vida: as partículas ultramassivas, que povoavam o objeto incandescente dos primeiríssimos instantes e que desapareceram há muito tempo. Graças aos aceleradores, elas ressurgem por um instante do sarcófago gelado em que estão como que hibernando e podemos estudá-las em detalhe. Foi assim que descobrimos o bóson de Higgs. Trouxemos de volta à vida algumas porções depois de um sono que durava 13,8 bilhões de anos. É claro que os tão procurados bósons se desintegraram imediatamente em partículas mais leves, mas deixaram traços característicos nos detectores. As imagens desses decaimentos especiais se acumularam e, no momento em que tivemos certeza de que o sinal se distinguia do fundo e de que as outras possíveis causas de erro estavam sob controle, anunciamos a descoberta ao mundo.

A exploração do infinitamente pequeno, a reconstrução de partículas extintas, o estudo dos estados exóticos da matéria que povoavam o universo primordial é uma das duas vias para entender os primeiros

Material com direitos autorais

instantes de vida do espaço-tempo. A outra via são os supertelescópios, grandes instrumentos que exploram o infinitamente grande, que estudam estrelas, galáxias e aglomerados de galáxias, procurando até observar o universo todo. Também nesse caso é utilizada a relação de Einstein, que fixa em *c* a velocidade da luz, cerca de 300 mil quilômetros por segundo: uma velocidade muito alta, mas não infinita. Assim, quando observamos um objeto muito remoto, galáxias a uma distância de bilhões de anos-luz de nós, elas se mostram não como são agora — é até difícil definir o que quer dizer *agora* —, mas como eram bilhões de anos atrás, isto é, quando emitiram aquela luz que só agora chegou até nós.

Com os supertelescópios, olhando objetos muito grandes e muito distantes, podemos observar "ao vivo" todas as fases principais da formação do universo e reunir dados preciosos sobre a nossa história. Desse modo, observando os primeiros tímidos sinais emitidos por milhares de novos astros que florescem no coração de enormes nebulosas gasosas, compreendemos como nascem as estrelas: é possível notar o adensamento de gás e poeira nos anéis de material que orbitam em volta de algum novo astro, indício certo de sistemas protoplanetários em formação. Assim nasceu o nosso Sol e assim se formaram os planetas que o cercam, e é maravilhoso poder ver isso "ao vivo".

Indo mais além, assistimos à formação das primeiras galáxias, objetos turbulentos que por vezes emitem enormes quantidades de radiação em todos os comprimentos de onda, sinal inequívoco de nascimentos traumáticos. Com os supertelescópios podemos, enfim, observar a maravilha do universo no seu conjunto e medir algumas de suas propriedades com uma precisão espantosa. A distribuição local da temperatura do universo é uma espécie de memória incrível, que contém traços expressivos do que aconteceu nos primeiríssimos

Material com direitos autorais

instantes de vida: minúsculas flutuações de temperatura nos falam da nossa história mais remota com uma linguagem que há tempos conseguimos interpretar.

Mas a coisa mais assombrosa é que os dois caminhos do conhecimento, baseados em métodos diferentes e quase estranhos entre si, conduzidos por duas comunidades totalmente independentes, mostram plena coerência: os dados reunidos no mundo das distâncias infinitesimais das partículas elementares e no mundo das enormes distâncias cósmicas convergem inexoravelmente na direção da mesma narrativa das origens.

Abandonai todo preconceito, ó vós que entrais

O discurso científico requer, acima de tudo, abandonar toda forma de preconceito. Os verdadeiros exploradores não têm medo do imprevisto; pelo contrário, mal veem a hora de se descobrirem diante de fenômenos totalmente inesperados. Como os míticos argonautas, que embarcaram em busca do tosão de ouro, movem-se tanto pela curiosidade quanto pela recompensa. Não buscam a tranquilidade; pelo contrário, amam o risco.

Quando se empreende uma viagem em direção à origem do mundo como a que estamos para iniciar, os conceitos que guiam a nossa vida cotidiana, como a persistência das coisas, a tranquilidade decorrente da harmonia que vemos ao nosso redor, devem ser pronta e definitivamente abandonados. Não poderemos mais nos referir ao universo usando a palavra cosmo, como fazíamos quando tudo parecia um sistema organizado e regular e o contrapúnhamos ao caos, à desordem relegada aos recantos remotos e insignificantes.

Somos tão condicionados pela nossa vida cotidiana, por aquilo que vemos e experimentamos na fina crosta esférica que habitamos, que

Material com direitos autorais

achamos natural imaginar que as leis que regulam a nossa existência sejam as mesmas que vigoram em todos os outros pontos do universo. Encantados pela regularidade com que a noite se segue ao dia, pela recorrência dos ciclos lunares e das estações, pela persistência das estrelas que iluminam a abóbada celeste, imaginamos que por toda parte vigoram equilíbrios análogos. Mas não é assim. Pelo contrário.

Estamos aqui há alguns poucos milhões de anos, vivendo existências de duração infinitesimal comparadas à dos ciclos de qualquer processo cósmico relevante; habitamos um tépido planeta rochoso, rico em água, rodeado e protegido por uma atmosfera confortável e por um campo magnético benévolo que, como mantos mágicos, absorvem os raios ultravioleta e nos protegem dos efeitos devastadores dos raios cósmicos e dos enxames de partículas. A nossa estrela-mãe, o Sol, é uma estrela anã e habita uma região muito tranquila e um tanto periférica da galáxia que nos hospeda. O sistema solar inteiro orbita lentamente, por assim dizer, a 26 mil anos-luz de distância do centro da Via Láctea. Uma distância segura, porque já ali se aninha um monstruoso buraco negro, o Sagittarius A*, um objeto que possui 4 milhões de massas solares, capaz de destruir milhares de estrelas ao seu redor.

Se depois observarmos com atenção os fenômenos que afetam corpos celestes aparentemente estacionários e plácidos como as estrelas, encontraremos objetos incríveis e descobriremos que imensas quantidades de matéria podem se comportar de maneira bastante excêntrica.

É o caso dos pulsares, objetos escuros e compactos que concentram num raio de cerca de dez quilômetros a massa de um ou dois sóis. Trata-se de miríades de nêutrons aprisionados pela gravidade, que os esmaga, comprime e tenta despedaçá-los, enquanto a estrela gira vertiginosamente em torno do próprio eixo, produzindo imensos campos magnéticos.

Material com direitos autorais

Isso para não falar dos quasares e blazares, corpos ultramassivos que rugem no centro de algumas galáxias. Buracos negros com massas desproporcionais, até bilhões de vezes maiores do que a do Sol, capazes de engolir as desventuradas estrelas que acabam aprisionadas em seu monstruoso campo gravitacional. Uma dança macabra que se desenrola ao longo de milhões de anos e que podemos observar da Terra porque a matéria que cai no abismo, girando em espiral, se contorce, se desintegra e acaba por emitir jatos altamente energéticos e erupções de raios gama que nossos detectores são capazes de identificar.

Esses estranhos corpos celestes, estrelas de nêutrons e buracos negros, estão na origem das gigantescas catástrofes que parecem ocorrer com frequência em regiões inteiras do "cosmo". Mas hoje podem ser estudados com grande precisão, a ponto de chegarmos a vê-los entrar em colisão e desarticular o espaço-tempo com ondas gravitacionais que nos alcançam a uma distância de bilhões de anos-luz.

Mas, para entender como sob a aparência do *cosmo* se esconde o *caos*, não é preciso olhar tão longe. Basta observar de perto a superfície do Sol. Aquilo que nos parece ser um astro tranquilo, que ilumina placidamente os nossos dias, torna-se, visto de perto, um sistema complexo e caótico, composto de incontáveis explosões termonucleares, movimentos convectivos, oscilações periódicas de massas assustadoras e fluxos de plasma lançados por todo lado por imponentes campos magnéticos. No interior da nossa estrela está em ação um choque de forças titânicas, uma batalha que se prolonga por inúmeros anos, com um vencedor anunciado: a gravidade. E daqui a alguns bilhões de anos, quando o combustível nuclear se esgotar, ela enfim conseguirá despedaçar e esmagar as camadas internas, levando nossa estrela ao colapso. O núcleo central será comprimido, enquanto as camadas mais externas começarão a se expandir até alcançar Mercúrio, Vênus e a Terra, fazendo com que se evaporem no mesmo instante.

Material com direitos autorais

image not available

Observatório de Mount Wilson, na Califórnia, equipado na época com o telescópio mais potente do mundo.

A técnica em uso se valia das cefeidas, estrelas pulsantes de luminosidade variável. Poucos anos antes de Hubble iniciar seu trabalho, Henrietta Swan Leavitt, uma das primeiras astrônomas americanas, que deu uma enorme contribuição a esse campo de pesquisa, havia morrido — mas, como ocorre com frequência nesses casos, sem receber o devido reconhecimento. De fato, no início do século XX, era praticamente impensável que uma mulher utilizasse um telescópio, e as raríssimas jovens cientistas eram alocadas em atividades auxiliares. A Leavitt coube o papel secundário e mal remunerado de computador humano: sua tarefa consistia em examinar, uma a uma, milhares de chapas fotográficas contendo imagens capturadas pelos telescópios e anotar características de estrelas e objetos celestes. Em particular, era sua função medir e catalogar a luminosidade aparente das estrelas.

A jovem astrônoma concentrou seus estudos nas estrelas de luminosidade variável pertencentes à Pequena Nuvem de Magalhães, nebulosa que, na época, acreditava-se fazer parte da nossa galáxia. A observação genial de Leavitt foi que as estrelas mais luminosas eram também as que tinham o período de pulsação mais longo. Uma vez estabelecida essa correlação, era possível obter uma estimativa da luminosidade absoluta de uma estrela, o que permitiria medir sua distância. A luminosidade de um objeto varia com o inverso do quadrado da distância do observador; portanto, conhecendo a intensidade luminosa absoluta da amostra, basta medir a luminosidade aparente para obter sua distância.

Leavitt mediu a relação entre a luminosidade e o período de pulsação das cefeidas da Pequena Nuvem de Magalhães e, formulando a hipótese de que as estrelas se encontravam grosso modo à mesma distância, pôde

Material com direitos autorais

image not available

cosmológica, acabou por se embrenhar tanto no imaginário coletivo que contribuiu notavelmente para o seu sucesso.

Um dos opositores mais aferrados foi a União Soviética. Os cientistas soviéticos passaram décadas tachando o Big Bang de teoria pseudocientífica e idealista, que especulava sobre uma espécie de criação semelhante demais à descrita pela religião para não despertar suspeitas. Para eles, não importava que Lemaître sempre tivesse separado o âmbito da ciência e o âmbito da fé, a ponto de reagir horrorizado quando Pio XII, em 1951, não resistiu à tentação de se referir ao Big Bang descrito pelos cientistas como o momento bíblico da criação. Era a tentativa do papa de propagandear uma espécie de validação científica do criacionismo para reforçar as bases racionais da fé, que Lemaître contestou com vigor.

O que determinou o sucesso definitivo da teoria do Big Bang foram, mais uma vez, os resultados experimentais. Entre os desenvolvimentos teóricos da nova hipótese cosmológica, por volta dos anos 1950, estava a previsão de uma radiação difundida no universo todo, ondas fósseis, resíduo do momento em que os fótons haviam se separado irreversivelmente da matéria para continuar a flutuar por toda parte ao nosso redor. Ondas eletromagnéticas muito fracas, distendidas por bilhões de anos de expansão do espaço-tempo, uma energia sutil que daria ao vazio interestelar uma temperatura de alguns Kelvin.

A grande descoberta foi feita quase por acaso, em 1964, pelos astrônomos norte-americanos Arno Penzias e Robert Wilson. Os dois tinham passado semanas penando para consertar uma antena que desejavam usar para observações radioastronômicas na faixa das micro-ondas, mas não conseguiam eliminar um incômodo sinal que parecia vir de todas as direções. De início, eles imaginaram que a interferência tivesse a ver com alguma estação de rádio operando nos arredores do laboratório; em seguida, pensaram em distúrbios eletromagnéticos

Material com direitos autorais

image not available

distâncias subatômicas das explosões de raios gama mais energéticas, levou os cientistas a construir aparatos cada vez mais sofisticados, instalados na Terra ou lançados na órbita terrestre, capazes de registrar todo o espectro das ondas eletromagnéticas. Mapas cada vez mais precisos do cosmo e das suas incontáveis fontes de radiação em todas as frequências foram elaborados. A impressionante quantidade de medições permitiu estudar o universo no seu conjunto como um sistema físico capaz de ser submetido a investigação e responder às perguntas típicas dessas situações: quanta energia total ele possui? E quanto valem a quantidade de movimento, o momento angular e a carga total?

À medida que os dados se tornam cada vez mais precisos e os erros das medições se reduzem, o quadro resultante apresenta aspectos surpreendentes. Os dados nos dizem que a expansão do universo não vai parar; nada nos indica que ele irá reverter seu curso para voltar ao Big Crunch. A densidade média do universo não é suficiente para exceder o valor crítico além do qual a gravidade dominaria. É preciso, portanto, abandonar a atraente ideia de um universo cíclico, e assim voltamos a ter o problema de explicar a singularidade inicial.

Mas então, de forma totalmente inesperada, surge uma solução ainda mais elegante: o universo está extremamente próximo da condição de total homogeneidade e isotropia. A incrível uniformidade da radiação cósmica de fundo nos diz que o universo não tem uma curvatura considerável; a distribuição angular dessa radiação nos diz que o espaço segue as leis da geometria euclidiana: um raio luminoso que atravessa uma região do universo não perturbada por massa e energia viaja em linha reta. É o que se chama de universo plano, de curvatura zero. E como a distribuição de massa e a distribuição de energia do universo estão intrinsecamente correlacionadas com a curvatura do espaço e a sua geometria, segundo as leis estabelecidas pela relatividade geral,

Material com direitos autorais

image not available

estabelecesse, desde o início, uma conexão entre o conceito de vazio e o nascimento do universo.

Isso não deve surpreender, em vista do papel que o vazio ocupa na cosmogonia indiana e nos mitos da criação. Shiva é o deus criador e ao mesmo tempo destruidor do universo. Quando dança, toda a Terra treme e o universo inteiro se esfarela, ardendo sob o passo do ritmo divino. Tudo se dissolve até se concentrar no *bindu*, o ponto metafísico fora do espaço e do tempo cujo símbolo colorido é usado na testa por muitas mulheres hindus. Depois o ponto também se dissolve lentamente e tudo se dissipa no vazio cósmico. O ciclo recomeça quando Shiva decide criar um novo universo e volta a dançar. Mais uma vez o ritmo divino produz vibrações cada vez mais amplas do vazio, que acaba por se inflar espasmodicamente, dando origem a um novo universo que toma o seu lugar no ciclo infinito das criações e destruições.

Essa familiaridade dos indianos com o conceito de vazio nos permite entender melhor por que foram eles, em primeiro lugar, que conferiram ao zero a propriedade de número para todos os efeitos e, inspirando-se no sistema posicional já adotado pelos babilônios, decretaram a sua glória definitiva.

Era exatamente o contrário dos gregos, para os quais zero e infinito eram conceitos terríveis que, desafiando a lógica, ameaçavam a ordem constituída. O ideal de perfeição, o ser parmenidiano, era representado como uma esfera, sempre igual a si mesma no espaço e no tempo e, acima de tudo, finita. Finito é, para os gregos, sinônimo de perfeição, enquanto a própria ideia de zero equivale a um anátema. Como poderia o *nada* ser *algo*? Não por acaso o zero evoca o caos primordial: é o número que, multiplicado por qualquer número, em vez de aumentar, anula o valor, arrastando-o para o precipício. As coisas não melhoram quando se tenta dividir por zero: também nesse caso se produz um

Material com direitos autorais

image not available

A hipótese de que tudo possa se originar de uma flutuação quântica do vazio nasce de maneira natural quando se considera que, no nosso universo, a energia negativa devida ao campo gravitacional anula exatamente a energia positiva ligada à massa. Um universo com essas características pode nascer devido a uma simples flutuação, e as leis da mecânica quântica nos dizem que ele pode durar para sempre. O universo com energia total nula constitui uma importante variante da teoria tradicional do Big Bang, que torna desnecessária a presença de uma singularidade inicial.

Vazio e caos

De algum modo a ciência do século XXI confere atualidade à narrativa de Hesíodo, aquela *Teogonia* que abrange a origem de tudo num verso maravilhoso e fulminante: "Primeiro nasceu o caos". Afirmação perfeitamente conforme à narrativa científica, desde que não se utilize a tradução mais comum e difundida de caos, aquela que o interpreta como desordem e, ao mesmo tempo, indiferenciação. Antes é preciso restabelecer o significado original da palavra, que encontra correspondência no grego *chaino*, abrir-se, *chasko*, ficar de boca aberta, ou *chasma*, abismo. Assim, o caos se torna uma negra garganta aberta, o abismo sem fundo, o vórtice tenebroso, o enorme vazio capaz de engolir e conter qualquer coisa.

O significado original de caos permaneceu em uso por muito tempo. A associação do termo ao conceito de desordem aconteceu muito mais tarde, por obra de Anaxágoras e depois Platão. Com eles, o caos se torna o recipiente da matéria amorfa à espera de ser ordenada por um princípio superior. Será a Mente, ou o Demiurgo, a dar forma àquele material vil e grosseiro e a construir o *cosmo*, o sistema organizado e

Material com direitos autorais

image not available

No objeto de dimensões insignificantes que pode ser produzido por mecanismos puramente casuais, a força que conduz as danças é a gravidade, que é atrativa. Para que aconteça a expansão inicial, o Big Bang, é necessário haver uma fortíssima repulsão gravitacional, uma *antigravidade*: algo semelhante à constante cosmológica que Einstein havia introduzido na sua equação para tornar o universo estável, mas tremendamente mais poderosa.

A matéria comum, a massa e a energia produzem uma energia negativa do vazio, e disso nasce uma pressão positiva, isto é, que tende a comprimir, a conter o todo. Mas, se entrar em jogo uma substância nova, que produza uma energia positiva, a pressão decorrente é negativa, ou seja, impele em direção ao exterior, tende a fazer expandir.

Outro mistério estava ligado à incrível homogeneidade do universo observável. Por toda parte ao nosso redor há galáxias de todas as formas, algumas plácidas e tranquilas, outras atormentadas pelas atividades pirotécnicas de *supernovas*, estrelas de nêutrons e buracos negros; mas, por assombrosa que seja, a paisagem cósmica se repete. Enfim, quando se observam regiões de grandes dimensões, os objetos que povoam os cantos mais remotos do universo são muito semelhantes.

Isso evoca aquela sensação de desorientação que experimentamos quando, ao desembarcar em aeroportos de outros continentes, por exemplo Kuala Lumpur ou Sydney, nos vemos passeando entre as mesmas lojas, com as mesmas roupas nas vitrines, dos aeroportos de que partimos, por exemplo Roma ou Paris. O mesmo ocorre com as malas, telefones ou máquinas fotográficas. Para esse fenômeno, porém, há uma explicação óbvia, que tem relação com as grandes cadeias de distribuição do mundo globalizado; entretanto, até os anos 1990, não se fazia nenhuma ideia dos mecanismos subjacentes à incrível homogeneidade nas observações astronômicas.

Material com direitos autorais

image not available

piscar de olhos torna-se um objeto macroscópico. Quando sai dessa fase paroxística, tem dimensões comparáveis às de uma bola de futebol e já contém toda a matéria e a energia de que precisará para evoluir nos bilhões de anos vindouros. Numa fração de tempo irrisória, esse objeto insignificante cresceu dezenas de ordens de grandeza, expandindo-se numa velocidade muito superior à da luz. Os limites impostos pela relatividade — dentro dos quais nada pode se mover em velocidade maior do que *c* — são válidos se algo se move *dentro* do espaço. Em relação ao próprio espaço, que se expande no vazio, ou, para ser mais preciso, transforma o vazio em espaço, essas imposições não se aplicam. Não há limite de velocidade para o universo criança que corre rumo ao seu futuro.

Logo outras flutuações quânticas, similares às que o geraram, irão libertá-lo da vala em que ficara preso para reconduzi-lo ao caminho certo, fazendo com que ele se precipite no estado de verdadeiro vazio, que alcança num instante. Desde o tempo zero se passaram apenas 10^{-32} segundos. Mas tudo mudou.

Assim que se encerra essa fase, enquanto o campo permanece oscilando placidamente na sua vala de mínimo de potencial, a energia acumulada no objeto que sofreu uma transformação tão explosiva se transforma numa enorme quantidade de matéria/antimatéria, duplas de partículas e respectivas parceiras que são extraídas aos montes do vazio interagem entre si e com os resíduos do campo até que o todo alcança uma condição de equilíbrio térmico.

O universo recém-nascido contém agora toda a matéria e energia atuais, apesar de concentradas num pequeno volume; a densidade e a temperatura são altíssimas, e se inicia uma segunda fase de expansão que, embora rápida, segue num ritmo decididamente menos alucinado do que o que prevalecia até um instante antes.

Material com direitos autorais

image not available

mecânica quântica, nasceram as estruturas materiais que originaram dinâmica e beleza. Um mundo sem flutuações não teria produzido estrelas, galáxias, planetas; num universo perfeito não haveria o vento da primavera nem o sorriso das crianças. Todos descendemos dessa anomalia que chamamos de inflação e que levou a espuma quântica a adquirir dimensões cósmicas.

Quando os mais sofisticados instrumentos nos satélites demonstraram que a distribuição das isotropias é exatamente a prevista pelos modelos inflacionários, mesmo os detratores mais convictos da nova teoria tiveram de admitir seu poder preditivo.

Restava, contudo, uma discrepância enorme, que trazia o risco de abrir uma nova crise e fazer tudo ruir como um castelo de cartas. Com efeito, a inflação comportava necessariamente um universo com curvatura local nula, isto é, plano. A curvatura do espaço-tempo depende da densidade, isto é, do seu conteúdo de matéria e de energia. Para densidades exatamente iguais à densidade crítica, o universo é plano, sua curvatura local é nula, como a de uma superfície plana; o que significa que a expansão continua indefinidamente. Para densidades superiores, o universo se fecha, sua curvatura local é positiva como a de uma esfera, a expansão diminui e o Big Bang se inverte em Big Crunch. Para densidades inferiores, a curvatura é negativa, como a de uma sela de cavalo, e também nesse caso a expansão continua ao infinito.

Se a inflação de fato ocorreu, o universo não pode ser plano; as dimensões iniciais da bolha microscópica teriam sido *esticadas* e *achatadas* pela expansão desenfreada dos primeiros instantes, e apenas um universo primordial com curvatura rigorosamente nula poderia permanecer plano depois de bilhões de anos. Qualquer desvio inicial dessa condição seria desmedidamente amplificado pela expansão seguinte.

Material com direitos autorais

image not available

instrumentos a um nível tal que nos permita identificar as ondas gravitacionais fósseis, aquelas imperceptíveis flutuações do espaço-tempo que podem nos revelar o que aconteceu durante a fase de crescimento inflacionário.

Enquanto não chega a surpresa da descoberta, estamos conduzindo experimentos com o LHC em busca de um novo escalar com todas as características adequadas que correspondam ao retrato falado do procurado número um.

Na era mítica da Grande Unificação

A inflação não é o primeiro ato que ocorre em cena, embora seja decididamente um dos mais espetaculares. Não somos capazes de descrever o que aconteceu nos brevíssimos instantes anteriores, mas sabemos que foram coisas importantes. Uma barreira insuperável nos impede de entender. Podemos apenas lançar hipóteses, como fazem os prisioneiros da caverna de Platão.

Acorrentados desde a infância, com as pernas e o pescoço presos por grilhões, sem nenhuma experiência do mundo externo, eles não podem ter a percepção direta daquilo que acontece fora da caverna, para além de suas paredes. Por isso constroem sua visão do mundo a partir das sombras que ali aparecem. Nós, cientistas, fazemos algo parecido ao tentar intuir o que pode ter acontecido antes da inflação. Só podemos ver sombras e imaginar.

Fazemos medições acuradas na escala de energia que podemos explorar diretamente, por meio dos aceleradores de partículas ou estudando os fenômenos mais energéticos que se produzem no cosmo. Depois extrapolamos esses resultados para a escala de energia que não somos capazes de estudar diretamente e formulamos hipóteses consistentes com todas as observações coletadas.

Material com direitos autorais

image not available

Segundo dia

O toque delicado de um bóson muda tudo, para sempre

O UNIVERSO INCANDESCENTE, recém-saído da fase inflacionária, já contém toda a matéria e energia de que precisa, mas, se pudéssemos olhar no seu interior, não reconheceríamos nada de familiar. Veríamos uma espécie de gás amorfo de minúsculas partículas indistinguíveis entre si: todas desprovidas de massa, voando à velocidade da luz. O conjunto se apresenta como um objeto perfeito, homogêneo e isotrópico, igual a si mesmo em todos os pontos e sob todos os ângulos. Nenhum ponto de agregação, nenhuma desuniformidade.

Se não fosse sua expansão a uma velocidade imensa, poderíamos confundi-lo com a representação ideal do ser parmenidiano: em todas as partes igual a si mesmo, simétrico em todas as rotações, completamente isento de defeitos e imperfeições. É o reino da uniformidade e da perfeição, governado pela simetria, que é, ao mesmo tempo, simplicidade e elegância. Se algo surpreendente não viesse perturbar aquela harmonia que parecia imutável, nada poderia ter nascido daquele objeto perfeito. Seria um universo estéril, um enorme desperdício de energia, desprovido da luz da Lua e do perfume das flores, triste, anônimo, desolado.

Estamos próximos do momento em que acontecerá a última e talvez a mais importante das transformações que decretarão o seu destino.

Passada a euforia da inflação, a expansão do universo prossegue, impulsionada pela energia que fervilha em seu interior. Aumentando suas dimensões, o universo se resfria e, com isso, desencadeia reações que irão alterar profundamente a sua dinâmica.

Chegamos a um centésimo de bilionésimo de segundo depois do Big Bang, e a partir daí as coisas são muito mais claras. Desde que

Material com direitos autorais

image not available

temporal, conserva-se a energia; se o são para a rotação, conserva-se o momento angular, e assim por diante.

Na física contemporânea, essa relação entre simetrias, transformações e grandezas físicas que se conservam é generalizada. A invariância de algumas propriedades físicas num sistema submetido a transformações permitirá descobrir e formalizar as relações que lançarão as bases de uma nova concepção da matéria. Nascerão assim os princípios de conservação de grandezas físicas com nomes estranhos que serão decisivos para descrever os mínimos componentes da matéria: *a estranheza, o isospin, o número leptônico* e assim por diante.

O conceito de simetria se tornará mais geral, e por isso passa-se a falar em *simetrias contínuas ou discretas, locais ou globais, exatas ou aproximadas*: instrumentos fundamentais para entender a dinâmica das partículas elementares e dos seus campos. Sem a contribuição de Emmy Noether, nada disso teria sido possível.

O auge desse esforço será o desenvolvimento do Modelo Padrão das partículas elementares, uma monumental construção que engloba a mais acurada descrição da matéria de que dispomos atualmente.

A teoria de maior sucesso da física contemporânea explica a matéria por meio de um número bastante restrito de componentes: seis *quarks* e seis *léptons*, organizados cada qual em três diferentes famílias. As doze partículas de matéria se combinam ou interagem, trocando outras partículas que transmitem as forças: o *fóton* que transporta a interação eletromagnética; os *glúons* que transmitem a interação *forte*; os *bósons vetoriais W* e *Z* que permitem propagar a interação fraca. As partículas de matéria, léptons e quarks, têm spin semi-inteiro (½ e seus múltiplos) e constituem a família dos *férmions*, enquanto as partículas que trazem as interações têm spin inteiro (1 e seus múltiplos) e formam a família dos *bósons*. Com essa pequena lista de ingredientes é possível construir todas as formas conhecidas de matéria, tanto as estáveis que povoam a nossa

Material com direitos autorais

image not available

A grande pintura tem uma dupla simetria axial: alto-baixo e direita-esquerda. Um grande pano de veludo vermelho-escuro delimita o mundo terreno, com o piso xadrez, regular e ordenado, sobre o qual se apoiam a base do trono e as duas figuras nas laterais. No alto, o mundo celeste que se recorta contra a paisagem de excruciante melancolia com a figura da Virgem Mãe no centro.

A simetria perfeita é rompida no alto pela figura do Menino, sentado no joelho direito da Virgem, absorto na consciência do seu destino. Embaixo as duas figuras estão na mesma pose, colocadas em posição perfeitamente simétrica em relação ao eixo médio da pintura; ambas olham direto para o observador e o transportam para o interior da representação, mas o contraste entre eles não poderia ser mais intenso. São Francisco, à direita, vestido com o humilde hábito com que se dirigiu a Dumiat, indefeso e desarmado, para levar sua mensagem de paz ao sultão Camil, do Egito. À esquerda, ao contrário, a armadura coruscante e cintilante de são Nicásio, frade-guerreiro da Ordem Soberana e Militar Hospitalária de São João de Jerusalém, que combateu como cruzado na Terra Santa e, feito prisioneiro na Batalha de Hatim, foi decapitado na presença de Saladino, tio do sultão que, anos depois, dialogará pacificamente com o santo de Assis. Nicásio porta o estandarte dos hierosolimitas, a bandeira com a cruz que se tornará a insígnia dos Cavaleiros de Malta, e a lança que a sustém é o último e mais importante elemento de ruptura de toda e qualquer simetria: invadindo o espaço celeste, rompe a divisão entre os dois mundos e, por fim, despedaça com uma agressiva diagonal a ordem vertical da composição. Aqui se encontra, numa única pintura, aquela ruptura da simetria trabalhada com maestria absoluta que faz do quadro uma obra-prima de originalidade e de beleza.

O fascínio da "simetria rompida" é reencontrado em muitas produções artísticas. O ritmo ordenado da simetria perfeita é pacificador

Material com direitos autorais

image not available

para produzi-lo. A guinada se deu com a construção do LHC, o grande acelerador do Cern nos arredores de Genebra.

Os aceleradores de partículas são modernas *máquinas do tempo*: nos transportam de volta a bilhões de anos atrás, permitindo-nos estudar os fenômenos na origem do nosso universo. Nas colisões percute-se o vazio e são obtidas partículas materiais. É uma aplicação da famosa relação de equivalência entre massa e energia de Einstein. Quando um feixe de partículas colide com outro, a energia do choque pode se transformar em massa, $E = mc^2$: quanto maior é a energia, mais pesadas são as partículas que podem ser produzidas e estudadas em todos os detalhes. Os aceleradores, portanto, são *fábricas de partículas extintas*, que trazem de volta à vida, por frações de segundo, formas de matéria desaparecidas logo após o Big Bang.

O LHC é hoje o mais poderoso acelerador em funcionamento no mundo. Dois feixes de prótons compostos de milhares de pacotes circulam em direções opostas num tubo a vácuo de 27 quilômetros de circunferência. Em cada pacote estão concentrados mais de 100 bilhões de prótons que são acelerados por fortíssimos campos elétricos, enquanto poderosos magnetos curvam suas trajetórias para mantê-los em órbita e levá-los à colisão. A energia do LHC é de 13 TeV, mas, como os prótons são feitos de quarks e glúons, suas colisões são bastante complicadas e só uma parte da energia disponível, alguns TeV, pode se transformar em partículas massivas. Os pesados prótons, porém, perdem pouca energia por irradiação, e assim é fácil impulsioná-los para as energias mais altas. Por isso os aceleradores de prótons são as máquinas mais adequadas para a descoberta direta de novas partículas.

Os aceleradores de elétrons têm uma função complementar. Tratando-se de partículas puntiformes, suas colisões são muito mais simples, e toda a energia da colisão pode ser aproveitada para produzir novas partículas. São as máquinas ideais para fazer medições de grande

Material com direitos autorais

image not available

Haviam sido descobertos os primeiros *pósitrons*; a *antimatéria*, ainda que rara, era um componente real do nosso mundo material.

Desde então, com impecável regularidade, conforme aumentava o catálogo de novas partículas, enriquecia-se também, em paralelo, o de seus parceiros de carga oposta.

A antimatéria já se tornou bastante comum. É produzida, para uso ou estudo de suas propriedades, em muitos aceleradores de partículas, mas é usada também em atividades clínicas de rotina em muitos hospitais. O exemplo mais comum é a PET, a tomografia por emissão de pósitrons, um exame diagnóstico que permite a reconstrução de imagens funcionais de órgãos a partir da aniquilação de pósitrons e elétrons.

Uma das propriedades que mais impressionaram o imaginário coletivo é justamente essa característica: partículas e antipartículas que, entrando em contato, se transformam em pares de fótons de energia total igual à massa do sistema inicial. Essa transformação muito eficiente de matéria e antimatéria em energia inspirou grandes enredos de ficção científica.

De fato, nenhuma reação pode competir com o processo de aniquilação. A energia que se poderia produzir combinando um quilo de matéria com um quilo de antimatéria seria setenta vezes superior à gerada induzindo a fusão nuclear de um quilo de hidrogênio em hélio e 4 bilhões de vezes superior à produzida pela combustão de um quilo de petróleo. O problema é que, até agora, ninguém encontrou um mecanismo eficiente para produzir grandes quantidades de antimatéria. Os aceleradores de partículas produzem quantidades infinitesimais a custos energéticos e materiais gigantescos. Estimou-se que a produção de dez miligramas de pósitrons teria um custo de 250 milhões de dólares. Em suma, a antimatéria custaria 25 bilhões de dólares por grama, sendo de longe o material mais raro e mais caro do planeta. Assim, o projeto de construir astronaves com propulsores movidos a

Material com direitos autorais

image not available

preciso que essas partículas tão estranhas sejam identificadas nos dados de algum experimento, e isso até agora não aconteceu. Pode ser, portanto, que a teoria esteja errada. Ou as partículas supersimétricas poderiam ser tão pesadas que nem com o LHC consigamos produzi-las. Nesse caso, seria preciso perceber sua presença através dos seus efeitos *virtuais*. Partículas ultramassivas podem pairar como fantasmas ao redor das partículas conhecidas e interferir com os mecanismos conhecidos previstos pelo Modelo Padrão. Nasceriam assim anomalias que poderiam ser registradas pelos nossos detectores e constituir uma importante descoberta "indireta" da nova física.

Assim, a caçada à supersimetria continua em diversas frentes ao mesmo tempo. Aproveitando o aumento de energia do LHC, que desde 2015 funciona a 13 TeV, espera-se conseguir produzir essas partículas massivas que escaparam a todas as pesquisas até aqui realizadas. Ao mesmo tempo, procuram-se os primos de Higgs na região que já foi explorada na pesquisa do escalar do Modelo Padrão. O que se fez até agora não basta, porque são procuradas partículas com características muito diferentes. Os primos supersimétricos do Higgs têm modos de produção e decaimento peculiares, e, por isso, é preciso elaborar estratégias muito específicas. Também é necessária uma grande quantidade de dados, porque poderiam ser partículas mais difíceis de produzir e mais raras de encontrar.

Independentemente de tudo isso, prosseguem os estudos sobre o bóson de Higgs a 125 GeV. O Modelo Padrão prediz todas as suas características com grande precisão. Até agora tudo o que vimos está de acordo com as previsões, mas nossa precisão é limitada pela pequena quantidade de bósons que conseguimos produzir e reconstituir. Para muitos processos de decaimento, a incerteza das nossas medições ainda é grande e poderia esconder as anomalias previstas pela Susy.

Material com direitos autorais

image not available

poderão chegar do mundo todo, o empreendimento parece sustentável. Não há dúvida de que a Europa, com o FCC, lança o seu desafio e ocupa o centro da cena no debate mundial sobre os aceleradores do futuro.

Os Estados Unidos, líderes incontestáveis no campo até algumas décadas atrás, estão mantendo uma posição discreta e parecem resignados a ter um papel secundário. Muito diferente é o caso dos tigres asiáticos, não mais só o Japão, mas também a Coreia e sobretudo a China.

Os investimentos em pesquisa de base na China crescem a cada ano. E numa escala que não ousamos sequer sonhar. Entre 2000 e 2010, os investimentos chineses dobraram, e hoje a China já gasta mais do que a Europa inteira em pesquisa e desenvolvimento. Ela também lançou um ambicioso programa de exploração espacial, que compreende uma estação científica orbital e uma missão de exploração lunar, e a cada ano inaugura dezenas de novas universidades e importantes infraestruturas de pesquisa.

A classe dominante chinesa entendeu que os investimentos na ciência de base permitem que o país ingresse na elite tecnológica mundial. Mas seu projeto é muito mais ambicioso: eles não querem apenas participar, mas sobressair na atividade que consideram de importância estratégica para uma superpotência que pretende liderar o mundo inteiro.

Não por acaso, o gigante asiático propõe o cepc (Circular Electron-Positron Collider), um projeto muito semelhante ao do FCC: um anel de cinquenta a setenta quilômetros que hospedaria uma *fábrica de Higgs*, um colisor elétron-pósitron de 240 GeV, para depois passar a um acelerador de prótons capaz de produzir colisões de 50-70 TeV no centro de massa.

A máquina poderia ser construída na região de Qinghuada, uma área montanhosa perto do mar, a trezentos quilômetros de Pequim, conhecida como a "Toscana chinesa". A escavação de um túnel de

Material com direitos autorais

prótons, e assim poderão se formar átomos e moléculas. Então surgirão as enormes nebulosas gasosas das quais nascerão as primeiras estrelas e depois as galáxias, os planetas, os sistemas solares, até os primeiros organismos vivos, cada vez mais complexos, para enfim chegar até nós. Aquela sequência de sons maravilhosos está para começar. Ouçam.

O mais perfeito dos líquidos

Desde o Big Bang se passou apenas um microssegundo (10^{-6}, um milionésimo de segundo), a temperatura é superior a 10 trilhões de graus e o universo inteiro fervilha de um estranho material. Ele se assemelha a um plasma, outro termo que deriva do grego, indicando uma espécie de gelatina, algo, justamente, plasmável. É como chamamos, por exemplo, os gases ionizados, isto é, levados a temperaturas tão altas que são capazes de arrancar todos os elétrons dos átomos, de modo que o meio, que permanece eletricamente neutro, fica, na verdade, composto de partículas livres de carga oposta. O plasma que ocupa o universo primordial não é feito de íons e elétrons, mas é composto de todas as espécies de partículas que se movem em velocidades relativísticas, sobretudo quarks e glúons. A força forte nessas temperaturas é fraca demais. Sua constante de acoplamento aumentará à medida que o universo esfria, mas ainda não é capaz de conter a energia cinética para criar estados ligados.

O plasma de quarks e glúons resultante é um gás que se assemelha a um fluido ideal. Seus componentes deslizam um sobre o outro sem nenhuma resistência, incapazes de interagir. É um líquido perfeito, de viscosidade praticamente nula, um superfluido ideal, que escorre por toda parte sem esforço, capaz de penetrar qualquer interstício que esteja vazio. Essa espécie de sopa fina, impalpável e quentíssima, com suas estranhas propriedades, foi estudada em todos os detalhes desde que foi

Material com direitos autorais

image not available

unido, o segredo oculto da massa do próton, que assim ganha uma estabilidade lendária.

Com o universo que, à medida que fica mais frio, atravessa energias muito inferiores à sua energia de ligação, será cada vez mais difícil conseguir despedaçar os prótons. Isso ainda acontecerá quando eles forem acelerados a velocidades ultrarrelativísticas nas catástrofes estelares e vagarem como raios cósmicos de alta energia. No momento em que entrarem em colisão com outros corpos, haverá as mesmas reações de desintegração que os terráqueos conseguirão reproduzir em seus aceleradores de partículas. Mas serão fenômenos raros. Na grande maioria dos casos, os três quarks leves, imersos em seu mar de glúons pegajosos, ficarão ali tranquilos, protegidos das mudanças de um universo que evoluirá por bilhões de anos.

Experimentos complexos tentaram quantificar a estabilidade do próton, isto é, dentro de quais limites se pode dizer que uma partícula é *imortal*. Os resultados são extraordinários.

Se um próton se desintegrasse em outras partículas mais leves, mesmo que por um decaimento muito raro, poderíamos medir sua vida média. Bastaria identificar um desses processos e pronto. Como se espera que sejam muito raros e não é possível fazer experimentos que durem séculos, a única possibilidade é manter sob controle por um tempo razoável, digamos alguns anos, um número gigantesco de prótons.

No experimento Super-Kamiokande, no Japão, sensores especiais, capazes de identificar a mais tênue das desintegrações, equipam um enorme recipiente preenchido com 50 mil toneladas de água ultrapura. Para evitar qualquer possível alarme falso, controlam-se as mínimas impurezas residuais da água e o conjunto fica instalado numa grande caverna nas profundezas de uma mina. Dessa forma, o experimento se

Material com direitos autorais

image not available

ingredientes essenciais para que matéria estável se forme, mas ainda é preciso ter um pouco de paciência.

Os mais tímidos e gentis partem primeiro

Desde que o universo se encheu de prótons e nêutrons, também aumentou a população de neutrinos. Eles são os mais leves dos léptons, tendo massas tão ínfimas que nos enganaram até poucos anos atrás. Só há pouco tempo, de fato, descobriu-se que sua massa é ligeiramente diferente de zero, embora ainda não tenhamos conseguido medi-la com precisão. Os neutrinos são léptons, portanto não sentem a força forte, e são neutros, por isso indiferentes à interação eletromagnética. A única força a que obedecem é a força fraca.* Isso os torna pouco invasivos e extremamente gentis. Os neutrinos são partículas muito discretas, que se movem com grande delicadeza, a ponto de atravessarem enormes quantidades de matéria sem serem notados nem produzirem qualquer mínima perturbação. Apesar disso, desempenham um papel fundamental nos equilíbrios que determinarão a composição material do universo.

Como vimos, os nêutrons são ligeiramente mais pesados do que os prótons; esse 0,14% é uma ninharia, como cem gramas de diferença de peso entre dois indivíduos de oitenta quilos. No entanto, se prótons e nêutrons precisam estar em equilíbrio térmico entre si, cada qual deve absorver metade da energia. Por causa da diferença de massa, a população de nêutrons será ligeiramente menor do que a de prótons. Enquanto a temperatura for muito alta, esse pequeno detalhe pode passar batido. Mas, à medida que diminui a energia térmica a ser distribuída, essa diferença se torna cada vez mais importante. E quem se encarrega de reduzir a população de nêutrons e aumentar a de prótons? As reações que fazem desaparecer os nêutrons, como o decaimento

Material com direitos autorais

image not available

borboleta, e se produziria uma sequência de catástrofes. A diferença de massa mudaria significativamente a proporção entre prótons e nêutrons, e teríamos muito mais hélio e muito menos hidrogênio. Em suma, não haveria hidrogênio suficiente para iniciar as reações nucleares nas primeiras estrelas. Tudo ficaria envolvido, para sempre, na mais densa treva; o universo seria um espaço imenso, triste e escuro; sem estrelas, não haveria elementos pesados e faltaria matéria-prima para formar planetas rochosos; não existiriam as condições para se desenvolverem formas de vida elementares e depois alguém que, um dia, poderia contemplar suas grandezas.

Mas, por sorte, nada disso aconteceu no nosso universo. O equilibrista percorreu a corda bamba; parecia que ia cair de uma hora para outra, de um lado ou do outro, enquanto o público prendia a respiração receando a tragédia iminente — mas, com elegância e leveza, ele sempre recuperava o equilíbrio, e concluiu o espetáculo sob aplausos.

Ainda será preciso muito tempo até que a energia diminua o suficiente para permitir a formação dos primeiros átomos de hidrogênio. Será necessário esperar o momento em que a temperatura do universo for baixa o suficiente para conseguir romper a ligação eletromagnética que permitirá aos elétrons orbitarem ao redor dos prótons do núcleo. Mas, ao término do terceiro dia, progressos muito importantes foram feitos, e apenas três minutos haviam se passado desde o início da grande aventura.

---

* Pelo fato de terem massa, os neutrinos também obedecem à gravidade, embora seja uma interação desprezível. (N. R. T.)

** Por "elementos pesados" aqui devemos entender qualquer um que não seja hidrogênio e hélio. (N. R. T.)

Material com direitos autorais

image not available

Na segunda metade do século XX, as evidências experimentais da presença de matéria escura se tornarão cada vez mais numerosas. Diferentes métodos de investigação levarão, todos eles, ao mesmo resultado: teremos evidência indireta de matéria escura quando conseguirmos medir as velocidades de rotação da imensa nuvem de hidrogênio que cerca muitas galáxias e também quando se multiplicarem as observações a partir de lentes gravitacionais. Esse fenômeno também fora previsto por Zwicky, que o descreveu como consequência necessária da relatividade geral. O inventivo astrônomo suíço foi o primeiro a entender que uma grande concentração de massa poderia deformar o espaço-tempo a ponto de criar os mesmos efeitos óticos de uma lente. Os raios luminosos que atravessassem a zona deformada poderiam, ao ser desviados, produzir incríveis artefatos. A mesma estrela ou a mesma galáxia podia aparecer duas, três, quatro vezes na imagem captada pelo telescópio.

Esses fantasmas, essas imagens duplicadas que permitiriam pensar que o sujeito bebeu demais e passou a enxergar tudo dobrado serão, na verdade, novos instrumentos de medida que nos possibilitarão ver formas de matéria de outra maneira invisíveis. E elas também confirmam a abundância de matéria escura no universo.

Apesar das confirmações experimentais cada vez mais convincentes, e apesar de ninguém ter ousado questionar a relevância da sua descoberta, o comitê do Nobel, por razões totalmente incompreensíveis, nunca concedeu a Vera Rubin o prêmio que ela merecia.

Hoje sabemos que cerca de um quarto do universo é feito de matéria escura, mas ninguém sabe ainda o que ela é exatamente. Alguns apresentaram a hipótese de ser um gás de neutrinos, mas, sendo eles leves demais, não se conseguiriam explicar os efeitos gravitacionais observáveis. Se as teorias supersimétricas estiverem corretas, haveria famílias inteiras de novas partículas, muito pesadas e com estranhos

Material com direitos autorais