O TAO DA FÍSICA

Uma Exploração dos Paralelos entre a Física Moderna e o Misticismo Oriental



Autor: Fritjof Capra

Edição e Preparação Digital: Gullan Greyl

Edição original: THE TAO OF PHYSICS, An Exploration of the Parallels Between Modern Physics and Eastern Mysticism, 1975.

Edição portuguesa concluída em 04-10-2026

Livroteca Gullan Greyl

Sinopse

Quando a física moderna começou a penetrar no interior do átomo, a realidade deixou de parecer uma máquina composta por partes sólidas e independentes. Matéria, espaço, tempo e causalidade perderam a rigidez que lhes atribuía a visão clássica, revelando um universo de relações, probabilidades, movimento e interdependência. Para Fritjof Capra, esta transformação científica aproxima-se de uma intuição muito mais antiga: a visão do mundo presente no Hinduísmo, no Budismo, no Taoismo e no Zen.

Ao longo de O Tao da Física, Capra coloca lado a lado duas formas de conhecer que durante séculos pareceram incompatíveis. De um lado, a matemática, a experimentação, a relatividade e a teoria quântica; do outro, a meditação, a experiência direta e as tradições contemplativas do Oriente. À medida que percorremos o espaço-tempo, a dualidade onda-partícula, o vazio, as partículas subatómicas e a estrutura dinâmica da matéria, começa a emergir uma imagem comum: nada existe verdadeiramente isolado; aquilo que chamamos «coisas» são padrões temporários numa teia de relações em permanente transformação.

É nessa fronteira que a física encontra alguns dos seus maiores paradoxos — e onde Capra reconhece ecos do pensamento oriental. O universo já não aparece como cenário imóvel onde objetos se deslocam, mas como processo vivo, uma dança incessante de criação e destruição, forma e vazio, unidade e multiplicidade. A célebre Dança de Shiva torna-se, assim, mais do que uma metáfora religiosa: oferece uma imagem capaz de dialogar com o mundo vibrante e mutável revelado pela física subatómica.

O Tao da Física não procura transformar ciência em religião nem provar o misticismo através da física. Propõe algo mais subtil: mostrar que duas grandes aventuras humanas — compreender a realidade pela razão e experienciá-la diretamente — podem encontrar-se sem perder a sua identidade. Entre equações e silêncio, partículas e meditação, Capra convida-nos a atravessar a aparência fragmentada do mundo e a contemplar uma realidade profundamente dinâmica, relacional e una.

Esta tradução foi depurada segundo o princípio:
“Afinar o Instrumento sem Alterar a Melodia”
com apoio de Inteligência Artificial enquanto sistema de amplificação,
organização e clarificação cognitiva.
O objetivo não foi apenas traduzir, mas tornar o texto mais claro, coerente,
imersivo e diretamente experienciável, sem alterar a sua essência.

Gullan Greyl

Não se trata de saber mais,
mas de ver melhor

Dedico este livro a
Ali Akbar Khan
Carlos Castaneda
Geoffrey Chew
John Coltrane
Werner Heisenberg
Krishnamurti
Liu Hsiu Ch'i
Phiroz Mehta
Jerry Shesko
Bobby Smith
Maria Teuffenbach
Alan Watts
por me ajudarem a encontrar o meu caminho
e a Jacqueline
que caminhou comigo
nesse caminho
na maior parte do tempo.

É provavelmente verdade, de um modo geral, que na história do pensamento humano, os desenvolvimentos mais frutíferos ocorrem frequentemente nos pontos de encontro de duas linhas de pensamento distintas.
Estas linhas podem ter as suas raízes em partes bastante diferentes da cultura humana, em épocas diferentes, ambientes culturais distintos ou tradições religiosas distintas: portanto, se elas de facto se encontram, isto é, se estão pelo menos relacionadas o suficiente para que uma interação real possa ocorrer, então pode-se esperar que novos e interessantes desenvolvimentos possam surgir.

Wemer Heisenberg

Índice

Prefácio 1
Prefácio à Segunda Edição 4
PARTE UM 8
O Caminho da Física 8
CAPÍTULO 1 9
Física Moderna — Um Caminho com Coração 9
CAPÍTULO 2 26
Conhecer e Ver 26
CAPÍTULO 3 64
Para Além da Linguagem 64
CAPÍTULO 4 77
A Nova Física 77
1. Física Clássica 80
2. Física Moderna 92
PARTE DOIS 136
O Caminho do Misticismo Oriental 136
CAPÍTULO 5 137
Hinduísmo 137
CAPÍTULO 6 152
Budismo 152
CAPÍTULO 7 166
O Pensamento Chinês 166
CAPÍTULO 8 186
Taoismo 186
CAPÍTULO 9 197
Zen 197
PARTE TRÊS 210
Os Paralelos 210
CAPÍTULO 10 212
A Unidade de Todas as Coisas 212
CAPÍTULO 11 238
Para Além do Mundo dos Opostos 238
CAPÍTULO 12 271

Espaço-Tempo 271
CAPÍTULO 13 323
O Universo Dinâmico 323
CAPÍTULO 14 357
Vazio e Forma 357
CAPÍTULO 15 388
A Dança Cósmica 388
CAPÍTULO 16 417
As Simetrias dos Quarks Um Novo Koan? 417
CAPÍTULO 17 436
Padrões de Mudança 436
CAPÍTULO 18 471
Interpenetração 471
Epílogo 499
A Nova Física Revisitada 507
Posfácio à Segunda Edição 507
Notas 528

O TAO DA FÍSICA

Uma Exploração dos Paralelos entre a Física Moderna e o Misticismo Oriental

Fritjof Capra

Prefácio

Há cinco anos, tive uma bela experiência que me colocou num caminho que acabaria por conduzir à escrita deste livro. Estava sentado junto ao oceano, numa tarde de fim de verão, observando as ondas a rebentar na praia e sentindo o ritmo da minha respiração, quando, de súbito, tomei consciência de todo o ambiente à minha volta como participante numa gigantesca dança cósmica.

Sendo físico, sabia que a areia, as rochas, a água e o ar que me rodeavam eram constituídos por moléculas e átomos em vibração, e que estes, por sua vez, eram formados por partículas que interagiam entre si, criando e destruindo outras partículas. Sabia também que a atmosfera terrestre era continuamente bombardeada por chuvas de «raios cósmicos» — partículas de elevada energia sujeitas a múltiplas colisões à medida que penetravam no ar.

Tudo isto me era familiar graças à minha investigação em física de altas energias, mas, até àquele momento, eu apenas o tinha experienciado através de gráficos, diagramas e teorias matemáticas. Sentado naquela praia, as minhas experiências anteriores ganharam vida: «vi» cascatas de energia a descerem do espaço exterior, nas quais partículas eram criadas e destruídas em pulsações rítmicas; «vi» os átomos dos elementos e os do meu próprio corpo a participarem nessa dança cósmica de energia; senti-lhe o ritmo e «ouvi-lhe» o som. E, naquele momento, soube que aquela era a Dança de Shiva, o Senhor dos Dançarinos venerado pelos hindus.

Tinha passado por uma longa formação em física teórica e realizado vários anos de investigação. Ao mesmo tempo, tinha-me tornado profundamente interessado pelo misticismo oriental e começara a reconhecer paralelos com a física moderna. Sentia-me particularmente atraído pelos aspetos enigmáticos do Zen, que me faziam lembrar os enigmas da teoria quântica. No início, porém, relacionar os dois era um exercício puramente intelectual. Ultrapassar o fosso entre o pensamento racional e analítico e a experiência meditativa da verdade mística era — e continua a ser — muito difícil para mim.

No princípio, fui ajudado nesse caminho por *«plantas de poder»*, que me mostraram como a mente pode fluir livremente; como as intuições espirituais surgem por si mesmas, sem

qualquer esforço, emergindo das profundezas da consciência. Recordo a primeira experiência desse género. Como surgiu após anos de pensamento analítico minucioso, foi tão avassaladora que comecei a chorar, enquanto, não muito diferente de Castaneda, vertia simultaneamente as minhas impressões para uma folha de papel.

Mais tarde surgiu a experiência da Dança de Shiva, que tentei captar na fotomontagem apresentada na Prancha 7. Seguiram-se muitas experiências semelhantes, que gradualmente me ajudaram a compreender que da física moderna começa a emergir uma visão coerente do mundo, em harmonia com a antiga sabedoria oriental.

Ao longo dos anos, tomei muitas notas e escrevi alguns artigos sobre os paralelos que continuava a descobrir, até que, por fim, resumi as minhas experiências no presente livro.

Este livro destina-se ao leitor comum interessado no misticismo oriental, sem que seja necessário possuir qualquer conhecimento de física. Procurei apresentar os principais conceitos e teorias da física moderna sem recorrer à matemática e numa linguagem não técnica, embora alguns parágrafos possam ainda parecer difíceis ao leitor leigo numa primeira leitura. Todos os termos técnicos que tive de introduzir são definidos quando aparecem pela primeira vez.

Espero também encontrar entre os meus leitores muitos físicos interessados nos aspetos filosóficos da física que ainda não tenham entrado em contacto com as filosofias religiosas do Oriente. Descobrirão que o misticismo oriental proporciona um enquadramento filosófico coerente e belo, capaz de integrar as nossas teorias mais avançadas acerca do mundo físico.

No que respeita ao conteúdo do livro, o leitor poderá sentir uma certa falta de equilíbrio entre a apresentação do pensamento científico e a do pensamento místico. Ao longo do livro, a sua compreensão da física deverá progredir de forma constante, mas poderá não ocorrer uma progressão equivalente na compreensão do misticismo oriental.

Isto parece inevitável, uma vez que o misticismo é, acima de tudo, uma experiência que não pode ser aprendida através dos livros. Uma compreensão mais profunda de qualquer tradição mística só pode ser sentida quando alguém decide envolver-se ativamente nela. Tudo o que posso esperar fazer é gerar a sensação de que tal envolvimento seria profundamente recompensador.

Durante a escrita deste livro, a minha própria compreensão do pensamento oriental aprofundou-se consideravelmente. Por isso, estou em dívida para com dois homens oriundos do Oriente. Sinto uma profunda gratidão para com Phiroz Mehta por me ter aberto os olhos para muitos aspetos do misticismo indiano, e para com o meu mestre de T'ai Chi, Liu Hsiu Ch'i, por me ter apresentado ao Taoismo vivo.

É impossível mencionar os nomes de todos — cientistas, artistas, estudantes e amigos — que me ajudaram a formular as minhas ideias através de discussões estimulantes. Sinto, contudo, que devo um agradecimento especial a Graham Alexander, Jonathan Ashmore, Stratford Caldecott, Lyn Gambles, Sonia Newby, Ray Rivers, Joël Scherk, George Sudarshan e — por último, mas não menos importante — Ryan Thomas.

Por fim, estou em dívida para com a Sra. Pauly Bauer-Ynnhof, de Viena, pelo seu generoso apoio financeiro numa altura em que era mais necessário.

Londres, dezembro de 1974
Fritjof Capra

Prefácio à Segunda Edição

Este livro foi publicado pela primeira vez há sete anos e teve origem numa experiência, descrita no prefácio anterior, que remonta agora a mais de dez anos. Parece-me, por isso, apropriado dirigir algumas palavras aos leitores desta nova edição acerca das muitas coisas que aconteceram ao longo desses anos — ao livro, à física e a mim próprio.

Quando descobri os paralelos entre as visões do mundo dos físicos e dos místicos — paralelos que já tinham sido anteriormente sugeridos, mas nunca explorados em profundidade — tive a forte sensação de que estava apenas a revelar algo bastante evidente e que, no futuro, se tornaria conhecimento comum. Por vezes, enquanto escrevia *O Tao da Física*, chegava mesmo a sentir que o livro estava a ser escrito através de mim, mais do que por mim.

Os acontecimentos posteriores confirmaram essas sensações. O livro foi recebido com entusiasmo no Reino Unido e nos Estados Unidos. Embora tenha beneficiado apenas de uma promoção e publicidade mínimas, difundiu-se rapidamente de boca em boca e encontra-se agora disponível, ou em vias de publicação, numa dúzia de edições por todo o mundo.

A reação da comunidade científica, previsivelmente, foi mais cautelosa; mas também aí está a aumentar o interesse pelas implicações mais amplas da física do século XX. A relutância dos cientistas modernos em aceitar as profundas semelhanças entre os seus conceitos e os dos místicos não é surpreendente, uma vez que o misticismo — pelo menos no Ocidente — tem sido tradicionalmente associado, de forma bastante errónea, a coisas vagas, misteriosas e profundamente anticientíficas.

Felizmente, esta atitude está agora a mudar. À medida que o pensamento oriental começou a despertar o interesse de um número significativo de pessoas e que a meditação deixou de ser encarada com ridículo ou suspeição, o misticismo começou a ser levado a sério até no seio da comunidade científica.

O êxito de *O Tao da Física* teve um forte impacto na minha vida. Ao longo dos últimos anos, viajei extensamente, dando conferências para públicos especializados e não especializados e discutindo as implicações da «nova física» com homens e mulheres provenientes das mais diversas áreas da vida.

Essas discussões ajudaram-me enormemente a compreender o contexto cultural mais amplo em que surgiu, no Ocidente, durante os últimos vinte anos, o forte interesse pelo misticismo oriental. Vejo agora esse interesse como parte de uma tendência muito mais vasta que procura contrariar um profundo desequilíbrio existente na nossa cultura — nos nossos pensamentos e sentimentos, nos nossos valores e atitudes e nas nossas estruturas sociais e políticas.

Tenho considerado a terminologia chinesa de yin e yang muito útil para descrever esse desequilíbrio cultural. A nossa cultura tem favorecido sistematicamente os valores e atitudes yang, ou masculinos, negligenciando os seus complementares yin, ou femininos. Temos privilegiado a autoafirmação em detrimento da integração, a análise em detrimento da síntese, o conhecimento racional em detrimento da sabedoria intuitiva, a ciência em detrimento da religião, a competição em detrimento da cooperação, a expansão em detrimento da conservação, e assim por diante.

Este desenvolvimento unilateral atingiu agora um estágio profundamente alarmante: uma crise de dimensões sociais, ecológicas, morais e espirituais.

Ao mesmo tempo, porém, estamos a assistir ao início de um extraordinário movimento evolutivo que parece ilustrar o antigo provérbio chinês segundo o qual «o yang, depois de atingir o seu auge, recua em favor do yin».

As décadas de 1960 e 1970 deram origem a toda uma série de movimentos sociais que parecem avançar na mesma direção. A crescente preocupação com a ecologia, o forte interesse pelo misticismo, a crescente consciência feminista e a redescoberta de abordagens holísticas à saúde e à cura são manifestações da mesma tendência evolutiva.

Todos eles contrariam a ênfase excessiva nas atitudes e valores racionais e masculinos e procuram restabelecer o equilíbrio entre os lados masculino e feminino da natureza humana.

Assim, a consciência da profunda harmonia existente entre a visão do mundo da física moderna e as perspetivas do misticismo oriental surge agora como parte integrante de uma transformação cultural muito mais vasta, conduzindo à emergência de uma nova visão da realidade que exigirá uma mudança fundamental nos nossos pensamentos, perceções e valores. No meu segundo livro, *O Ponto de Viragem*, explorei os diversos aspetos e implicações desta transformação cultural.

O facto de as atuais mudanças no nosso sistema de valores virem a afetar muitas das nossas ciências poderá parecer surpreendente para aqueles que acreditam numa ciência objetiva e isenta de valores. Trata-se, contudo, de uma das importantes implicações da nova física.

As contribuições de Heisenberg para a teoria quântica, que analiso em grande detalhe neste livro, implicam claramente que o ideal clássico da objetividade científica já não pode ser mantido e, assim, a física moderna está também a pôr em causa o mito de uma ciência isenta de valores.

Os padrões que os cientistas observam na natureza estão intimamente ligados aos padrões das suas próprias mentes — aos seus conceitos, pensamentos e valores. Consequentemente, os resultados científicos que obtêm e as aplicações tecnológicas que investigam serão condicionados pelo seu enquadramento mental.

Embora grande parte da investigação de detalhe não dependa explicitamente do sistema de valores dos cientistas, o enquadramento mais amplo dentro do qual essa investigação é conduzida nunca será isento de valores. Os cientistas são, portanto, responsáveis pela sua investigação não apenas intelectualmente, mas também moralmente.

Deste ponto de vista, a ligação entre a física e o misticismo não é apenas extremamente interessante, mas também de enorme importância. Mostra que os resultados da física moderna abriram dois caminhos muito diferentes que os cientistas podem seguir.

Podem conduzir-nos — para o expressar em termos extremos — ao Buda ou à Bomba, e cabe a cada cientista decidir qual dos caminhos seguirá.

Parece-me que, numa época em que perto de metade dos nossos cientistas e engenheiros trabalha para o setor militar, desperdiçando um enorme potencial de engenho e criatividade humanos no desenvolvimento de meios cada vez mais sofisticados de destruição total, nunca será excessivo sublinhar a importância do caminho do Buda, o *«caminho com coração»*.

A presente edição deste livro foi atualizada de modo a incluir resultados da investigação mais recente em física subatómica. Fi-lo introduzindo ligeiras alterações em determinadas passagens do texto, para as tornar mais consistentes com as novas investigações, e

acrescentando uma nova secção no final do livro, intitulada *«A Nova Física Revisitada»*, na qual os desenvolvimentos recentes mais importantes da física subatómica são descritos com algum pormenor.

Foi para mim extremamente gratificante verificar que nenhum desses desenvolvimentos recentes invalidou qualquer coisa que eu tivesse escrito sete anos antes. Na realidade, a maioria deles já tinha sido antecipada na edição original.

Isto veio confirmar a forte convicção que me motivou a escrever o livro: a de que os temas fundamentais que utilizo na minha comparação entre a física e o misticismo serão reforçados, e não invalidados, pela investigação futura.

Além disso, sinto agora que a minha tese assenta em bases muito mais firmes, porque os paralelos com o misticismo oriental estão a surgir não apenas na física, mas também na biologia, na psicologia e noutras ciências.

Ao estudar as relações entre a física e essas ciências, descobri que o enquadramento proporcionado pela teoria dos sistemas permite uma extensão natural dos conceitos da física moderna a outros domínios.

A exploração dos conceitos sistémicos na biologia, na medicina, na psicologia e nas ciências sociais, que desenvolvi em *O Ponto de Viragem*, mostrou-me que a abordagem sistémica reforça fortemente os paralelos entre a física moderna e o misticismo oriental.

Além disso, a nova biologia e psicologia sistémicas apontam para outras semelhanças com o pensamento místico que ultrapassam o âmbito temático da física. Entre as que discuto no meu segundo livro encontram-se determinadas ideias acerca do livre-arbítrio, da morte e do nascimento, bem como da natureza da vida, da mente, da consciência e da evolução.

A profunda harmonia entre estes conceitos, expressos na linguagem dos sistemas, e as ideias correspondentes do misticismo oriental constitui uma impressionante evidência a favor da minha afirmação de que a filosofia das tradições místicas, também conhecida como *«filosofia perene»*, proporciona o enquadramento filosófico mais coerente para as nossas modernas teorias científicas.

Berkeley, junho de 1982
Fritjof Capra

PARTE UM

O Caminho da Física

CAPÍTULO 1

Física Moderna — Um Caminho com Coração

> Qualquer caminho é apenas um caminho, e não há qualquer desonra, para si próprio ou para os outros, em abandoná-lo se for isso que o seu coração lhe disser... Examine cada caminho com atenção e ponderação. Experimente-o tantas vezes quantas considerar necessárias. Depois faça a si próprio, e apenas a si próprio, uma pergunta... Este caminho tem coração? Se tiver, o caminho é bom; se não tiver, não serve para nada.
>
> Carlos Castaneda,
> Os Ensinamentos de Dom Juan

A física moderna exerceu uma profunda influência sobre quase todos os aspetos da sociedade humana. Tornou-se a base das ciências naturais, e a combinação entre ciência natural e ciência técnica alterou fundamentalmente as condições de vida na Terra, tanto de formas benéficas como prejudiciais. Hoje, dificilmente existe uma indústria que não faça uso dos resultados da física atómica, e é bem conhecida a influência que estes exerceram sobre a estrutura política do mundo através da sua aplicação ao armamento atómico.

Contudo, a influência da física moderna vai muito além da tecnologia. Estende-se ao domínio do pensamento e da cultura, onde conduziu a uma profunda revisão da nossa conceção do universo e da nossa relação com ele.

A exploração do mundo atómico e subatómico no século XX revelou limitações insuspeitadas das ideias clássicas e tornou necessária uma revisão radical de muitos dos nossos conceitos fundamentais. O conceito de matéria na física subatómica, por exemplo, é totalmente diferente da ideia tradicional de substância material da física clássica. O mesmo acontece com conceitos como espaço, tempo ou causa e efeito.

Estes conceitos são, porém, fundamentais para a nossa visão do mundo que nos rodeia e, com a sua transformação radical, toda a nossa visão do mundo começou também a mudar.

Estas mudanças, provocadas pela física moderna, têm sido amplamente discutidas por físicos e filósofos ao longo das últimas décadas, mas muito raramente se reconheceu que todas elas parecem apontar na mesma direção: para uma visão do mundo muito semelhante à sustentada pelo misticismo oriental.

Os conceitos da física moderna apresentam frequentemente paralelos surpreendentes com as ideias expressas nas filosofias religiosas do Extremo Oriente. Embora estes paralelos ainda não tenham sido discutidos extensivamente, foram reconhecidos por alguns dos grandes físicos do nosso século quando entraram em

contato com a cultura do Extremo Oriente durante as suas viagens de conferências à Índia, à China e ao Japão. As três citações seguintes servem de exemplo:

> As noções gerais acerca da compreensão humana... ilustradas pelas descobertas da física atómica não são, pela natureza das coisas, totalmente desconhecidas, inteiramente inauditas ou novas. Mesmo na nossa própria cultura possuem uma história, e no pensamento budista e hindu ocupam um lugar mais considerável e central. O que iremos encontrar é uma exemplificação, um estímulo e um refinamento da antiga sabedoria.[1]
>
> Julius Robert Oppenheimer

> Para encontrar um paralelo com a lição da teoria atómica... [temos de nos voltar] para aqueles tipos de problemas epistemológicos com que pensadores como Buda e Lao-Tsé já se confrontavam, ao procurarem harmonizar a nossa posição enquanto espetadores e atores no grande drama da existência.[2]
>
> Niels Bohr

> A grande contribuição científica para a física teórica proveniente do Japão desde a última guerra poderá ser uma indicação de uma certa relação entre as ideias filosóficas da tradição do Extremo Oriente e a substância filosófica da teoria quântica.[3]
>
> Werner Heisenberg

O propósito deste livro é explorar esta relação entre os conceitos da física moderna e as ideias fundamentais das tradições filosóficas

e religiosas do Extremo Oriente. Veremos como os dois pilares da física do século XX — a teoria quântica e a teoria da relatividade — nos obrigam ambos a ver o mundo de uma forma muito semelhante à de um hindu, de um budista ou de um taoista, e como essa semelhança se torna ainda mais forte quando analisamos as tentativas recentes de combinar estas duas teorias para descrever os fenómenos do mundo submicroscópico: as propriedades e interações das partículas subatómicas de que toda a matéria é constituída.

É aqui que os paralelos entre a física moderna e o misticismo oriental se tornam mais impressionantes, e encontraremos frequentemente afirmações em relação às quais será quase impossível dizer se foram feitas por físicos ou por místicos orientais.

Quando me refiro a «misticismo oriental», quero dizer as filosofias religiosas do Hinduísmo, do Budismo e do Taoismo. Embora estas incluam um vasto número de disciplinas espirituais e sistemas filosóficos subtilmente entrelaçados, as características fundamentais da sua visão do mundo são as mesmas.

Esta visão não se limita ao Oriente, podendo ser encontrada, em certa medida, em todas as filosofias de orientação mística. O argumento deste livro poderia, portanto, ser formulado de maneira mais geral, dizendo que a física moderna nos conduz a uma visão do mundo muito semelhante às perspetivas sustentadas pelos místicos de todas as épocas e tradições.

As tradições místicas estão presentes em todas as religiões, e elementos místicos podem ser encontrados em muitas escolas da filosofia ocidental. Os paralelos com a física moderna surgem não apenas nos Vedas do Hinduísmo, no *I Ching* ou nos sutras budistas, mas também nos fragmentos de Heraclito, no Sufismo de Ibn Arabi ou nos ensinamentos do feiticeiro yaqui Don Juan.

A diferença entre o misticismo oriental e o ocidental reside no facto de, no Ocidente, as escolas místicas terem desempenhado sempre um papel marginal, ao passo que constituem a corrente principal do pensamento filosófico e religioso oriental. Por uma questão de simplicidade, falarei, portanto, da «visão oriental do mundo» e mencionarei apenas ocasionalmente outras fontes do pensamento místico.

Se hoje a física nos conduz a uma visão do mundo essencialmente mística, está, de certa forma, a regressar ao seu ponto de partida, há 2500 anos. É interessante acompanhar a evolução da ciência ocidental ao longo do seu percurso em espiral, começando nas filosofias místicas dos primeiros gregos, ascendendo e desdobrando-se num impressionante desenvolvimento do pensamento intelectual que se foi afastando cada vez mais das suas origens místicas até desenvolver uma visão do mundo em acentuado contraste com a do Extremo Oriente.

Nas suas fases mais recentes, porém, a ciência ocidental está finalmente a superar essa visão e a regressar às perspetivas dos primeiros filósofos gregos e orientais. Desta vez, contudo, não se baseia apenas na intuição, mas também em experiências de grande

precisão e sofisticação e num formalismo matemático rigoroso e coerente.

As raízes da física, tal como as de toda a ciência ocidental, encontram-se no primeiro período da filosofia grega, no século VI a.C., numa cultura em que ciência, filosofia e religião não estavam separadas. Os sábios da escola de Mileto, na Jónia, não se preocupavam com tais distinções. O seu objetivo era descobrir a natureza essencial, ou a verdadeira constituição, das coisas, à qual chamavam **«***physis***»**.

O termo «física» deriva desta palavra grega e significava, portanto, originalmente, o esforço de compreender a natureza essencial de todas as coisas.

Este é, evidentemente, também o objetivo central de todos os místicos, e a filosofia da escola de Mileto possuía, de facto, um forte caráter místico. Os milésios foram chamados *«hilozoístas»*, ou «aqueles que pensam que a matéria está viva», pelos gregos posteriores, porque não estabeleciam qualquer distinção entre animado e inanimado, espírito e matéria.

Na verdade, nem sequer possuíam uma palavra para matéria, uma vez que viam todas as formas de existência como manifestações da *«physis»*, dotadas de vida e espiritualidade. Assim, Tales declarou que todas as coisas estavam cheias de deuses, e Anaximandro concebia o universo como uma espécie de

organismo sustentado pelo *«pneuma»*, o sopro cósmico, da mesma forma que o corpo humano é sustentado pelo ar.

A visão monista e orgânica dos milésios aproximava-se muito da antiga filosofia indiana e chinesa, e os paralelos com o pensamento oriental tornam-se ainda mais fortes na filosofia de Heraclito de Éfeso.

Heraclito acreditava num mundo de mudança perpétua, de eterno *«Devir»*. Para ele, todo o Ser estático assentava numa ilusão, e o seu princípio universal era o fogo, símbolo do fluxo e da mudança contínuos de todas as coisas.

Heraclito ensinava que todas as mudanças no mundo surgem da interação dinâmica e cíclica dos opostos e via cada par de opostos como uma unidade. A essa unidade, que contém e transcende todas as forças opostas, chamou Logos.

A cisão desta unidade começou com a escola eleática, que postulou um Princípio Divino situado acima de todos os deuses e homens. Esse princípio foi inicialmente identificado com a unidade do universo, mas mais tarde passou a ser visto como um Deus inteligente e pessoal, situado acima do mundo e que o dirige.

Assim teve início uma corrente de pensamento que conduziria, em última análise, à separação entre espírito e matéria e a um dualismo que se tornou característico da filosofia ocidental.

Um passo decisivo nessa direção foi dado por Parménides de Eleia, que se opunha vigorosamente a Heraclito. Chamou Ser ao seu princípio fundamental e sustentava que este era único e imutável. Considerava a mudança impossível e encarava as mudanças que parecemos percecionar no mundo como meras ilusões dos sentidos.

Desta filosofia nasceu o conceito de uma substância indestrutível, subjacente a propriedades variáveis, que se tornaria um dos conceitos fundamentais do pensamento ocidental.

No século V a.C., os filósofos gregos procuraram superar o forte contraste entre as perspetivas de Parménides e Heraclito. Para conciliar a ideia do Ser imutável de Parménides com a do eterno Devir de Heraclito, admitiram que o Ser se manifesta em determinadas substâncias invariáveis, cuja mistura e separação dão origem às mudanças no mundo.

Isto conduziu ao conceito de átomo, a menor unidade indivisível da matéria, que encontrou a sua expressão mais clara na filosofia de Leucipo e Demócrito.

Os atomistas gregos traçaram uma fronteira nítida entre espírito e matéria, concebendo a matéria como constituída por diversos *«blocos fundamentais de construção»*. Estes eram partículas puramente passivas e intrinsecamente mortas, que se moviam no vazio.

A causa do seu movimento não era explicada, mas era frequentemente associada a forças exteriores que se supunha serem de origem espiritual e fundamentalmente diferentes da matéria. Nos séculos seguintes, esta imagem tornou-se um elemento essencial do pensamento ocidental e do dualismo entre mente e matéria, corpo e alma.

À medida que a ideia de uma divisão entre espírito e matéria se consolidava, os filósofos voltaram a sua atenção para o mundo espiritual, em vez do material, para a alma humana e para os problemas da ética.

Estas questões ocupariam o pensamento ocidental durante mais de dois mil anos após o apogeu da ciência e da cultura gregas nos séculos V e IV a.C. O conhecimento científico da Antiguidade foi sistematizado e organizado por Aristóteles, que criou o esquema que serviria de base à visão ocidental do universo durante dois mil anos.

Contudo, o próprio Aristóteles acreditava que as questões relativas à alma humana e à contemplação da perfeição de Deus eram muito mais valiosas do que a investigação do mundo material. A razão pela qual o modelo aristotélico do universo permaneceu incontestado durante tanto tempo foi precisamente essa falta de interesse pelo mundo material, juntamente com a forte influência da Igreja Cristã, que sustentou as doutrinas de Aristóteles ao longo da Idade Média.

O desenvolvimento posterior da ciência ocidental teve de esperar pelo Renascimento, quando os homens começaram a libertar-se da influência de Aristóteles e da Igreja e manifestaram um interesse renovado pela natureza.

No final do século XV, o estudo da natureza começou, pela primeira vez, a ser abordado com um espírito verdadeiramente científico, realizando-se experiências destinadas a testar ideias especulativas. Como este desenvolvimento foi acompanhado por um interesse crescente pela matemática, acabou por conduzir à formulação de verdadeiras teorias científicas, baseadas na experiência e expressas em linguagem matemática.

Galileu foi o primeiro a combinar conhecimento empírico com matemática e é, por isso, considerado o pai da ciência moderna.

O nascimento da ciência moderna foi precedido e acompanhado por um desenvolvimento do pensamento filosófico que conduziu a uma formulação extrema do dualismo espírito/matéria.

Essa formulação surgiu no século XVII, na filosofia de René Descartes, que baseou a sua visão da natureza numa divisão fundamental em dois domínios separados e independentes: o da mente *(res cogitans*) e o da matéria (*res extensa*).

A divisão *«cartesiana»* permitiu aos cientistas tratar a matéria como morta e completamente separada deles próprios, e encarar o

mundo material como uma multiplicidade de objetos distintos reunidos numa enorme máquina.

Esta visão mecanicista do mundo foi adotada por Isaac Newton, que construiu a sua mecânica sobre essa base e fez dela o fundamento da física clássica. Desde a segunda metade do século XVII até ao final do século XIX, o modelo mecanicista newtoniano do universo dominou todo o pensamento científico.

Paralelamente, desenvolveu-se a imagem de um Deus monárquico que governava o mundo a partir de cima, impondo-lhe a sua lei divina. As leis fundamentais da natureza procuradas pelos cientistas eram, assim, consideradas leis de Deus, invariáveis e eternas, às quais o mundo estava submetido.

A filosofia de Descartes não foi importante apenas para o desenvolvimento da física clássica; exerceu também uma enorme influência sobre a forma geral de pensar do Ocidente até aos nossos dias.

A célebre frase de Descartes *«Cogito ergo sum»* — «Penso, logo existo» — levou os ocidentais a identificarem a sua identidade com a mente, em vez de com a totalidade do organismo.

Como consequência da divisão cartesiana, a maioria das pessoas tem consciência de si própria como um ego isolado que existe «dentro» do corpo. A mente foi separada do corpo e recebeu a

tarefa inútil de o controlar, provocando assim um aparente conflito entre a vontade consciente e os instintos involuntários.

Cada indivíduo foi ainda dividido numa grande quantidade de compartimentos separados, de acordo com as suas atividades, talentos, sentimentos, crenças, etc., envolvidos em conflitos intermináveis que geram contínua confusão metafísica e frustração.

Esta fragmentação interior reflete a nossa visão do mundo «exterior», que é encarado como uma multiplicidade de objetos e acontecimentos separados. O ambiente natural é tratado como se fosse constituído por partes independentes destinadas a ser exploradas por diferentes grupos de interesse.

A visão fragmentada estende-se ainda à sociedade, dividida em diferentes nações, raças e grupos religiosos e políticos.

A crença de que todos estes fragmentos — dentro de nós, no nosso ambiente e na nossa sociedade — são realmente separados pode ser considerada a razão fundamental da atual série de crises sociais, ecológicas e culturais.

Essa crença alienou-nos da natureza e dos nossos semelhantes. Produziu uma distribuição profundamente injusta dos recursos naturais, gerando desordem económica e política; uma onda crescente de violência, tanto espontânea como institucionalizada; e um ambiente degradado e poluído, no qual a vida se tornou frequentemente insalubre, tanto física como mentalmente.

A divisão cartesiana e a visão mecanicista do mundo foram, assim, simultaneamente benéficas e prejudiciais. Revelaram-se extraordinariamente eficazes no desenvolvimento da física clássica e da tecnologia, mas tiveram muitas consequências adversas para a nossa civilização.

É fascinante verificar que a ciência do século XX, que teve origem na cisão cartesiana e na visão mecanicista do mundo — e que, na realidade, só se tornou possível graças a essa visão — está agora a superar essa fragmentação e a conduzir-nos de regresso à ideia de unidade expressa pelas primeiras filosofias gregas e pelas filosofias orientais.

Em contraste com a visão mecanicista ocidental, a visão oriental do mundo é *«orgânica»*. Para o místico oriental, todas as coisas e acontecimentos percecionados pelos sentidos estão inter-relacionados e interligados, sendo apenas diferentes aspetos ou manifestações da mesma realidade última.

A nossa tendência para dividir o mundo percecionado em coisas individuais e separadas e para nos experienciarmos como egos isolados nesse mundo é considerada uma ilusão resultante da nossa mentalidade classificadora e mensuradora.

Na filosofia budista, essa condição recebe o nome de *avidya*, ou ignorância, e é entendida como o estado de uma mente perturbada que deve ser superado:

> **Quando a mente está perturbada, produz-se a multiplicidade das coisas; mas, quando a mente se aquieta, a multiplicidade das coisas desaparece.**[4]

Embora as várias escolas do misticismo oriental difiram em muitos pormenores, todas enfatizam a unidade fundamental do universo, que constitui a característica central dos seus ensinamentos.

O objetivo mais elevado dos seus seguidores — sejam hindus, budistas ou taoistas — é tomar consciência da unidade e da inter-relação mútua de todas as coisas, transcender a noção de um self individual isolado e identificar-se com a realidade última.

A emergência desta consciência — conhecida como *«iluminação»* — não é apenas um ato intelectual, mas uma experiência que envolve a pessoa por inteiro e que, na sua natureza última, é religiosa. Por esta razão, a maioria das filosofias orientais são essencialmente filosofias religiosas.

Na perspetiva oriental, portanto, a divisão da natureza em objetos separados não é fundamental, e quaisquer desses objetos possuem um caráter fluido e em permanente mudança.

A visão oriental do mundo é, por isso, intrinsecamente dinâmica e contém o tempo e a mudança como características essenciais. O cosmos é visto como uma única realidade inseparável — perpetuamente em movimento, viva, orgânica; espiritual e material ao mesmo tempo.

Uma vez que o movimento e a mudança são propriedades essenciais das coisas, as forças que provocam o movimento não se encontram fora dos objetos, como na visão grega clássica, mas constituem uma propriedade intrínseca da matéria.

Correspondentemente, a imagem oriental do Divino não é a de um governante que dirige o mundo a partir de cima, mas a de um princípio que tudo governa a partir do interior:

> Aquele que, habitando em todas as coisas,
> É, contudo, diferente de todas as coisas,
> Aquele que todas as coisas não conhecem,
> Cujo corpo são todas as coisas,
> Que governa todas as coisas a partir do interior —
> Ele é a sua Alma, o Controlador Interior,
> O Imortal.[5]

Os capítulos seguintes mostrarão que os elementos fundamentais da visão oriental do mundo são também os da visão do mundo que está a emergir da física moderna.

Pretendem sugerir que o pensamento oriental e, de forma mais geral, o pensamento místico proporcionam um enquadramento filosófico coerente e relevante para as teorias da ciência contemporânea: uma conceção do mundo na qual as descobertas científicas podem estar em perfeita harmonia com objetivos espirituais e crenças religiosas.

Os dois temas fundamentais desta conceção são a unidade e a inter-relação de todos os fenómenos e a natureza intrinsecamente dinâmica do universo.

Quanto mais profundamente penetrarmos no mundo submicroscópico, mais compreenderemos de que modo o físico moderno, tal como o místico oriental, passou a ver o mundo como um sistema de componentes inseparáveis, interativos e em permanente movimento, no qual o observador constitui uma parte integrante do próprio sistema.

A visão orgânica, *«ecológica»*, do mundo, característica das filosofias orientais é, sem dúvida, uma das principais razões para a enorme popularidade que estas alcançaram recentemente no Ocidente, sobretudo entre os jovens.

Na nossa cultura ocidental, ainda dominada por uma visão mecanicista e fragmentada do mundo, um número crescente de pessoas começou a reconhecer nessa visão a causa subjacente do descontentamento generalizado existente na nossa sociedade, e muitas voltaram-se para as vias orientais de libertação.

É interessante — e talvez não muito surpreendente — que aqueles que se sentem atraídos pelo misticismo oriental, que consultam o *I Ching* e praticam Yoga ou outras formas de meditação, manifestem, em geral, uma atitude marcadamente anticientífica. Tendem a encarar a ciência, e em particular a física,

como uma disciplina sem imaginação e de horizontes estreitos, responsável por todos os males da tecnologia moderna.

Este livro pretende melhorar a imagem da ciência, mostrando que existe uma harmonia essencial entre o espírito da sabedoria oriental e a ciência ocidental.

Procura mostrar que a física moderna vai muito além da tecnologia; que o caminho — ou Tao — da física pode ser um *caminho com coração*, uma via para o conhecimento espiritual e para a autorrealização.

CAPÍTULO 2

Conhecer e Ver

Do irreal, conduza-me ao real!

Das trevas, conduza-me à luz!

Da morte, conduza-me à imortalidade!

Brihad-aranyaka Upanishad

Antes de estudarmos os paralelos entre a física moderna e o misticismo oriental, temos de abordar a questão de saber como é possível estabelecer qualquer comparação entre uma ciência exata, expressa na linguagem altamente sofisticada da matemática moderna, e disciplinas espirituais baseadas sobretudo na meditação e que insistem no facto de as suas intuições não poderem ser comunicadas verbalmente.

Aquilo que pretendemos comparar são as afirmações feitas por cientistas e místicos orientais acerca do seu conhecimento do mundo. Para estabelecer o enquadramento adequado dessa comparação, devemos começar por perguntar que tipo de *«conhecimento»* está em causa: será que o monge budista de Angkor Wat ou de Quioto entende por «conhecimento» o mesmo que o físico de Oxford ou Berkeley?

Em segundo lugar, que tipo de afirmações iremos comparar? O que deveremos selecionar, por um lado, entre os dados experimentais, equações e teorias e, por outro, entre escrituras religiosas, mitos antigos ou tratados filosóficos?

Este capítulo procura clarificar precisamente estes dois pontos: a natureza do conhecimento envolvido e a linguagem em que esse conhecimento é expresso.

Ao longo da história, reconheceu-se que a mente humana é capaz de dois tipos de conhecimento, ou de dois modos de consciência, frequentemente designados por racional e intuitivo e tradicionalmente associados, respetivamente, à ciência e à religião.

No Ocidente, o tipo de conhecimento intuitivo e religioso é muitas vezes desvalorizado em favor do conhecimento racional e científico, ao passo que a atitude tradicional do Oriente é, em geral, exatamente a oposta. As afirmações seguintes, feitas por duas grandes figuras do Ocidente e do Oriente, ilustram bem essas duas posições.

Sócrates, na Grécia, formulou a célebre afirmação:

> **Sei que nada sei,**

enquanto Lao-Tsé, na China, afirmou:

> **Não saber que se sabe é o melhor.**

No Oriente, os valores atribuídos aos dois tipos de conhecimento tornam-se muitas vezes evidentes nos próprios nomes que lhes são dados. Os Upanishads, por exemplo, falam de um conhecimento superior e de um conhecimento inferior, associando o conhecimento inferior às várias ciências e o superior à consciência religiosa.

Os budistas falam de conhecimento *«relativo»* e *«absoluto»*, ou de *«verdade condicionada»* e *«verdade transcendental»*.

A filosofia chinesa, por outro lado, sempre enfatizou a natureza complementar do intuitivo e do racional, representando-os pelo par arquetípico yin e yang, que constitui a base do pensamento chinês. Correspondentemente, desenvolveram-se na antiga China duas tradições filosóficas complementares — o Taoismo e o Confucionismo — destinadas a lidar com os dois tipos de conhecimento.

O conhecimento racional deriva da experiência que temos com objetos e acontecimentos no nosso ambiente quotidiano. Pertence ao domínio do intelecto, cuja função é distinguir, dividir, comparar, medir e categorizar.

Desse modo, cria-se um mundo de distinções intelectuais, de opostos que só podem existir em relação uns com os outros, razão pela qual os budistas designam este tipo de conhecimento por *«relativo»*.

A abstração é uma característica fundamental deste conhecimento, porque, para podermos comparar e classificar a imensa variedade de formas, estruturas e fenómenos que nos rodeiam, não podemos ter em conta todas as suas características; temos de selecionar apenas algumas que consideramos significativas.

Construímos, assim, um mapa intelectual da realidade no qual as coisas são reduzidas aos seus contornos gerais.

O conhecimento racional é, portanto, um sistema de conceitos e símbolos abstratos, caracterizado pela estrutura linear e sequencial típica do nosso pensamento e da nossa linguagem. Na maioria das línguas, essa estrutura linear torna-se explícita através da utilização de alfabetos, que servem para comunicar experiência e pensamento em longas sequências de letras.

O mundo natural, por outro lado, é um mundo de variedade e complexidade infinitas; um mundo multidimensional que não contém linhas retas nem formas perfeitamente regulares, no qual as coisas não acontecem em sequência, mas simultaneamente; um mundo em que — como nos diz a física moderna — até o espaço vazio é curvo.

É evidente que o nosso sistema abstrato de pensamento conceptual nunca poderá descrever ou compreender plenamente essa realidade.

Ao pensarmos o mundo, enfrentamos um problema semelhante ao do cartógrafo que tenta cobrir a superfície curva da Terra com uma sucessão de mapas planos. De um procedimento desse género só podemos esperar uma representação aproximada da realidade e, por conseguinte, todo o conhecimento racional é necessariamente limitado.

O domínio do conhecimento racional é, naturalmente, o domínio da ciência, que mede e quantifica, classifica e analisa.

As limitações de qualquer conhecimento obtido através destes métodos tornaram-se cada vez mais evidentes na ciência moderna e, em particular, na física moderna, que nos ensinou, nas palavras de Werner Heisenberg, *«que toda a palavra ou conceito, por mais claro que possa parecer, possui apenas um alcance limitado de aplicabilidade».*[1]

Para a maioria de nós, é muito difícil manter constantemente presente a consciência das limitações e da relatividade do conhecimento conceptual. Como a nossa representação da realidade é muito mais fácil de apreender do que a própria realidade, tendemos a confundir as duas e a tomar os nossos conceitos e símbolos pela realidade em si.

Um dos principais objetivos do misticismo oriental é precisamente libertar-nos dessa confusão.

Os budistas Zen dizem que é necessário um dedo para apontar para a Lua, mas que, uma vez reconhecida a Lua, não devemos continuar ocupados com o dedo. O sábio taoista Chuang Tzu escreveu:

> **Utilizam-se cestos para apanhar peixes; mas, uma vez apanhados os peixes, os homens esquecem os cestos. Utilizam-se armadilhas para apanhar lebres; mas, uma vez apanhadas as lebres, os homens esquecem as armadilhas. Utilizam-se palavras para transmitir ideias; mas, uma vez apreendidas as ideias, os homens esquecem as palavras.**[2]

No Ocidente, o semanticista Alfred Korzybski exprimiu exatamente a mesma ideia através da sua poderosa máxima:

> **O mapa não é o território.**

Aquilo que interessa aos místicos orientais é uma experiência direta da realidade que transcende não apenas o pensamento intelectual, mas também a perceção sensorial.

Nas palavras dos Upanishads:

> Aquilo que não tem som, nem tato, nem forma, e é imperecível,
> Igualmente sem sabor, constante, sem odor,
> Sem princípio, sem fim, superior ao grande, estável —
> Ao discernir Isso, liberta-se da boca da morte.[3]

O conhecimento proveniente de uma experiência desse género é chamado pelos budistas *«conhecimento absoluto»*, porque não depende das distinções, abstrações e classificações do intelecto, que, como vimos, são sempre relativas e aproximadas.

Trata-se, segundo nos dizem os budistas, da experiência direta da *«talidade»* indiferenciada, indivisa e indeterminada.

A apreensão completa dessa *talidade* não constitui apenas o núcleo do misticismo oriental, mas é a característica central de toda a experiência mística.

Os místicos orientais insistem repetidamente em que a realidade última nunca pode ser objeto de raciocínio ou de conhecimento demonstrável. Nunca poderá ser adequadamente descrita por palavras, porque se situa para além dos domínios dos sentidos e do intelecto, dos quais derivam as nossas palavras e conceitos.

Os Upanishads dizem a seu respeito:

> Até lá não chega o olhar,
> Nem a palavra, nem a mente.
> Não sabemos, não compreendemos
> Como poderia alguém ensiná-Lo.[4]

Lao-Tsé, que chama Tao a essa realidade, exprime o mesmo facto na primeira linha do *Tao Te Ching*:

> **O Tao que pode ser expresso não é o Tao eterno.**

O facto — evidente através de qualquer leitura dos jornais — de a humanidade não se ter tornado muito mais sábia ao longo dos últimos dois mil anos, apesar do prodigioso aumento do conhecimento racional, constitui prova suficiente da impossibilidade de comunicar conhecimento absoluto através de palavras.

Como afirmou Chuang Tzu:

> **Se pudesse ser dito, toda a gente já o teria contado ao irmão.**[5]

O conhecimento absoluto é, portanto, uma experiência da realidade inteiramente não intelectual, surgida num estado não comum de consciência que pode ser designado por estado *«meditativo»* ou místico.

A existência de tal estado não foi apenas testemunhada por inúmeros místicos do Oriente e do Ocidente; é também indicada pela investigação psicológica.

Nas palavras de William James:

> **A nossa consciência normal de vigília, a consciência racional, como lhe chamamos, é apenas um tipo especial de consciência, enquanto à sua volta, separadas dela pelas mais ténues das membranas, existem formas potenciais de consciência inteiramente diferentes.**[6]

Embora os físicos se ocupem sobretudo do conhecimento racional e os místicos do conhecimento intuitivo, ambos os tipos de conhecimento ocorrem nos dois domínios. Isto torna-se evidente quando analisamos a forma como o conhecimento é obtido e como é expresso, tanto na física como no misticismo oriental.

Na física, o conhecimento é adquirido através do processo de investigação científica, que pode ser considerado como decorrendo em três etapas.

A primeira consiste na recolha de evidências experimentais relativas aos fenómenos que se pretende explicar.

Na segunda etapa, os factos experimentais são correlacionados com símbolos matemáticos e elabora-se um esquema matemático que interliga esses símbolos de forma precisa e coerente. Um esquema deste género é habitualmente chamado modelo matemático ou, quando é mais abrangente, teoria.

Essa teoria é então utilizada para prever os resultados de experiências posteriores, realizadas com o objetivo de verificar todas as suas implicações.

Nesta fase, os físicos poderão dar-se por satisfeitos quando encontraram um esquema matemático e sabem utilizá-lo para prever os resultados das experiências. Mais cedo ou mais tarde, porém, desejarão comunicar os seus resultados a pessoas que não são físicas e terão, por isso, de os exprimir em linguagem corrente.

Isto significa que terão de formular, em linguagem comum, um modelo que interprete o seu esquema matemático.

Mesmo para os próprios físicos, a formulação de um modelo verbal desse tipo — que constitui a terceira etapa da investigação — funcionará como critério do grau de compreensão alcançado.

Na prática, evidentemente, estas três etapas não estão claramente separadas nem ocorrem sempre pela mesma ordem.

Um físico pode, por exemplo, ser conduzido a determinado modelo por alguma convicção filosófica que sustenta e continuar a acreditar nele mesmo quando surgem evidências experimentais contrárias.

Nesse caso — e isto acontece, de facto, com bastante frequência — tentará modificar o modelo para que este possa explicar as novas experiências. Mas, se as evidências experimentais continuarem a contrariá-lo, acabará por ser obrigado a abandoná-lo.

Esta forma de fundamentar firmemente todas as teorias na experimentação é conhecida como método científico e veremos que possui um equivalente na filosofia oriental.

A filosofia grega, por outro lado, era fundamentalmente diferente neste aspeto. Embora os filósofos gregos possuíssem ideias extremamente engenhosas acerca da natureza, muitas vezes extraordinariamente próximas dos modelos científicos modernos, a

enorme diferença entre ambas reside na atitude empírica da ciência moderna, que era, em grande medida, estranha ao espírito grego.

Os gregos obtinham os seus modelos dedutivamente, a partir de algum axioma ou princípio fundamental, e não indutivamente, a partir daquilo que tinha sido observado.

Por outro lado, é evidente que a arte grega do raciocínio dedutivo e da lógica constitui um ingrediente essencial da segunda etapa da investigação científica — a formulação de um modelo matemático coerente — e, portanto, uma parte essencial da ciência.

O conhecimento racional e as atividades racionais constituem certamente a maior parte da investigação científica, mas não são tudo aquilo que nela existe.

Na realidade, a componente racional da investigação seria inútil se não fosse complementada pela intuição, que proporciona aos cientistas novas perceções e lhes permite ser criativos.

Essas perceções tendem a surgir de repente e, caracteristicamente, não quando o cientista está sentado à secretária a trabalhar nas equações, mas quando relaxa, no banho, durante um passeio na floresta, na praia, etc.

Durante estes períodos de descontração que se seguem a uma atividade intelectual concentrada, a mente intuitiva parece assumir

o comando e pode produzir súbitas intuições clarificadoras, que proporcionam grande alegria e satisfação à investigação científica.

Contudo, as intuições não têm utilidade para a física a menos que possam ser formuladas num enquadramento matemático coerente, complementado por uma interpretação em linguagem corrente.

A abstração é uma característica crucial desse enquadramento. Como já foi referido, ele consiste num sistema de conceitos e símbolos que constitui um mapa da realidade.

Esse mapa representa apenas algumas características da realidade. Não sabemos exatamente quais, porque começámos a construir gradualmente o nosso mapa durante a infância, sem qualquer análise crítica.

Por isso, as palavras da nossa linguagem não estão claramente definidas. Possuem vários significados, muitos dos quais apenas atravessam vagamente a nossa mente e permanecem em grande medida no subconsciente quando ouvimos determinada palavra.

A imprecisão e a ambiguidade da nossa linguagem são essenciais para os poetas, que trabalham em grande medida com as suas camadas e associações subconscientes.

A ciência, por outro lado, procura definições claras e relações inequívocas e, por isso, abstrai ainda mais a linguagem, limitando

o significado das palavras e normalizando a sua estrutura de acordo com as regras da lógica.

A abstração máxima ocorre na matemática, onde as palavras são substituídas por símbolos e as operações que ligam esses símbolos são rigorosamente definidas.

Deste modo, os cientistas conseguem condensar informação numa única equação — isto é, numa única linha de símbolos — para a qual seriam necessárias várias páginas de escrita comum.

A ideia de que a matemática não passa de uma linguagem extremamente abstrata e condensada não é, contudo, consensual.

Na realidade, muitos matemáticos acreditam que a matemática não é apenas uma linguagem destinada a descrever a natureza, mas que é inerente à própria natureza.

O precursor desta convicção foi Pitágoras, que formulou a célebre afirmação *«Todas as coisas são números»* e desenvolveu um tipo muito particular de misticismo matemático.

A filosofia pitagórica introduziu, assim, o raciocínio lógico no domínio da religião, um desenvolvimento que, segundo Bertrand Russell, foi decisivo para a filosofia religiosa ocidental:

> **A combinação da matemática e da teologia, que começou com Pitágoras, caracterizou a filosofia religiosa na Grécia, na Idade Média**

> **e nos tempos modernos até Kant... Em Platão, Santo Agostinho, Tomás de Aquino, Descartes, Espinosa e Leibniz existe uma íntima fusão entre religião e raciocínio, entre aspiração moral e admiração lógica por aquilo que é intemporal, que provém de Pitágoras e distingue a teologia intelectualizada da Europa do misticismo mais direto da Ásia.**[7]

O *«misticismo mais direto da Ásia»*, evidentemente, não adotaria a perspetiva pitagórica da matemática.

Na visão oriental, a matemática, com a sua estrutura altamente diferenciada e bem definida, deve ser entendida como parte do nosso mapa conceptual e não como uma característica da própria realidade.

A realidade, tal como é experienciada pelo místico, é completamente indeterminada e indiferenciada.

O método científico de abstração é extremamente eficiente e poderoso, mas temos de pagar um preço por ele.

À medida que definimos com maior precisão o nosso sistema de conceitos, que o tornamos mais depurado e estabelecemos relações cada vez mais rigorosas entre os seus elementos, ele afasta-se progressivamente do mundo real.

Retomando a analogia de Korzybski entre o mapa e o território, poderíamos dizer que a linguagem comum é um mapa que, devido à sua imprecisão intrínseca, possui uma certa flexibilidade que lhe permite acompanhar, até certo ponto, a forma curva do território.

À medida que a tornamos mais rigorosa, essa flexibilidade desaparece gradualmente e, com a linguagem da matemática, chegamos a um ponto em que as ligações com a realidade se tornam tão ténues que a relação entre os símbolos e a nossa experiência sensorial deixa de ser evidente.

É por isso que temos de complementar os nossos modelos e teorias matemáticos com interpretações verbais, recorrendo novamente a conceitos que podem ser compreendidos intuitivamente, mas que são ligeiramente ambíguos e imprecisos.

É importante compreender a diferença entre os modelos matemáticos e os seus equivalentes verbais.

Os primeiros são rigorosos e coerentes no que diz respeito à sua estrutura interna, mas os seus símbolos não estão diretamente relacionados com a nossa experiência.

Os modelos verbais, por outro lado, utilizam conceitos que podem ser compreendidos intuitivamente, mas são sempre imprecisos e ambíguos. Neste aspeto, não diferem dos modelos filosóficos da realidade e, portanto, os dois podem perfeitamente ser comparados.

Se existe um elemento intuitivo na ciência, existe também um elemento racional no misticismo oriental.

O grau de importância atribuído à razão e à lógica, contudo, varia enormemente de uma escola para outra.

O Vedanta hindu ou o Madhyamika budista, por exemplo, são escolas altamente intelectuais, ao passo que os taoistas sempre nutriram uma profunda desconfiança em relação à razão e à lógica.

O Zen, que nasceu do Budismo, mas foi fortemente influenciado pelo Taoismo, orgulha-se de ser *«sem palavras, sem explicações, sem instruções, sem conhecimento»*.

Concentra-se quase inteiramente na experiência da iluminação e demonstra apenas um interesse marginal pela interpretação dessa experiência.

Uma conhecida expressão Zen afirma:

> **No instante em que fala de uma coisa, já falhou o alvo.**

Embora outras escolas do misticismo oriental sejam menos extremas, a experiência mística direta encontra-se no centro de todas elas.

Mesmo os místicos envolvidos nas argumentações mais sofisticadas nunca consideram o intelecto como a sua fonte de conhecimento; utilizam-no apenas para analisar e interpretar a própria experiência mística.

Todo o conhecimento assenta firmemente nessa experiência, conferindo às tradições orientais um forte caráter empírico, constantemente enfatizado pelos seus representantes.

D. T. Suzuki, por exemplo, escreve acerca do Budismo:

> **A experiência pessoal é... o fundamento da filosofia budista. Nesse sentido, o Budismo é um empirismo radical ou experiencialismo, qualquer que seja a dialética posteriormente desenvolvida para investigar o significado da experiência de iluminação.**[8]

Joseph Needham salienta repetidamente a atitude empírica dos taoistas na sua obra *Science and Civilisation in China* e considera que essa atitude fez do Taoismo a base da ciência e da tecnologia chinesas.

Nas palavras de Needham, os primeiros filósofos taoistas

> **retiraram-se para as regiões selvagens, para as florestas e montanhas, para aí meditarem sobre a Ordem da Natureza e observarem as suas inúmeras manifestações.**[9]

O mesmo espírito encontra-se refletido nos versos Zen:

> Aquele que quiser compreender o significado da natureza de Buda
> Deve observar a estação e as relações causais.[10]

A sólida fundamentação do conhecimento na experiência, característica do misticismo oriental, sugere um paralelo com a sólida fundamentação do conhecimento científico na experimentação.

Esse paralelo é reforçado pela própria natureza da experiência mística.

Nas tradições orientais, esta é descrita como uma perceção direta situada fora do domínio do intelecto e obtida através da observação, e não do pensamento; olhando para dentro de si próprio; observando.

No Taoismo, esta noção de observação encontra-se incorporada no próprio nome dado aos templos taoistas: *kuan*, que originalmente significava «olhar».

Os taoistas consideravam, assim, os seus templos lugares de observação.

No Budismo Ch'an, a versão chinesa do Zen, a iluminação é frequentemente designada por *«visão do Tao»*, e o ato de ver é considerado a base do conhecer em todas as escolas budistas.

O primeiro elemento do Caminho Óctuplo, a prescrição de Buda para a autorrealização, é ver corretamente, seguido de conhecer corretamente.

D. T. Suzuki escreve a este respeito:

> **O ato de ver desempenha o papel mais importante na epistemologia budista, porque o ver está na base do conhecer. Conhecer é impossível sem ver; todo o conhecimento tem origem no ver. Conhecer e ver encontram-se, assim, geralmente unidos nos ensinamentos de Buda. A filosofia budista aponta, portanto, em última análise, para ver a realidade tal como ela é. Ver é experienciar a iluminação.**[11]

Esta passagem recorda também o místico yaqui Don Juan, que afirma:

> **A minha predileção é ver… porque só vendo pode um homem de conhecimento conhecer.**[12]

Convém talvez acrescentar aqui uma palavra de cautela.

A ênfase atribuída ao ver nas tradições místicas não deve ser entendida de forma demasiado literal, mas num sentido metafórico, uma vez que a experiência mística da realidade é essencialmente uma experiência não sensorial.

Quando os místicos orientais falam em *«ver»*, referem-se a um modo de perceção que pode incluir a perceção visual, mas que sempre e essencialmente a transcende, tornando-se uma experiência não sensorial da realidade.

Aquilo que enfatizam, contudo, ao falar de ver, olhar ou observar, é o caráter empírico do seu conhecimento.

Esta abordagem empírica da filosofia oriental faz lembrar fortemente a ênfase que a ciência atribui à observação e sugere, assim, um enquadramento para a nossa comparação.

A fase experimental da investigação científica parece corresponder à perceção direta do místico oriental, enquanto os modelos e teorias científicos correspondem às diversas formas através das quais essa perceção é interpretada.

O paralelo entre experiências científicas e experiências místicas poderá parecer surpreendente, tendo em conta a natureza muito diferente desses atos de observação.

Os físicos realizam experiências que envolvem um elaborado trabalho de equipa e tecnologia altamente sofisticada, enquanto os místicos obtêm o seu conhecimento exclusivamente através da introspeção, sem qualquer maquinaria, na intimidade da meditação.

Além disso, as experiências científicas parecem poder ser repetidas a qualquer momento e por qualquer pessoa, enquanto as experiências místicas parecem reservadas a alguns indivíduos em ocasiões especiais.

Uma análise mais atenta mostra, contudo, que as diferenças entre os dois tipos de observação dizem respeito apenas à abordagem e não à sua fiabilidade ou complexidade.

Qualquer pessoa que pretenda repetir uma experiência da física subatómica moderna tem de passar por muitos anos de formação. Só então poderá formular à natureza uma pergunta específica através da experiência e compreender a resposta.

Do mesmo modo, uma experiência mística profunda exige, em geral, muitos anos de treino sob a orientação de um mestre experiente e, tal como na formação científica, o tempo dedicado não garante, por si só, o êxito.

Contudo, se o estudante for bem-sucedido, será capaz de *«repetir a experiência»*.

Na realidade, a possibilidade de repetir a experiência é essencial a toda a formação mística e constitui o próprio objetivo da instrução espiritual dos místicos.

Uma experiência mística, portanto, não é mais singular do que uma experiência moderna de física. Por outro lado, também não é menos sofisticada, embora a sua sofisticação seja de natureza muito diferente.

À complexidade e eficiência do equipamento técnico do físico corresponde — se não a ultrapassa — a complexidade da consciência do místico, tanto física como espiritual, durante uma meditação profunda.

Cientistas e místicos desenvolveram, assim, métodos altamente sofisticados de observação da natureza que permanecem inacessíveis ao leigo.

Uma página de uma revista de física experimental moderna será tão misteriosa para o não iniciado como uma mandala tibetana.

Ambas constituem registos de investigações sobre a natureza do universo.

Embora, em geral, as experiências místicas profundas não ocorram sem uma longa preparação, todos nós experienciamos, na vida quotidiana, perceções intuitivas diretas.

Todos conhecemos a situação em que esquecemos o nome de uma pessoa ou de um lugar, ou alguma outra palavra, e somos incapazes de o recordar apesar da máxima concentração.

Temo-lo *«na ponta da língua»*, mas simplesmente não surge, até que desistimos e desviamos a atenção para outra coisa, momento em que, subitamente, num lampejo, recordamos o nome esquecido.

Nenhum pensamento intervém nesse processo. Trata-se de uma perceção súbita e imediata.

Este exemplo de recordar subitamente algo é particularmente relevante para o Budismo, que sustenta que a nossa natureza original é a do Buda iluminado e que apenas nos esquecemos dela.

Aos estudantes do Budismo Zen é pedido que descubram o seu *«rosto original»*, e a súbita *«recordação»* desse rosto constitui a sua iluminação.

Outro exemplo bem conhecido de perceções intuitivas espontâneas são as anedotas.

Na fração de segundo em que compreende uma anedota, experiencia um momento de *«iluminação»*.

É bem sabido que esse momento tem de surgir espontaneamente e que não pode ser alcançado através da *«explicação»* da anedota, isto é, através da análise intelectual.

Só através de uma súbita perceção intuitiva da natureza da anedota experienciamos o riso libertador que ela pretende provocar.

A semelhança entre uma perceção espiritual e a compreensão de uma anedota deve ser bem conhecida pelos homens e mulheres iluminados, uma vez que quase invariavelmente demonstram um grande sentido de humor.

O Zen, em particular, está repleto de histórias e episódios divertidos, e no *Tao Te Ching* lemos:

> **Se não provocasse riso, não seria suficiente para ser o Tao.**[13]

Na nossa vida quotidiana, as perceções intuitivas diretas da natureza das coisas limitam-se normalmente a momentos extremamente breves.

Não é assim no misticismo oriental, onde são prolongadas durante períodos extensos e, em última análise, se tornam uma consciência constante.

Preparar a mente para essa consciência — para a perceção imediata e não conceptual da realidade — constitui o principal objetivo de todas as escolas do misticismo oriental e de muitos aspetos do modo de vida oriental.

Ao longo da extensa história cultural da Índia, da China e do Japão, desenvolveu-se uma enorme variedade de técnicas, rituais e formas artísticas destinadas a alcançar esse objetivo, todas elas podendo ser designadas por meditação, no sentido mais amplo da palavra.

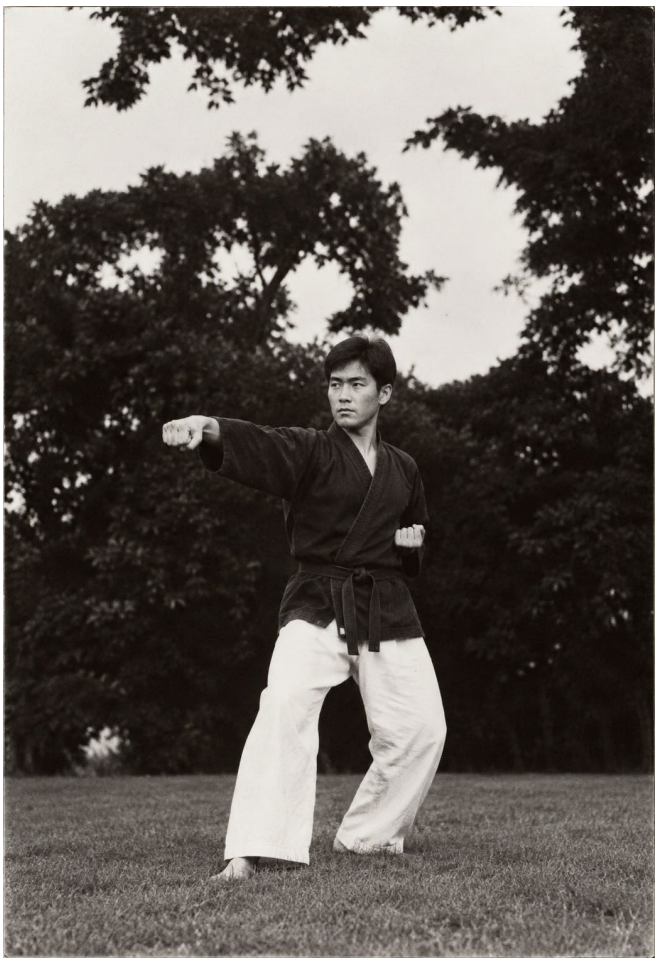
O objetivo fundamental dessas técnicas parece ser silenciar a mente pensante e transferir a consciência do modo racional para o modo intuitivo.

Em muitas formas de meditação, esse silenciamento da mente racional é alcançado concentrando a atenção num único elemento, como a respiração, o som de um mantra ou a imagem visual de uma mandala.

Outras escolas concentram a atenção nos movimentos do corpo, que têm de ser realizados espontaneamente, sem a interferência de qualquer pensamento.

É este o caminho do Yoga hindu e do Tai Chi Ch’uan taoista.

Os movimentos rítmicos dessas escolas podem conduzir à mesma sensação de paz e serenidade característica das formas mais estáticas de meditação; uma sensação que, incidentalmente, também pode ser evocada por alguns desportos.



Na minha própria experiência, por exemplo, esquiar tem sido uma forma de meditação profundamente gratificante.

As formas de arte orientais são também formas de meditação.

Não são tanto meios de expressar as ideias do artista como formas de autorrealização através do desenvolvimento do modo intuitivo de consciência.

A música indiana não se aprende lendo notas, mas ouvindo o mestre tocar e desenvolvendo, desse modo, uma sensibilidade para a música, tal como os movimentos do T'ai Chi não se aprendem através de instruções verbais, mas repetindo-os vezes sem conta em uníssono com o mestre.

As cerimónias japonesas do chá estão repletas de movimentos lentos e ritualizados. A caligrafia chinesa exige movimentos espontâneos e desinibidos da mão.

Todas estas práticas são utilizadas no Oriente para desenvolver o modo meditativo de consciência.

Para a maioria das pessoas, sobretudo para os intelectuais, este modo de consciência constitui uma experiência inteiramente nova.

Os cientistas estão familiarizados com perceções intuitivas diretas através da investigação, porque toda a nova descoberta tem origem num súbito lampejo não verbal dessa natureza.

Esses momentos, contudo, são extremamente breves e surgem quando a mente está repleta de informação, conceitos e padrões de pensamento.

Na meditação, pelo contrário, a mente é esvaziada de todos os pensamentos e conceitos, ficando assim preparada para funcionar durante longos períodos através do seu modo intuitivo.

Lao-Tsé refere-se a este contraste entre investigação e meditação quando afirma:

> **Aquele que procura aprender aumenta todos os dias; Aquele que procura o Tao diminui todos os dias.**[14]

Quando a mente racional é silenciada, o modo intuitivo produz uma consciência extraordinária; o ambiente é experienciado diretamente, sem o filtro do pensamento conceptual.

Nas palavras de Chuang Tzu:

> **A mente imóvel do sábio é o espelho do céu e da terra — o reflexo de todas as coisas.**[15]

A experiência de unidade com o ambiente envolvente é a principal característica desse estado meditativo.

É um estado de consciência no qual todas as formas de fragmentação cessaram, dissolvendo-se numa unidade indiferenciada.

Durante uma meditação profunda, a mente encontra-se completamente desperta.

Além da apreensão não sensorial da realidade, recebe também todos os sons, imagens e outras impressões do ambiente circundante, mas não retém as imagens sensoriais para serem analisadas ou interpretadas.

Não lhes permite desviar a atenção.

Esse estado de consciência não é muito diferente do estado mental de um guerreiro que espera um ataque em extrema vigilância, registando tudo o que acontece à sua volta sem se deixar distrair por nada, nem por um instante.

O mestre Zen Yasutani Roshi utiliza esta imagem na sua descrição de *shikan-taza*, a prática da meditação Zen:

> **Shikan-taza é um estado elevado de consciência concentrada no qual não se está tenso nem apressado e, certamente, nunca relaxado em excesso. É o estado mental de alguém que enfrenta a morte. Imaginemos que está envolvido num duelo de espadas do género daqueles que tinham lugar no antigo Japão. Enquanto enfrenta o adversário, permanece incessantemente vigilante, preparado, pronto. Se relaxasse a vigilância por um único instante, seria imediatamente abatido. Uma multidão reúne-se para assistir ao combate. Como não é cego, vê-a pelo canto do olho e, como não é surdo, ouve-a. Mas nem por um instante a sua mente é capturada por essas impressões sensoriais.**[16]

Devido à semelhança entre o estado meditativo e o estado mental do guerreiro, a imagem do guerreiro desempenha um papel importante na vida espiritual e cultural do Oriente.

O cenário do texto religioso preferido da Índia, o *Bhagavad Gita*, é um campo de batalha, e as artes marciais constituem uma parte importante das culturas tradicionais da China e do Japão.

No Japão, a forte influência do Zen sobre a tradição dos samurais deu origem ao chamado *bushido*, o *«caminho do guerreiro»*, uma arte da espada na qual a perceção espiritual do espadachim atinge a sua mais elevada perfeição.

O Tai Chi Ch'uan taoista, considerado a suprema arte marcial da China, combina de forma única movimentos lentos e rítmicos de caráter *«ióguico»* com a atenção total própria da mente do guerreiro.

O misticismo oriental baseia-se em perceções diretas da natureza da realidade, enquanto a física se baseia na observação dos fenómenos naturais através de experiências científicas.

Em ambos os domínios, as observações são posteriormente interpretadas e essa interpretação é muito frequentemente comunicada através de palavras.

Como as palavras constituem sempre um mapa abstrato e aproximado da realidade, as interpretações verbais de uma

experiência científica ou de uma perceção mística são necessariamente imprecisas e incompletas.

Tanto os físicos modernos como os místicos orientais têm plena consciência deste facto.

Na física, as interpretações das experiências são chamadas modelos ou teorias, e o reconhecimento de que todos os modelos e teorias são aproximados constitui um princípio fundamental da investigação científica moderna.

Daí o aforismo de Einstein:

> **Na medida em que as leis da matemática se referem à realidade, não são certas; e, na medida em que são certas, não se referem à realidade.**

Os físicos sabem que os seus métodos de análise e raciocínio lógico nunca poderão explicar, de uma só vez, todo o domínio dos fenómenos naturais.

Por isso, selecionam um determinado conjunto de fenómenos e procuram construir um modelo capaz de descrever esse conjunto.

Ao fazê-lo, deixam de fora outros fenómenos e, consequentemente, o modelo nunca proporcionará uma descrição completa da situação real.

Os fenómenos não considerados podem ter um efeito tão reduzido que a sua inclusão não alteraria significativamente a teoria, ou podem simplesmente ser omitidos por ainda não serem conhecidos no momento em que a teoria é construída.

Para ilustrar estes pontos, consideremos um dos modelos mais conhecidos da física: a mecânica *«clássica»* de Newton.

Os efeitos da resistência do ar ou do atrito, por exemplo, não são geralmente considerados neste modelo, porque costumam ser muito reduzidos.

Mas, para além dessas omissões, a mecânica newtoniana foi durante muito tempo considerada a teoria definitiva para a descrição de todos os fenómenos naturais, até terem sido descobertos fenómenos elétricos e magnéticos que não encontravam lugar na teoria de Newton.

A descoberta desses fenómenos mostrou que o modelo era incompleto e que só podia ser aplicado a um conjunto limitado de fenómenos — essencialmente, ao movimento dos corpos sólidos.

Estudar um conjunto limitado de fenómenos pode significar igualmente estudar as suas propriedades físicas apenas dentro de um intervalo limitado, o que constitui outra possível razão para uma teoria ser aproximada.

Este aspeto da aproximação é bastante subtil, porque nunca sabemos antecipadamente onde se situam os limites de uma teoria. Só a experiência pode revelá-los.

Assim, a imagem da mecânica clássica foi ainda mais enfraquecida quando a física do século XX revelou as suas limitações essenciais.

Hoje sabemos que o modelo newtoniano só é válido para objetos constituídos por um grande número de átomos e para velocidades pequenas comparativamente à velocidade da luz.

Quando a primeira condição não se verifica, a mecânica clássica tem de ser substituída pela teoria quântica; quando a segunda não é satisfeita, é necessário aplicar a teoria da relatividade.

Isto não significa que o modelo de Newton esteja *«errado»*, nem que a teoria quântica e a teoria da relatividade estejam *«certas»*.

Todos estes modelos são aproximações válidas dentro de determinado domínio de fenómenos.

Para além desse domínio, deixam de proporcionar uma descrição satisfatória da natureza e têm de ser encontrados novos modelos que substituam os anteriores — ou, melhor ainda, que os ampliem através do aperfeiçoamento da aproximação.

Especificar os limites de determinado modelo constitui frequentemente uma das tarefas mais difíceis e, simultaneamente, mais importantes da sua construção.

Segundo Geoffrey Chew, cuja *«teoria bootstrap»* será amplamente discutida mais adiante, é essencial que, assim que se descobre que determinado modelo ou teoria funciona, se pergunte sempre: por que funciona? Quais são os limites do modelo? De que modo, exatamente, constitui uma aproximação?

Chew considera essas perguntas o primeiro passo para novos progressos.

Também os místicos orientais têm plena consciência de que todas as descrições verbais da realidade são imprecisas e incompletas.

A experiência direta da realidade transcende o domínio do pensamento e da linguagem e, uma vez que todo o misticismo se baseia nessa experiência direta, tudo aquilo que sobre ela se diga só pode ser parcialmente verdadeiro.

Na física, a natureza aproximada de todas as afirmações é quantificada e o progresso faz-se através do aperfeiçoamento das aproximações ao longo de muitas etapas sucessivas.

Como lidam, então, as tradições orientais com o problema da comunicação verbal?

Antes de mais, os místicos interessam-se principalmente pela experiência da realidade e não pela descrição dessa experiência.

Por conseguinte, em geral, não se interessam pela análise de uma descrição desse género, e o conceito de uma aproximação bem definida nunca chegou, por isso, a surgir no pensamento oriental.

Quando, por outro lado, os místicos orientais pretendem comunicar a sua experiência, confrontam-se com as limitações da linguagem.

No Oriente desenvolveram-se várias maneiras distintas de lidar com esse problema.

O misticismo indiano, e o Hinduísmo em particular, reveste as suas afirmações sob a forma de mitos, recorrendo a metáforas e símbolos, imagens poéticas, comparações e alegorias.

A linguagem mítica encontra-se muito menos limitada pela lógica e pelo senso comum. Está repleta de magia e de situações paradoxais, é rica em imagens sugestivas e nunca é precisa, podendo, assim, transmitir muito melhor do que a linguagem factual a forma como os místicos experienciam a realidade.

Segundo Ananda Coomaraswamy:

> **O mito incorpora a aproximação mais próxima da verdade absoluta que pode ser expressa por palavras.**[17]

A fértil imaginação indiana criou um vasto número de deuses e deusas, cujas encarnações e feitos constituem o tema de narrativas fantásticas reunidas em épicos de enormes dimensões.

O hindu dotado de uma compreensão profunda sabe que todos esses deuses são criações da mente, imagens míticas que representam as muitas faces da realidade.

Por outro lado, sabe também que não foram simplesmente criados para tornar as histórias mais atraentes, mas constituem veículos essenciais para transmitir as doutrinas de uma filosofia enraizada na experiência mística.

Os místicos chineses e japoneses encontraram uma maneira diferente de lidar com o problema da linguagem.

Em vez de tornarem a natureza paradoxal da realidade mais assimilável através dos símbolos e imagens do mito, preferem frequentemente acentuá-la recorrendo à linguagem factual.

Assim, os taoistas fizeram uso frequente de paradoxos para expor as inconsistências resultantes da comunicação verbal e demonstrar os seus limites.

Transmitiram esta técnica aos budistas chineses e japoneses, que a desenvolveram ainda mais.

Ela atingiu o seu extremo no Budismo Zen através dos chamados *koans*, enigmas aparentemente absurdos utilizados por muitos mestres Zen para transmitir os ensinamentos.

Esses koans estabelecem um importante paralelo com a física moderna, que será retomado no capítulo seguinte.

No Japão existe ainda outro modo de expressar conceções filosóficas que merece ser referido.

Trata-se de uma forma especial de poesia extremamente concisa, frequentemente utilizada pelos mestres Zen para apontar diretamente para a *«talidade»* da realidade.

Quando um monge perguntou a Fuketsu Ensho:

> **Quando tanto a fala como o silêncio são inadmissíveis, como se pode passar sem errar?, o mestre respondeu:**

Recordo sempre Kiangsu em março —
O canto da perdiz,
A profusão de flores perfumadas.[18]

Esta forma de poesia espiritual atingiu a perfeição no *haiku*, um verso clássico japonês de apenas dezassete sílabas, profundamente influenciado pelo Zen.

A perceção da própria natureza da Vida alcançada por estes poetas de haiku transmite-se até numa tradução inglesa:

> Folhas que caem
> Pousam umas sobre as outras;
> A chuva bate na chuva.[19]

Sempre que os místicos orientais expressam o seu conhecimento através de palavras — seja com a ajuda de mitos, símbolos, imagens poéticas ou afirmações paradoxais — têm plena consciência das limitações impostas pela linguagem e pelo pensamento *«linear»*.

A física moderna chegou exatamente à mesma atitude em relação aos seus modelos e teorias verbais.

Também eles são apenas aproximados e necessariamente imprecisos.

Constituem os equivalentes dos mitos, símbolos e imagens poéticas orientais, e é neste nível que estabelecerei os paralelos.

A mesma ideia acerca da matéria é transmitida, por exemplo, ao hindu através da dança cósmica do deus Shiva e ao físico através de determinados aspetos da teoria quântica de campos.

Tanto o deus dançante como a teoria física são criações da mente: modelos destinados a descrever a intuição que os seus autores possuem da realidade.

CAPÍTULO 3

Para Além da Linguagem

A contradição, tão desconcertante para a maneira habitual de pensar, resulta do facto de termos de utilizar a linguagem para comunicar a nossa experiência interior, que, pela sua própria natureza, transcende a linguagem.

D. T. Suzuki

Os problemas da linguagem são aqui verdadeiramente sérios. Queremos falar, de alguma forma, acerca da estrutura dos átomos... Mas não podemos falar dos átomos em linguagem comum.

W. Heisenberg

A noção de que todos os modelos e teorias científicos são aproximados e de que as suas interpretações verbais sofrem sempre da imprecisão da nossa linguagem já era geralmente aceite pelos cientistas no início deste século, quando ocorreu um desenvolvimento novo e completamente inesperado.

O estudo do mundo dos átomos obrigou os físicos a reconhecer que a nossa linguagem comum não é apenas imprecisa, mas inteiramente inadequada para descrever a realidade atómica e subatómica. A teoria quântica e a teoria da relatividade, os dois pilares da física moderna, tornaram claro que essa realidade transcende a lógica clássica e que não podemos falar dela em linguagem comum.

Assim escreve Heisenberg:

> **O problema mais difícil... relacionado com o uso da linguagem surge na teoria quântica. Aqui não dispomos, inicialmente, de qualquer orientação simples que permita correlacionar os símbolos matemáticos com os conceitos da linguagem comum; e a única coisa que sabemos desde o princípio é que os nossos conceitos comuns não podem ser aplicados à estrutura dos átomos.**[1]

Do ponto de vista filosófico, este foi certamente um dos desenvolvimentos mais interessantes da física moderna, e é aqui que se encontra uma das raízes da sua relação com a filosofia oriental.

Nas escolas da filosofia ocidental, a lógica e o raciocínio foram sempre os principais instrumentos utilizados para formular ideias filosóficas e, segundo Bertrand Russell, isto é válido até para as filosofias religiosas.

No misticismo oriental, por outro lado, sempre se reconheceu que a realidade transcende a linguagem comum, e os sábios do Oriente nunca recearam ir para além da lógica e dos conceitos

habituais. Esta é, creio eu, a principal razão pela qual os seus modelos da realidade constituem um enquadramento filosófico mais adequado para a física moderna do que os modelos da filosofia ocidental.

O problema da linguagem encontrado pelo místico oriental é exatamente o mesmo que enfrenta o físico moderno.

Nas duas passagens citadas no início deste capítulo, D. T. Suzuki fala acerca do Budismo[2] e Werner Heisenberg acerca da física atómica[3], e, contudo, as duas passagens são quase idênticas.

Tanto o físico como o místico pretendem comunicar o seu conhecimento e, quando o fazem através de palavras, as suas afirmações tornam-se paradoxais e repletas de contradições lógicas.

Estes paradoxos são característicos de todo o misticismo, de Heraclito a Don Juan, e, desde o início deste século, tornaram-se também característicos da física.

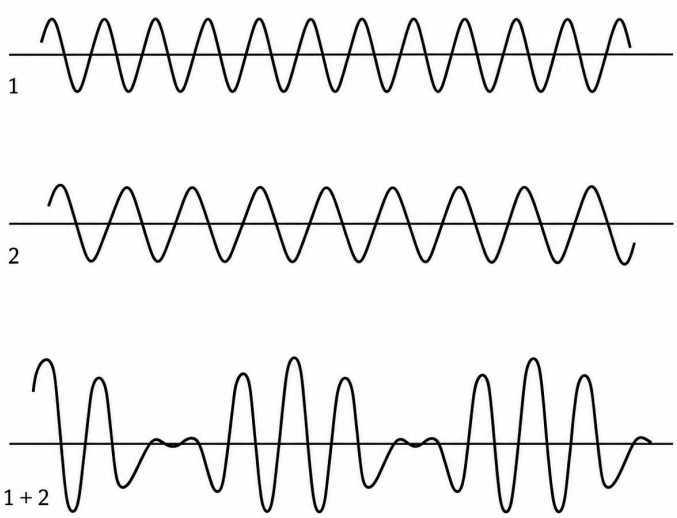
Na física atómica, muitas das situações paradoxais estão relacionadas com a natureza dual da luz ou — de forma mais geral — da radiação eletromagnética.

Por um lado, é evidente que esta radiação deve ser constituída por ondas, uma vez que produz os conhecidos fenómenos de interferência associados às ondas.

Quando existem duas fontes de luz, a intensidade luminosa encontrada noutro ponto não será necessariamente apenas a soma da luz proveniente das duas fontes; poderá ser maior ou menor.

Isto pode ser facilmente explicado pela interferência das ondas emitidas pelas duas fontes: nos locais onde coincidem duas cristas, teremos mais luz do que a soma das duas; onde coincide uma crista com um vale, teremos menos.

A quantidade exata de interferência pode ser facilmente calculada.



interferência de duas ondas

Fenómenos de interferência deste género podem ser observados sempre que lidamos com radiação eletromagnética e obrigam-nos a concluir que essa radiação é constituída por ondas.

Por outro lado, a radiação eletromagnética produz também o chamado efeito fotoelétrico: quando se faz incidir luz ultravioleta sobre a superfície de determinados metais, esta pode «expulsar» eletrões da superfície do metal e, portanto, deve ser constituída por partículas em movimento.

Uma situação semelhante ocorre nas experiências de *«dispersão»* de raios X. Estas experiências só podem ser corretamente interpretadas se forem descritas como colisões entre *«partículas de luz»* e eletrões.

E, contudo, revelam os padrões de interferência característicos das ondas.

A questão que tanto desconcertou os físicos nas primeiras fases da teoria atómica era saber como podia a radiação eletromagnética ser simultaneamente constituída por partículas — isto é, entidades confinadas a um volume muito pequeno — e por ondas, que se distribuem por uma vasta região do espaço.

Nem a linguagem nem a imaginação conseguiam lidar adequadamente com este tipo de realidade.

O misticismo oriental desenvolveu várias formas diferentes de lidar com os aspetos paradoxais da realidade.

Enquanto no Hinduísmo estes são contornados através do uso da linguagem mítica, o Budismo e o Taoismo tendem a enfatizar os paradoxos, em vez de os ocultarem.

A principal escritura taoista, o *Tao Te Ching*, de Lao-Tsé, está escrita num estilo extremamente desconcertante e aparentemente ilógico. Está repleta de contradições intrigantes, e a sua linguagem compacta, poderosa e intensamente poética destina-se a deter a mente do leitor e a desviá-la dos seus caminhos habituais de raciocínio lógico.

Os budistas chineses e japoneses adotaram esta técnica taoista de comunicar a experiência mística expondo simplesmente o seu caráter paradoxal.

Quando o mestre Zen Daito se encontrou com o imperador Godaigo, que era estudante de Zen, disse-lhe:

> **Separámo-nos há muitos milhares de kalpas e, contudo, nem por um momento estivemos separados. Estamos frente a frente durante todo o dia e, contudo, nunca nos encontrámos.**[4]

Os budistas Zen possuem uma aptidão particular para transformar em virtude as inconsistências que surgem da comunicação verbal e, através do sistema dos *koans*, desenvolveram uma forma única de transmitir os seus ensinamentos de modo inteiramente não verbal.

Os koans são enigmas aparentemente absurdos, cuidadosamente concebidos para fazer o estudante de Zen reconhecer, da maneira mais dramática possível, as limitações da lógica e do raciocínio.

A formulação irracional e o conteúdo paradoxal destes enigmas tornam impossível resolvê-los através do pensamento.

Foram concebidos precisamente para interromper o processo de pensamento e, desse modo, preparar o estudante para a experiência não verbal da realidade.

O mestre Zen contemporâneo Yasutani apresentou a um estudante ocidental um dos mais célebres koans com as seguintes palavras:

> Um dos melhores koans, por ser o mais simples, é *Mu*. Eis o seu contexto: há centenas de anos, um monge dirigiu-se a Joshu, um famoso mestre Zen da China, e perguntou: «Um cão possui natureza de Buda ou não?» Joshu respondeu bruscamente: «Mu!» Literalmente, a expressão significa «não», mas o significado da resposta de Joshu não reside nisso. *Mu* é a expressão da natureza de Buda viva, ativa e dinâmica. O que tem de fazer é descobrir o espírito ou a essência deste *Mu*, não através de análise intelectual, mas investigando o mais profundo do seu próprio ser. Depois terá de me demonstrar, de forma concreta e viva, que compreende *Mu* como verdade viva, sem recorrer a conceitos, teorias ou explicações abstratas. Lembre-se: não pode compreender *Mu* através da cognição comum; tem de o apreender diretamente com todo o seu ser.[5]

A um principiante, o mestre Zen apresentará normalmente este koan de *Mu* ou um dos dois seguintes:

> **Qual era o seu rosto original — aquele que possuía antes de os seus pais lhe darem nascimento?**
>
> **Pode produzir o som de duas mãos a bater palmas. Agora, qual é o som de uma só mão?**

Todos estes koans possuem soluções mais ou menos únicas, que um mestre competente reconhece imediatamente.

Uma vez encontrada a solução, o koan deixa de ser paradoxal e transforma-se numa afirmação de profundo significado, feita a partir do estado de consciência que ele próprio ajudou a despertar.

Na escola Rinzai, o estudante tem de resolver uma longa série de koans, cada um relacionado com um aspeto particular do Zen.

É esta a única forma através da qual esta escola transmite os seus ensinamentos. Não utiliza afirmações positivas, deixando inteiramente ao estudante a tarefa de apreender a verdade através dos koans.

Encontramos aqui um paralelo impressionante com as situações paradoxais que confrontaram os físicos no início da física atómica.

Tal como no Zen, a verdade encontrava-se escondida em paradoxos que não podiam ser resolvidos através do raciocínio

lógico, mas tinham de ser compreendidos nos termos de uma nova consciência: a consciência da realidade atómica.

Aqui, o mestre era, evidentemente, a própria natureza que, tal como os mestres Zen, não oferece afirmações. Limita-se a apresentar os enigmas.

Resolver um koan exige do estudante um esforço supremo de concentração e envolvimento.

Nos livros sobre Zen, lemos que o koan se apodera do coração e da mente do estudante, criando um verdadeiro impasse mental, um estado de tensão contínua em que o mundo inteiro se transforma numa enorme massa de dúvida e interrogação.

Os fundadores da teoria quântica experienciaram exatamente a mesma situação, aqui descrita de forma particularmente vívida por Heisenberg:

> **Recordo-me de discussões com Bohr que se prolongavam durante muitas horas, até muito tarde, e terminavam quase em desespero; e, quando, no final da discussão, ia sozinho passear pelo parque próximo, repetia para mim próprio, uma e outra vez, a pergunta: poderá a natureza ser realmente tão absurda como nos parecia nestas experiências atómicas?**[6]

Sempre que a natureza essencial das coisas é analisada pelo intelecto, tem necessariamente de parecer absurda ou paradoxal.

Isto foi sempre reconhecido pelos místicos, mas só muito recentemente se tornou um problema para a ciência.

Durante séculos, os cientistas procuraram as *«leis fundamentais da natureza»* subjacentes à enorme variedade dos fenómenos naturais.

Esses fenómenos pertenciam ao ambiente macroscópico dos cientistas e, consequentemente, ao domínio da sua experiência sensorial.

Uma vez que as imagens e os conceitos intelectuais da sua linguagem tinham sido abstraídos dessa mesma experiência, eram suficientes e adequados para descrever os fenómenos naturais.

Na física clássica, as questões acerca da natureza essencial das coisas eram respondidas pelo modelo mecanicista newtoniano do universo que, de forma muito semelhante ao modelo de Demócrito na Grécia antiga, reduzia todos os fenómenos aos movimentos e interações de átomos sólidos e indestrutíveis.

As propriedades desses átomos tinham sido abstraídas da noção macroscópica de bolas de bilhar e, portanto, da experiência sensorial.

Nunca se questionou se esta noção podia realmente ser aplicada ao mundo dos átomos. Na verdade, essa questão nem sequer podia ser investigada experimentalmente.

No século XX, contudo, os físicos tornaram-se capazes de abordar experimentalmente a questão da natureza última da matéria.

Com a ajuda de uma tecnologia extremamente sofisticada, conseguiram penetrar cada vez mais profundamente na natureza, revelando sucessivamente as várias camadas da matéria na procura dos seus *«blocos fundamentais de construção»*.

Primeiro confirmou-se a existência dos átomos; depois foram descobertos os seus constituintes — os núcleos e os eletrões — e, finalmente, os componentes do núcleo — os protões e os neutrões —, bem como muitas outras partículas subatómicas.

Os delicados e complexos instrumentos da física experimental moderna penetram profundamente no mundo submicroscópico, em domínios da natureza muito afastados do nosso ambiente macroscópico, tornando esse mundo acessível aos nossos sentidos.

Contudo, só conseguem fazê-lo através de uma cadeia de processos que termina, por exemplo, no clique audível de um contador Geiger ou numa mancha escura numa chapa fotográfica.

Aquilo que vemos ou ouvimos nunca são os próprios fenómenos investigados, mas sempre as suas consequências.

O próprio mundo atómico e subatómico situa-se para além da nossa perceção sensorial.

É, portanto, com o auxílio da instrumentação moderna que conseguimos *«observar»* indiretamente as propriedades dos átomos e dos seus constituintes e, desse modo, *«experienciar»*, até certo ponto, o mundo subatómico.

Essa experiência, contudo, não é uma experiência comum comparável à que temos do nosso ambiente quotidiano.

O conhecimento da matéria a este nível já não deriva da experiência sensorial direta e, por isso, a nossa linguagem comum, que retira as suas imagens do mundo dos sentidos, deixou de ser adequada para descrever os fenómenos observados.

À medida que penetramos cada vez mais profundamente na natureza, somos obrigados a abandonar progressivamente as imagens e os conceitos da linguagem comum.

Nesta viagem ao mundo do infinitamente pequeno, o passo mais importante, do ponto de vista filosófico, foi o primeiro: a entrada no mundo dos átomos.

Ao penetrar no interior do átomo e investigar a sua estrutura, a ciência transcendeu os limites da nossa imaginação sensorial.

A partir desse momento, deixou de poder apoiar-se com absoluta segurança na lógica e no senso comum.

A física atómica proporcionou aos cientistas os primeiros vislumbres da natureza essencial das coisas.

Tal como os místicos, os físicos passaram então a lidar com uma experiência não sensorial da realidade e, tal como os místicos, tiveram de enfrentar os aspetos paradoxais dessa experiência.

A partir daí, portanto, os modelos e as imagens da física moderna tornaram-se semelhantes aos da filosofia oriental.

CAPÍTULO 4

A Nova Física

Segundo os místicos orientais, a experiência mística direta da realidade é um acontecimento de enorme importância, capaz de abalar os próprios alicerces da nossa visão do mundo. D. T. Suzuki chamou-lhe «o acontecimento mais surpreendente que alguma vez poderia ocorrer no domínio da consciência humana... perturbando todas as formas de experiência padronizada»[1] e ilustrou o caráter desconcertante dessa experiência com as palavras de um mestre Zen, que a descreveu como *«o fundo de um balde a romper-se»*.

No início deste século, os físicos sentiram algo muito semelhante quando os fundamentos da sua visão do mundo foram abalados pela nova experiência da realidade atómica, e descreveram essa experiência em termos muitas vezes extraordinariamente semelhantes aos utilizados pelo mestre Zen de Suzuki.

Assim escreveu Heisenberg:

> **A reação violenta ao desenvolvimento recente da física moderna só pode ser compreendida quando se percebe que, aqui, os próprios fundamentos da física começaram a mover-se; e que esse movimento provocou a sensação de que o chão estava a desaparecer debaixo dos pés da ciência.**[2]

Einstein experienciou o mesmo choque quando entrou pela primeira vez em contato com a nova realidade da física atómica. Escreveu na sua autobiografia:

> **Todas as minhas tentativas para adaptar os fundamentos teóricos da física a este (novo tipo de) conhecimento fracassaram completamente. Era como se o chão tivesse sido retirado debaixo dos nossos pés, sem que se visse em parte alguma qualquer base firme sobre a qual fosse possível construir.**[3]

As descobertas da física moderna tornaram necessárias profundas alterações em conceitos como espaço, tempo, matéria, objeto, causa e efeito, etc., e, uma vez que estes conceitos são tão fundamentais para a nossa forma de experienciar o mundo, não surpreende que os físicos obrigados a modificá-los tenham sentido uma espécie de choque.

Dessas mudanças emergiu uma visão do mundo nova e radicalmente diferente, ainda em processo de formação através da investigação científica atual.

Parece, então, que os místicos orientais e os físicos ocidentais passaram por experiências revolucionárias semelhantes, que os conduziram a formas completamente novas de ver o mundo.

Nas duas passagens seguintes, o físico europeu Niels Bohr e o místico indiano Sri Aurobindo exprimem ambos a profundidade e o caráter radical dessa experiência.

> **A enorme ampliação da nossa experiência nos últimos anos trouxe à luz a insuficiência das nossas conceções mecânicas simples e, consequentemente, abalou os fundamentos sobre os quais assentava a interpretação habitual da observação.**[4]

Niels Bohr

> **Todas as coisas começam, de facto, a mudar de natureza e de aparência; toda a nossa experiência do mundo se torna radicalmente diferente... Surge uma nova forma, vasta e profunda, de experienciar, ver, conhecer e entrar em contato com as coisas.**[5]

Sri Aurobindo

Este capítulo servirá para traçar uma imagem preliminar desta nova conceção do mundo, tendo como pano de fundo contrastante a física clássica*; mostrando de que modo a visão mecanicista clássica do mundo teve de ser abandonada no início deste século, quando a teoria quântica e a teoria da relatividade — as duas teorias fundamentais da física moderna — nos obrigaram a adotar uma visão da natureza muito mais subtil, holística e «*orgânica*».

* O leitor que considere esta apresentação preliminar da física moderna demasiado condensada e difícil de compreender não deverá preocupar-se excessivamente. Todos os conceitos mencionados neste capítulo serão discutidos mais detalhadamente adiante.

1. Física Clássica

A visão do mundo transformada pelas descobertas da física moderna tinha por base o modelo mecânico do universo de Newton.

Esse modelo constituía a estrutura sólida da física clássica. Era, de facto, um fundamento extraordinariamente poderoso, sustentando, como uma enorme rocha, toda a ciência e proporcionando uma base firme à filosofia natural durante quase três séculos.

O palco do universo newtoniano, no qual decorriam todos os fenómenos físicos, era o espaço tridimensional da geometria euclidiana clássica.

Tratava-se de um espaço absoluto, sempre imóvel e imutável.

Nas palavras do próprio Newton:

> **O espaço absoluto, pela sua própria natureza, sem relação com qualquer coisa exterior, permanece sempre semelhante e imóvel.**[6]

Todas as mudanças no mundo físico eram descritas em termos de uma dimensão separada, chamada tempo, que era igualmente absoluta, não possuindo qualquer ligação com o mundo material e fluindo uniformemente do passado, através do presente, em direção ao futuro.

> **O tempo absoluto, verdadeiro e matemático,**

afirmou Newton,

> **por si próprio e pela sua própria natureza, flui uniformemente, sem relação com qualquer coisa exterior.**[7]

Os elementos do mundo newtoniano que se moviam nesse espaço absoluto e nesse tempo absoluto eram partículas materiais.

Nas equações matemáticas, eram tratadas como *«pontos materiais»*, e Newton concebia-as como objetos pequenos, sólidos e indestrutíveis, dos quais toda a matéria era constituída.

Este modelo era bastante semelhante ao dos atomistas gregos.

Ambos assentavam na distinção entre o cheio e o vazio, entre matéria e espaço, e em ambos os modelos as partículas permaneciam sempre idênticas quanto à massa e à forma.

A matéria era, portanto, sempre conservada e essencialmente passiva.

A diferença importante entre o atomismo de Demócrito e o de Newton reside no facto de este último incluir uma descrição precisa da força que atua entre as partículas materiais.

Essa força é muito simples, dependendo apenas das massas e das distâncias mútuas entre as partículas.

É a força da gravidade, que Newton considerava rigidamente ligada aos corpos sobre os quais atuava e capaz de agir instantaneamente à distância.

Embora se tratasse de uma hipótese estranha, não foi investigada em maior profundidade.

As partículas e as forças existentes entre elas eram consideradas criações de Deus e, portanto, não estavam sujeitas a qualquer análise posterior.

Na sua obra *Opticks*, Newton oferece-nos uma imagem clara de como imaginava a criação divina do mundo material:

> **Parece-me provável que Deus, no princípio, tenha formado a matéria em partículas sólidas, maciças, duras, impenetráveis e móveis, com dimensões e formas, e com outras propriedades, e numa proporção relativamente ao espaço, que melhor servissem o fim para o qual as criou; e que essas partículas primitivas, sendo sólidas, sejam incomparavelmente mais duras do que quaisquer corpos porosos compostos por elas; tão duras, de facto, que nunca se desgastem nem se quebrem em pedaços; não havendo qualquer poder comum capaz de dividir aquilo que o próprio Deus tornou uno na primeira criação.**[8]

Na mecânica newtoniana, todos os acontecimentos físicos são reduzidos ao movimento de pontos materiais no espaço, provocado pela atração mútua entre eles, isto é, pela força da gravidade.

Para exprimir com precisão matemática o efeito dessa força sobre um ponto material, Newton teve de inventar conceitos e técnicas matemáticas inteiramente novos: os do cálculo diferencial.

Foi uma extraordinária realização intelectual, elogiada por Einstein como *«talvez o maior avanço no pensamento que alguma vez foi concedido a um único indivíduo realizar»*.

As equações de movimento de Newton constituem a base da mecânica clássica.

Eram consideradas leis fixas segundo as quais os pontos materiais se moviam e, assim, julgava-se que explicavam todas as mudanças observadas no mundo físico.

Na perspetiva newtoniana, Deus tinha criado, no princípio, as partículas materiais, as forças entre elas e as leis fundamentais do movimento.

Desse modo, todo o universo foi posto em movimento e, desde então, continuou a funcionar como uma máquina governada por leis imutáveis.

A visão mecanicista da natureza está, assim, intimamente ligada a um determinismo rigoroso.

A gigantesca máquina cósmica era concebida como inteiramente causal e determinada.

Tudo aquilo que acontecia possuía uma causa definida e produzia um efeito definido, e o futuro de qualquer parte do sistema poderia — em princípio — ser previsto com absoluta certeza, desde que o seu estado em determinado momento fosse conhecido em todos os seus pormenores.

Esta convicção encontrou a sua expressão mais clara nas célebres palavras do matemático francês Pierre Simon Laplace:

> **Um intelecto que, num determinado instante, conhecesse todas as forças atuantes na natureza e a posição de todas as coisas de que o mundo é constituído — supondo que esse intelecto fosse suficientemente vasto para submeter esses dados à análise — abrangeria, na mesma fórmula, os movimentos dos maiores corpos do universo e os dos mais ínfimos átomos; nada lhe seria incerto, e o futuro, tal como o passado, estaria presente diante dos seus olhos.**[9]

A base filosófica deste determinismo rigoroso era a divisão fundamental entre o Eu e o mundo introduzida por Descartes.

Como consequência dessa divisão, acreditava-se que o mundo podia ser descrito objetivamente, isto é, sem qualquer referência ao observador humano, e uma descrição objetiva da natureza tornou-se, assim, o ideal de toda a ciência.

Os séculos XVIII e XIX testemunharam o enorme sucesso da mecânica newtoniana.

O próprio Newton aplicou a sua teoria ao movimento dos planetas e conseguiu explicar as características fundamentais do sistema solar.

O seu modelo planetário era, contudo, bastante simplificado, negligenciando, por exemplo, a influência gravitacional que os planetas exercem uns sobre os outros, e Newton descobriu, por isso, determinadas irregularidades que não conseguia explicar.

Resolveu esse problema pressupondo que Deus estava permanentemente presente no universo para corrigir essas irregularidades.

Laplace, o grande matemático, propôs-se a ambiciosa tarefa de aperfeiçoar e refinar os cálculos de Newton numa obra que deveria *«oferecer uma solução completa para o grande problema mecânico apresentado pelo sistema solar e fazer com que a teoria coincidisse tão estreitamente com a observação que as equações empíricas deixassem de ter lugar nas tabelas astronómicas».*[10]

O resultado foi uma extensa obra em cinco volumes, intitulada *Mécanique Céleste — Mecânica Celeste —*, na qual Laplace conseguiu explicar os movimentos dos planetas, luas e cometas até aos mais pequenos detalhes, bem como o fluxo das marés e outros fenómenos relacionados com a gravidade.

Demonstrou que as leis newtonianas do movimento asseguravam a estabilidade do sistema solar e tratou o universo como uma máquina perfeitamente autorreguladora.

Conta-se que, quando Laplace apresentou a primeira edição da sua obra a Napoleão, este comentou:

> **Monsieur Laplace, dizem-me que escreveu este enorme livro sobre o sistema do universo e que nunca sequer mencionou o seu Criador.**

Ao que Laplace respondeu secamente:

> **Não tive necessidade dessa hipótese.**

Encorajados pelo extraordinário êxito da mecânica newtoniana na astronomia, os físicos estenderam-na ao movimento contínuo dos fluidos e às vibrações dos corpos elásticos, e voltou a funcionar.

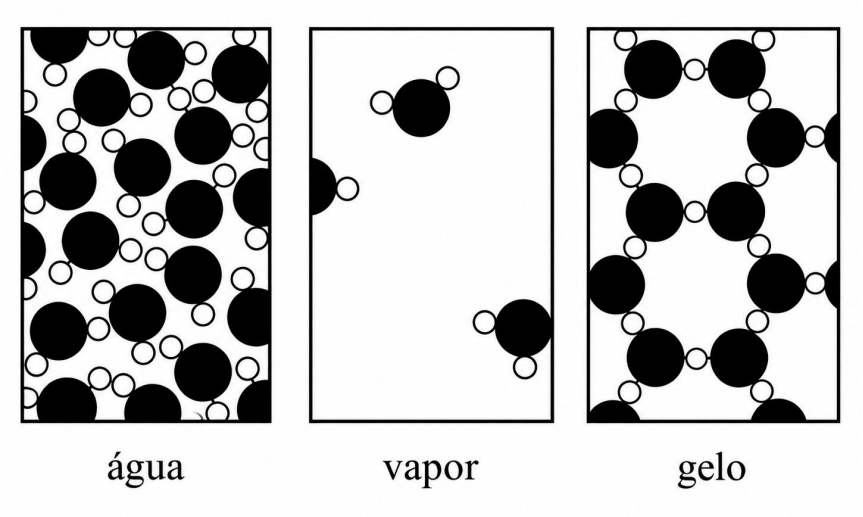
Por fim, até a teoria do calor pôde ser reduzida à mecânica quando se compreendeu que o calor era a energia criada pelo complexo movimento de *«agitação»* das moléculas.

Quando se aumenta, por exemplo, a temperatura da água, o movimento das moléculas da água intensifica-se até estas vencerem as forças que as mantêm unidas e se separarem.

Desse modo, a água transforma-se em vapor.

Por outro lado, quando o movimento térmico é abrandado através do arrefecimento da água, as moléculas acabam por se fixar num novo padrão, mais rígido, que constitui o gelo.

De forma semelhante, muitos outros fenómenos térmicos podem ser bastante bem compreendidos a partir de um ponto de vista puramente mecanicista.



O enorme êxito do modelo mecanicista levou os físicos do início do século XIX a acreditar que o universo era, de facto, um gigantesco sistema mecânico que funcionava segundo as leis newtonianas do movimento.

Essas leis eram consideradas as leis fundamentais da natureza, e a mecânica de Newton era entendida como a teoria definitiva dos fenómenos naturais.

E, contudo, menos de cem anos depois foi descoberta uma nova realidade física que tornou evidentes as limitações do modelo

newtoniano e mostrou que nenhuma das suas características possuía validade absoluta.

Esta perceção não surgiu abruptamente, mas foi iniciada por desenvolvimentos que já tinham começado no século XIX e que prepararam o caminho para as revoluções científicas do nosso tempo.

O primeiro desses desenvolvimentos foi a descoberta e investigação dos fenómenos elétricos e magnéticos, que não podiam ser adequadamente descritos pelo modelo mecanicista e envolviam um novo tipo de força.

O passo decisivo foi dado por Michael Faraday e Clerk Maxwell — o primeiro, um dos maiores experimentalistas da história da ciência; o segundo, um brilhante teórico.

Quando Faraday produziu uma corrente elétrica numa bobina de cobre movendo um íman junto dela e, assim, converteu o trabalho mecânico de mover o íman em energia elétrica, conduziu a ciência e a tecnologia a um ponto de viragem.

A sua experiência fundamental deu origem, por um lado, à vasta tecnologia da engenharia elétrica e, por outro, constituiu a base das especulações teóricas suas e de Maxwell, que acabariam por resultar numa teoria completa do eletromagnetismo.

Faraday e Maxwell não estudaram apenas os efeitos das forças elétricas e magnéticas; fizeram das próprias forças o objeto principal da sua investigação.

Substituíram o conceito de força pelo de campo de forças e, ao fazê-lo, foram os primeiros a ultrapassar a física newtoniana.

Em vez de interpretar a interação entre uma carga positiva e uma carga negativa dizendo simplesmente que as duas cargas se atraem, tal como duas massas na mecânica newtoniana, Faraday e Maxwell consideraram mais adequado dizer que cada carga cria uma *«perturbação»*, ou uma *«condição»*, no espaço que a rodeia, de modo que a outra carga, quando ali se encontra, sente uma força.

Essa condição do espaço, que possui o potencial de produzir uma força, chama-se campo.

É criada por uma única carga e existe independentemente de ser ou não introduzida outra carga para sentir o seu efeito.

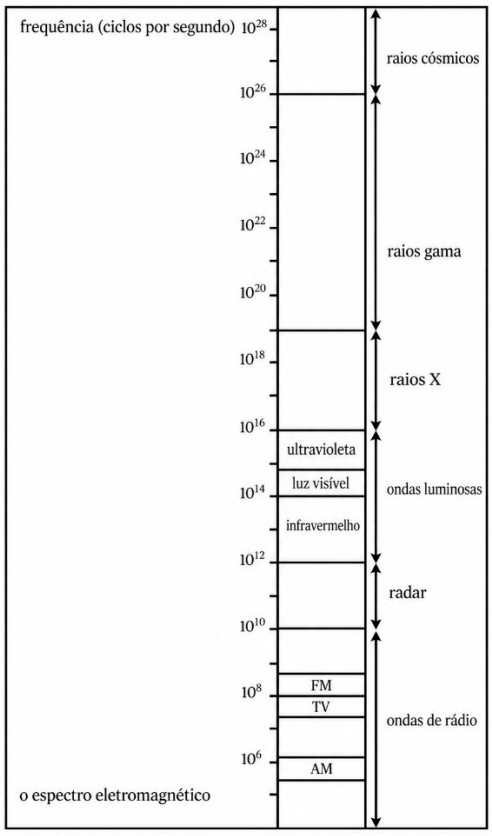
Esta foi uma transformação profundíssima na nossa conceção da realidade física.

Na perspetiva newtoniana, as forças estavam rigidamente ligadas aos corpos sobre os quais atuavam.

Agora, o conceito de força era substituído pelo conceito muito mais subtil de campo, que possuía realidade própria e podia ser estudado sem qualquer referência a corpos materiais.

O ponto culminante desta teoria, chamada eletrodinâmica, foi a compreensão de que a luz não é mais do que um campo eletromagnético em rápida alternância que se propaga através do espaço sob a forma de ondas.

Hoje sabemos que as ondas de rádio, as ondas luminosas ou os raios X são todos ondas eletromagnéticas — campos elétricos e magnéticos oscilantes que diferem apenas na frequência da sua oscilação — e que a luz visível constitui apenas uma minúscula fração do espetro eletromagnético.



o espectro eletromagnético

Apesar destas transformações de grande alcance, a mecânica newtoniana manteve inicialmente a sua posição enquanto base de toda a física.

O próprio Maxwell procurou explicar os seus resultados em termos mecânicos, interpretando os campos como estados de tensão mecânica num meio extremamente leve que preencheria todo o espaço, chamado éter, e as ondas eletromagnéticas como ondas elásticas desse éter.

Era perfeitamente natural, uma vez que normalmente experienciamos as ondas como vibrações de alguma coisa: as ondas da água como vibrações da água, as ondas sonoras como vibrações do ar.

Maxwell, contudo, utilizou simultaneamente várias interpretações mecânicas da sua teoria e aparentemente não levou nenhuma delas verdadeiramente a sério.

Deve ter reconhecido intuitivamente, ainda que não o tenha afirmado explicitamente, que as entidades fundamentais da sua teoria eram os campos e não os modelos mecânicos.

Foi Einstein quem reconheceu claramente este facto cinquenta anos depois, ao declarar que o éter não existia e que os campos eletromagnéticos eram entidades físicas por direito próprio, capazes de se propagar através do espaço vazio e que não podiam ser explicadas mecanicamente.

No início do século XX, portanto, os físicos dispunham de duas teorias bem-sucedidas aplicáveis a fenómenos diferentes: a mecânica de Newton e a eletrodinâmica de Maxwell.

Assim, o modelo newtoniano tinha deixado de constituir a base de toda a física.

2. Física Moderna

As três primeiras décadas do nosso século alteraram radicalmente toda a situação da física.

Dois desenvolvimentos distintos — a teoria da relatividade e a física atómica — destruíram todos os principais conceitos da visão newtoniana do mundo: a noção de espaço e tempo absolutos, as partículas elementares sólidas, a natureza estritamente causal dos fenómenos físicos e o ideal de uma descrição objetiva da natureza.

Nenhum destes conceitos podia ser estendido aos novos domínios em que a física estava agora a penetrar.

No início da física moderna encontra-se a extraordinária realização intelectual de um único homem: Albert Einstein.

Em dois artigos, ambos publicados em 1905, Einstein iniciou duas correntes revolucionárias de pensamento.

Uma foi a sua teoria da relatividade restrita; a outra, uma nova forma de encarar a radiação eletromagnética que viria a tornar-se característica da teoria quântica, a teoria dos fenómenos atómicos.

A teoria quântica completa foi desenvolvida vinte anos mais tarde por toda uma equipa de físicos.

A teoria da relatividade, pelo contrário, foi construída na sua forma praticamente completa quase inteiramente pelo próprio Einstein.

Os artigos científicos de Einstein erguem-se no início do século XX como imponentes monumentos intelectuais — as pirâmides da civilização moderna.

Einstein acreditava profundamente na harmonia intrínseca da natureza e, durante toda a sua vida científica, a sua preocupação mais profunda foi encontrar um fundamento unificado para a física.

Começou a avançar em direção a esse objetivo construindo um enquadramento comum para a eletrodinâmica e a mecânica, as duas teorias distintas da física clássica.

Esse enquadramento é conhecido como teoria da relatividade restrita.

Unificou e completou a estrutura da física clássica, mas, ao mesmo tempo, implicou alterações drásticas nos conceitos

tradicionais de espaço e tempo e minou um dos fundamentos da visão newtoniana do mundo.

Segundo a teoria da relatividade, o espaço não é tridimensional e o tempo não constitui uma entidade separada.

Ambos estão intimamente ligados e formam um contínuo quadridimensional, o *«espaço-tempo»*.

Na teoria da relatividade, portanto, nunca podemos falar de espaço sem falar de tempo, nem de tempo sem falar de espaço.

Além disso, não existe um fluxo universal do tempo, como acontecia no modelo newtoniano.

Observadores diferentes ordenarão os acontecimentos de forma diferente no tempo se se moverem com velocidades diferentes relativamente aos acontecimentos observados.

Nesse caso, dois acontecimentos considerados simultâneos por um observador poderão ocorrer em sequências temporais diferentes para outros observadores.

Todas as medições que envolvem espaço e tempo perdem, assim, o seu significado absoluto.

Na teoria da relatividade, abandona-se o conceito newtoniano de espaço absoluto enquanto palco dos fenómenos físicos, bem como o conceito de tempo absoluto.

Espaço e tempo tornam-se simplesmente elementos da linguagem utilizada por determinado observador para descrever os fenómenos observados.

Os conceitos de espaço e tempo são tão fundamentais para a descrição dos fenómenos naturais que a sua modificação implica uma transformação de todo o enquadramento utilizado para descrever a natureza.

A consequência mais importante desta transformação é a compreensão de que a massa não é mais do que uma forma de energia.

Mesmo um objeto em repouso possui energia armazenada na sua massa, e a relação entre ambas é dada pela célebre equação $E = mc^2$, sendo $\boldsymbol{c}$ a velocidade da luz.

Esta constante $\boldsymbol{c}$, a velocidade da luz, possui uma importância fundamental para a teoria da relatividade.

Sempre que descrevemos fenómenos físicos que envolvem velocidades próximas da velocidade da luz, a nossa descrição tem de ter em conta a teoria da relatividade.

Isto aplica-se, em particular, aos fenómenos eletromagnéticos, dos quais a luz constitui apenas um exemplo e que conduziram Einstein à formulação da sua teoria.

Em 1915, Einstein apresentou a sua teoria da relatividade geral, na qual o enquadramento da teoria restrita é alargado de modo a incluir a gravidade, isto é, a atração mútua entre todos os corpos dotados de massa.

Enquanto a teoria restrita foi confirmada por inúmeras experiências, a teoria geral ainda não tinha, à época, sido confirmada de forma conclusiva.

Contudo, é, até agora, a teoria da gravidade mais aceite, coerente e elegante, sendo amplamente utilizada na astrofísica e na cosmologia para descrever o universo em grande escala.

Segundo a teoria de Einstein, a força da gravidade tem o efeito de *«curvar»* o espaço e o tempo.

Isto significa que a geometria euclidiana comum deixa de ser válida num espaço curvo, tal como a geometria bidimensional de um plano não pode ser aplicada à superfície de uma esfera.

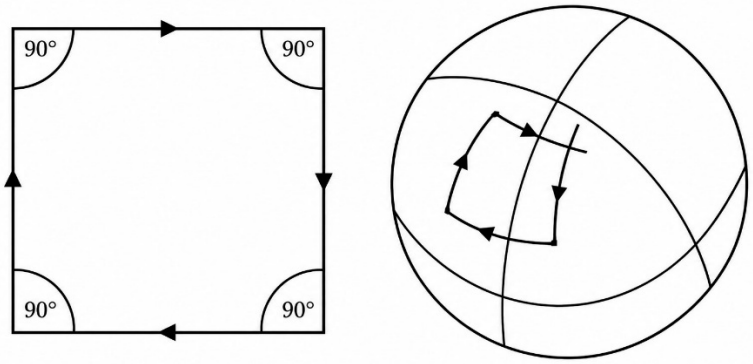
Num plano, podemos, por exemplo, desenhar um quadrado marcando um metro sobre uma linha reta, fazendo um ângulo reto e marcando mais um metro, fazendo depois outro ângulo reto e marcando outro metro e, finalmente, fazendo um terceiro ângulo

reto e marcando novamente um metro, regressando então ao ponto de partida e completando o quadrado.

Numa esfera, porém, este procedimento não funciona, porque as regras da geometria euclidiana não são válidas em superfícies curvas.

Da mesma forma, podemos definir um espaço tridimensional curvo como um espaço no qual a geometria euclidiana deixa de ser válida.

A teoria de Einstein afirma que o espaço tridimensional é, efetivamente, curvo e que essa curvatura é provocada pelo campo gravitacional dos corpos de grande massa.



desenhar um quadrado num plano e numa esfera

Sempre que existe um objeto de grande massa — por exemplo, uma estrela ou um planeta — o espaço à sua volta encontra-se curvado, e o grau dessa curvatura depende da massa do objeto.

E, uma vez que, na teoria da relatividade, o espaço nunca pode ser separado do tempo, também o tempo é afetado pela presença da matéria, fluindo a ritmos diferentes em diferentes regiões do universo.

A teoria da relatividade geral de Einstein elimina, assim, completamente os conceitos de espaço e tempo absolutos.

Não só todas as medições que envolvem espaço e tempo são relativas, como toda a estrutura do espaço-tempo depende da distribuição da matéria no universo, e o conceito de *«espaço vazio»* perde o seu significado.

A visão mecanicista do mundo da física clássica baseava-se na noção de corpos sólidos que se moviam no espaço vazio.

Esta noção continua válida na região a que se chamou *«zona das dimensões intermédias»*, isto é, no domínio da nossa experiência quotidiana, onde a física clássica continua a ser uma teoria útil.

Ambos os conceitos — o de espaço vazio e o de corpos materiais sólidos — estão profundamente enraizados nos nossos hábitos de pensamento, razão pela qual nos é extremamente difícil imaginar uma realidade física em que deixem de ser aplicáveis.

E, contudo, é precisamente isso que a física moderna nos obriga a fazer quando ultrapassamos as dimensões intermédias.

O *«espaço vazio»* perdeu o seu significado na astrofísica e na cosmologia, as ciências do universo em grande escala, enquanto o conceito de objetos sólidos foi destruído pela física atómica, a ciência do infinitamente pequeno.

Na viragem do século, foram descobertos diversos fenómenos relacionados com a estrutura dos átomos que não podiam ser explicados em termos da física clássica.

A primeira indicação de que os átomos possuíam alguma estrutura surgiu com a descoberta dos raios X, uma nova radiação que rapidamente encontrou a sua hoje bem conhecida aplicação na medicina.

Os raios X, contudo, não são a única radiação emitida pelos átomos.

Pouco depois da sua descoberta, foram descobertos outros tipos de radiação emitidos pelos átomos das chamadas substâncias radioativas.

O fenómeno da radioatividade forneceu uma prova definitiva da natureza composta dos átomos, mostrando que os átomos das substâncias radioativas não só emitem vários tipos de radiação, como também se transformam em átomos de substâncias completamente diferentes.

Para além de constituírem objetos de intenso estudo, estes fenómenos foram também utilizados, de formas extremamente engenhosas, como novas ferramentas para penetrar mais profundamente na matéria do que alguma vez fora possível.

Assim, Max von Laue utilizou raios X para estudar a disposição dos átomos nos cristais, enquanto Ernest Rutherford percebeu que as chamadas partículas alfa emitidas pelas substâncias radioativas eram projéteis de elevada velocidade e dimensão subatómica que podiam ser utilizados para explorar o interior do átomo.

Essas partículas podiam ser disparadas contra átomos e, observando a forma como eram desviadas, era possível retirar conclusões acerca da estrutura atómica.

Quando Rutherford bombardeou átomos com essas partículas alfa, obteve resultados sensacionais e inteiramente inesperados.

Longe de serem as partículas duras e sólidas em que se acreditava desde a Antiguidade, os átomos revelaram-se constituídos por vastas regiões de espaço nas quais partículas extremamente pequenas — os eletrões — se moviam em torno do núcleo, ligadas a ele por forças elétricas.

Não é fácil adquirir uma noção da ordem de grandeza dos átomos, tão afastada está da nossa escala macroscópica.

O diâmetro de um átomo é de aproximadamente um centésimo de milionésimo de centímetro.

Para visualizar esta dimensão diminuta, imagine uma laranja ampliada até atingir o tamanho da Terra.

Os átomos dessa laranja teriam então o tamanho de cerejas.

Miríades de cerejas, fortemente compactadas numa esfera do tamanho da Terra — eis uma imagem ampliada dos átomos existentes numa laranja.

Um átomo é, portanto, extremamente pequeno em comparação com objetos macroscópicos, mas é gigantesco em comparação com o núcleo situado no seu centro.

Na nossa imagem dos átomos do tamanho de cerejas, o núcleo de um átomo seria tão pequeno que não conseguiríamos vê-lo.

Mesmo que ampliássemos o átomo até ao tamanho de uma bola de futebol, ou mesmo de uma sala, o núcleo continuaria demasiado pequeno para ser visto a olho nu.

Para conseguirmos ver o núcleo, teríamos de ampliar o átomo até ao tamanho da maior cúpula do mundo, a cúpula da Basílica de São Pedro, em Roma.

Num átomo dessa dimensão, o núcleo teria o tamanho de um grão de sal.

Um grão de sal no centro da cúpula de São Pedro, com partículas de poeira a rodopiarem à sua volta no vasto espaço da cúpula — é assim que podemos imaginar o núcleo e os eletrões de um átomo.

Pouco depois do aparecimento deste modelo *«planetário»* do átomo, descobriu-se que o número de eletrões existentes nos átomos de um elemento determina as propriedades químicas desse elemento, e hoje sabemos que toda a tabela periódica dos elementos pode ser construída acrescentando sucessivamente protões e neutrões ao núcleo do átomo mais leve — o hidrogénio* — e o número correspondente de eletrões à sua *«camada»* atómica.

As interações entre os átomos dão origem aos diversos processos químicos, de modo que toda a química pode hoje, em princípio, ser compreendida com base nas leis da física atómica.

Essas leis, contudo, não foram fáceis de reconhecer.

Foram descobertas na década de 1920 por um grupo internacional de físicos, entre os quais Niels Bohr, da Dinamarca; Louis De Broglie, de França; Erwin Schrödinger e Wolfgang Pauli, da

* O átomo de hidrogénio é constituído apenas por um protão e um eletrão.

Áustria; Werner Heisenberg, da Alemanha; e Paul Dirac, de Inglaterra.

Estes homens uniram esforços através de todas as fronteiras nacionais e deram forma a um dos períodos mais entusiasmantes da ciência moderna, que os colocou, pela primeira vez, em contato com a estranha e inesperada realidade do mundo subatómico.

Sempre que os físicos colocavam uma pergunta à natureza numa experiência atómica, a natureza respondia com um paradoxo e, quanto mais tentavam clarificar a situação, mais acentuados se tornavam os paradoxos.

Demoraram bastante tempo a aceitar que esses paradoxos pertenciam à própria estrutura intrínseca da física atómica e a compreender que surgiam sempre que se tentava descrever os acontecimentos atómicos nos termos tradicionais da física.

Uma vez percebido isto, os físicos começaram a aprender a formular as perguntas corretas e a evitar contradições.

Nas palavras de Heisenberg, *«de algum modo, entraram no espírito da teoria quântica»* e acabaram por encontrar a formulação matemática precisa e coerente dessa teoria.

Os conceitos da teoria quântica não foram fáceis de aceitar, mesmo depois de concluída a sua formulação matemática.

O seu impacto sobre a imaginação dos físicos foi verdadeiramente devastador.

As experiências de Rutherford tinham demonstrado que os átomos, em vez de serem duros e indestrutíveis, eram constituídos por vastas regiões de espaço nas quais se moviam partículas extremamente pequenas.

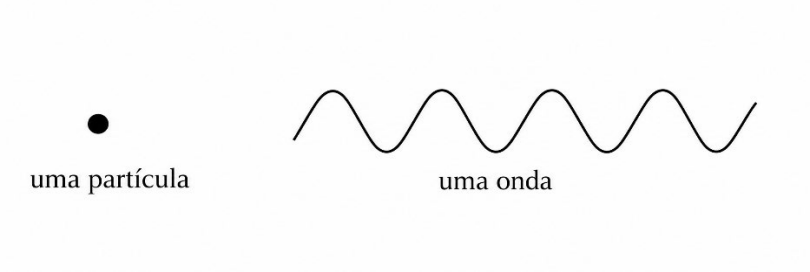
Agora, a teoria quântica tornava claro que nem sequer essas partículas se assemelhavam aos objetos sólidos da física clássica.

As unidades subatómicas da matéria são entidades extremamente abstratas que possuem um duplo aspeto.

Dependendo da forma como as observamos, aparecem por vezes como partículas e, por vezes, como ondas.

Esta natureza dual é igualmente apresentada pela luz, que pode assumir a forma de ondas eletromagnéticas ou de partículas.

Esta propriedade da matéria e da luz é extremamente estranha.



Parece impossível aceitar que alguma coisa possa ser, ao mesmo tempo, uma partícula — isto é, uma entidade confinada a um volume muito pequeno — e uma onda, que se espalha por uma vasta região do espaço.

Esta contradição deu origem à maioria dos paradoxos semelhantes a koans que acabariam por conduzir à formulação da teoria quântica.

Todo esse desenvolvimento começou quando Max Planck descobriu que a energia da radiação térmica não é emitida continuamente, mas surge sob a forma de *«pacotes de energia»*.

Einstein chamou a esses pacotes de energia *«quanta»* e reconheceu-os como um aspeto fundamental da natureza.

Foi suficientemente ousado para postular que a luz e qualquer outra forma de radiação eletromagnética podem surgir não apenas como ondas eletromagnéticas, mas também sob a forma desses quanta.

Os quanta de luz, que deram o nome à teoria quântica, passaram desde então a ser aceites como partículas legítimas e são hoje chamados fotões.

São, contudo, partículas de um tipo especial: não possuem massa e deslocam-se sempre à velocidade da luz.

A aparente contradição entre a imagem corpuscular e a imagem ondulatória foi resolvida de uma forma completamente inesperada, que colocou em causa o próprio fundamento da visão mecanicista do mundo: o conceito da realidade da matéria.

Ao nível subatómico, a matéria não existe com certeza em lugares definidos, mas manifesta antes *«tendências para existir»*, e os acontecimentos atómicos não ocorrem com certeza em momentos definidos e de maneiras definidas, mas manifestam antes *«tendências para ocorrer»*.

No formalismo da teoria quântica, essas tendências são expressas como probabilidades e encontram-se associadas a grandezas matemáticas que assumem a forma de ondas.

É por isso que as partículas podem ser simultaneamente ondas.

Não são ondas tridimensionais *«reais»*, como as ondas sonoras ou as ondas da água.

São *«ondas de probabilidade»*, grandezas matemáticas abstratas com todas as propriedades características das ondas e relacionadas com as probabilidades de encontrar as partículas em determinados pontos do espaço e em determinados momentos.

Todas as leis da física atómica são expressas em termos dessas probabilidades.

Nunca podemos prever com certeza um acontecimento atómico; apenas podemos dizer qual a probabilidade de ele ocorrer.

A teoria quântica demoliu, assim, os conceitos clássicos de objetos sólidos e de leis da natureza estritamente deterministas.

Ao nível subatómico, os objetos materiais sólidos da física clássica dissolvem-se em padrões ondulatórios de probabilidades e esses padrões, em última análise, não representam probabilidades de coisas, mas antes probabilidades de interligações.

Uma análise cuidadosa do processo de observação na física atómica demonstrou que as partículas subatómicas não possuem significado enquanto entidades isoladas, podendo ser compreendidas apenas como interligações entre a preparação de uma experiência e a medição subsequente.

A teoria quântica revela, assim, uma unidade fundamental do universo.

Mostra que não podemos decompor o mundo em unidades mínimas dotadas de existência independente.

À medida que penetramos na matéria, a natureza não nos revela quaisquer *«blocos fundamentais de construção»* isolados, mas apresenta-se antes como uma complexa teia de relações entre as várias partes do todo.

Essas relações incluem sempre o observador de uma forma essencial.

O observador humano constitui o elo final da cadeia dos processos de observação, e as propriedades de qualquer objeto atómico só podem ser compreendidas em termos da interação desse objeto com o observador.

Isto significa que o ideal clássico de uma descrição objetiva da natureza deixa de ser válido.

A divisão cartesiana entre o Eu e o mundo, entre o observador e aquilo que é observado, não pode ser feita quando lidamos com matéria atómica.

Na física atómica, nunca podemos falar da natureza sem, simultaneamente, falar de nós próprios.

A nova teoria atómica conseguiu resolver de imediato vários enigmas relacionados com a estrutura dos átomos que não podiam ser explicados pelo modelo planetário de Rutherford.

Antes de mais, as experiências de Rutherford tinham mostrado que os átomos que constituem a matéria sólida são formados quase inteiramente por espaço vazio, no que diz respeito à distribuição da massa.

Mas, se todos os objetos que nos rodeiam — e nós próprios — são constituídos sobretudo por espaço vazio, por que não conseguimos atravessar portas fechadas?

Por outras palavras, o que é que confere à matéria o seu aspeto sólido?

Um segundo enigma era a extraordinária estabilidade mecânica dos átomos.

No ar, por exemplo, os átomos colidem milhões de vezes por segundo e, contudo, regressam à sua forma original depois de cada colisão.

Nenhum sistema planetário que obedecesse às leis da mecânica clássica sairia inalterado de colisões desse género.

Mas um átomo de oxigénio conservará sempre a sua configuração característica de eletrões, independentemente do número de vezes que colida com outros átomos.

Além disso, essa configuração é exatamente a mesma em todos os átomos de determinado tipo.

Dois átomos de ferro — e, consequentemente, dois pedaços de ferro puro — são completamente idênticos, independentemente da sua origem ou da forma como tenham sido tratados no passado.

A teoria quântica mostrou que todas estas extraordinárias propriedades dos átomos resultam da natureza ondulatória dos seus eletrões.

Para começar, o aspeto sólido da matéria é consequência de um típico *«efeito quântico»* associado ao duplo aspeto onda/partícula da matéria, uma característica do mundo subatómico que não possui qualquer equivalente macroscópico.

Sempre que uma partícula é confinada a uma pequena região do espaço, reage a esse confinamento movendo-se, e quanto menor for a região de confinamento, mais rapidamente a partícula se movimenta dentro dela.

No átomo existem, assim, duas forças concorrentes.

Por um lado, os eletrões estão ligados ao núcleo por forças elétricas que procuram mantê-los tão próximos quanto possível.

Por outro, respondem ao confinamento rodopiando e, quanto mais firmemente estiverem ligados ao núcleo, maior será a sua velocidade.

Na realidade, o confinamento dos eletrões num átomo resulta em enormes velocidades, da ordem de 600 milhas por segundo!

Estas elevadas velocidades fazem com que o átomo pareça uma esfera rígida, tal como uma hélice em rápida rotação parece um disco.

É extremamente difícil comprimir ainda mais os átomos e é, assim, que estes conferem à matéria o seu familiar aspeto sólido.

No átomo, portanto, os eletrões estabelecem-se em órbitas de tal modo que existe um equilíbrio ótimo entre a atração exercida pelo núcleo e a sua resistência ao confinamento.

As órbitas atómicas, contudo, são muito diferentes das órbitas dos planetas no sistema solar, e essa diferença decorre da natureza ondulatória dos eletrões.

Um átomo não pode ser representado como um pequeno sistema planetário.

Em vez de partículas a girarem em torno do núcleo, temos de imaginar ondas de probabilidade organizadas em diferentes órbitas.

Sempre que fazemos uma medição, encontraremos os eletrões algures nessas órbitas, mas não podemos afirmar que estejam *«a girar em torno do núcleo»* no sentido da mecânica clássica.

Nas órbitas, as ondas eletrónicas têm de se organizar de tal modo que *«as suas extremidades se encontrem»*, isto é, que formem padrões conhecidos como *«ondas estacionárias»*.

Estes padrões surgem sempre que as ondas se encontram confinadas a uma região finita, como acontece com as ondas numa corda de guitarra em vibração ou no ar existente no interior de uma flauta (ver diagrama mais abaixo neste capítulo).

É bem conhecido, a partir destes exemplos, que as ondas estacionárias só podem assumir um número limitado de formas bem definidas.

No caso das ondas eletrónicas no interior de um átomo, isto significa que só podem existir em determinadas órbitas atómicas com diâmetros definidos.

O eletrão de um átomo de hidrogénio, por exemplo, só pode existir numa determinada primeira, segunda ou terceira órbita, etc., e nunca num ponto intermédio.

Em condições normais, encontrar-se-á sempre na órbita mais baixa, chamada *«estado fundamental»* do átomo.

A partir daí, o eletrão pode saltar para órbitas superiores se receber a quantidade necessária de energia, dizendo-se então que o átomo se encontra num *«estado excitado»*.

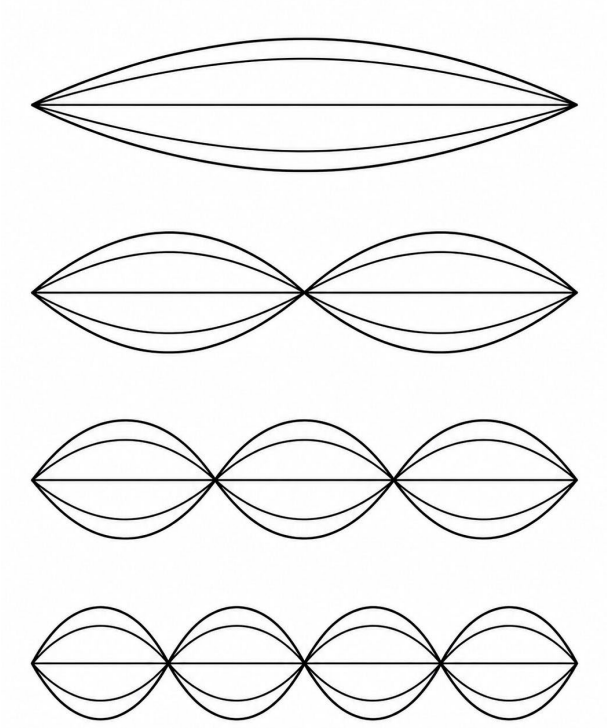
Passado algum tempo, regressará ao estado fundamental, libertando o eletrão a energia excedente sob a forma de um quantum de radiação eletromagnética, ou fotão.

Os estados de um átomo, isto é, as formas e distâncias mútuas das suas órbitas eletrónicas, são exatamente os mesmos para todos os átomos que possuem o mesmo número de eletrões.

É por isso que quaisquer dois átomos de oxigénio, por exemplo, serão completamente idênticos.

Podem encontrar-se em estados excitados diferentes, talvez devido a colisões com outros átomos presentes no ar, mas, passado algum tempo, regressarão invariavelmente ao mesmo estado fundamental.

A natureza ondulatória dos eletrões explica, assim, a identidade dos átomos e a sua grande estabilidade mecânica.



padrões de ondas estacionárias numa corda vibrante

Outra característica dos estados atómicos é o facto de poderem ser completamente especificados através de um conjunto de números inteiros, chamados *«números quânticos»*, que indicam a localização e a forma das órbitas eletrónicas.

O primeiro número quântico é o número da órbita e determina a energia que um eletrão tem de possuir para se encontrar nessa órbita; dois outros números especificam a forma detalhada da onda eletrónica na órbita e relacionam-se com a velocidade e a orientação da rotação do eletrão.*

O facto de estes pormenores serem expressos através de números inteiros significa que o eletrão não pode alterar continuamente a sua rotação, podendo apenas saltar de um valor para outro, tal como só pode saltar de uma órbita para outra.

Mais uma vez, os valores superiores representam estados excitados do átomo, sendo o estado fundamental aquele em que todos os eletrões se encontram nas órbitas mais baixas possíveis e possuem as menores quantidades possíveis de rotação.

Tendências para existir, partículas que reagem ao confinamento através do movimento, átomos que passam subitamente de um *«estado quântico»* para outro e uma interligação essencial entre

* A «rotação» de um eletrão na sua órbita não deve ser entendida no sentido clássico; é determinada pela forma da onda eletrónica, em termos das probabilidades de existência da partícula em determinadas regiões da órbita.

todos os fenómenos — estas são algumas das características invulgares do mundo atómico.

A força fundamental que dá origem a todos os fenómenos atómicos, por outro lado, é familiar e pode ser experienciada no mundo macroscópico.

É a força de atração elétrica entre o núcleo atómico carregado positivamente e os eletrões carregados negativamente.

A interação entre essa força e as ondas eletrónicas dá origem à enorme variedade de estruturas e fenómenos existentes no nosso ambiente.

É responsável por todas as reações químicas e pela formação de moléculas, isto é, agregados de vários átomos ligados entre si por atração mútua.

A interação entre eletrões e núcleos atómicos constitui, assim, a base de todos os sólidos, líquidos e gases, bem como de todos os organismos vivos e dos processos biológicos que lhes estão associados.

Neste mundo imensamente rico de fenómenos atómicos, os núcleos desempenham o papel de centros extremamente pequenos e estáveis que constituem a fonte da força elétrica e formam os esqueletos da enorme variedade de estruturas moleculares.

Para compreender essas estruturas e a maioria dos fenómenos naturais à nossa volta, não é necessário saber mais acerca dos núcleos do que a sua carga e a sua massa.

Contudo, para compreender a natureza da matéria — saber aquilo de que, em última análise, a matéria é constituída — é necessário estudar os núcleos atómicos, que contêm praticamente toda a sua massa.

Na década de 1930, depois de a teoria quântica ter desvendado o mundo dos átomos, a principal tarefa dos físicos passou, portanto, a ser compreender a estrutura dos núcleos, os seus constituintes e as forças que os mantêm tão fortemente unidos.

O primeiro passo importante rumo à compreensão da estrutura nuclear foi a descoberta do neutrão como segundo constituinte do núcleo, uma partícula com aproximadamente a mesma massa do protão — o primeiro constituinte nuclear —, cerca de duas mil vezes a massa do eletrão, mas sem carga elétrica.

Esta descoberta não só explicou a forma como os núcleos de todos os elementos químicos eram constituídos por protões e neutrões, como revelou também que a força nuclear, que mantinha estas partículas tão fortemente ligadas no interior do núcleo, era um fenómeno inteiramente novo.

Não podia ter origem eletromagnética, uma vez que os neutrões eram eletricamente neutros.

Os físicos rapidamente perceberam que se encontravam perante uma nova força da natureza, que não se manifesta em qualquer lugar fora do núcleo.

Um núcleo atómico é cerca de cem mil vezes menor do que o átomo inteiro e, contudo, contém quase toda a massa do átomo.

Isto significa que a matéria existente no interior do núcleo deve ser extremamente densa em comparação com as formas de matéria a que estamos habituados.

De facto, se todo o corpo humano fosse comprimido até atingir a densidade nuclear, não ocuparia mais espaço do que a cabeça de um alfinete.

Esta elevada densidade, contudo, não é a única propriedade invulgar da matéria nuclear.

Possuindo a mesma natureza quântica dos eletrões, os *«nucleões»* — como são frequentemente chamados os protões e neutrões — respondem ao seu confinamento através de velocidades elevadas e, uma vez que se encontram comprimidos num volume muito menor, a sua reação é ainda mais violenta.

Deslocam-se pelo núcleo a velocidades de cerca de 40 000 milhas por segundo!

A matéria nuclear constitui, assim, uma forma de matéria inteiramente diferente de tudo aquilo que experienciamos *«aqui em cima»*, no nosso ambiente macroscópico.

Talvez possamos imaginá-la melhor como minúsculas gotas de um líquido extremamente denso que ferve e borbulha com enorme intensidade.

O aspeto essencialmente novo da matéria nuclear, responsável por todas as suas propriedades invulgares, é a forte força nuclear, e a característica que torna essa força tão singular é o seu alcance extremamente reduzido.

Atua apenas quando os nucleões se aproximam muito uns dos outros, isto é, quando a distância entre eles é cerca de duas a três vezes o seu diâmetro.

A essa distância, a força nuclear é fortemente atrativa, mas, quando a distância se torna menor, a força passa a ser fortemente repulsiva, impedindo que os nucleões se aproximem ainda mais.

Deste modo, a força nuclear mantém o núcleo num equilíbrio extremamente estável, embora também extremamente dinâmico.

A imagem da matéria que emerge do estudo dos átomos e dos núcleos mostra que a maior parte dela se encontra concentrada em minúsculas gotas separadas por enormes distâncias.

No vasto espaço entre as gotas nucleares maciças e intensamente fervilhantes movem-se os eletrões.

Estes constituem apenas uma minúscula fração da massa total, mas conferem à matéria o seu aspeto sólido e proporcionam as ligações necessárias à construção das estruturas moleculares.

Estão também envolvidos nas reações químicas e são responsáveis pelas propriedades químicas da matéria.

As reações nucleares, por outro lado, não ocorrem geralmente de forma natural nesta forma de matéria, porque as energias disponíveis não são suficientemente elevadas para perturbar o equilíbrio nuclear.

Esta forma de matéria, contudo, com a sua multiplicidade de formas e texturas e a sua complexa arquitetura molecular, só pode existir sob condições muito especiais, quando a temperatura não é demasiado elevada, para que as moléculas não se agitem excessivamente.

Quando a energia térmica aumenta cerca de cem vezes, como acontece na maioria das estrelas, todas as estruturas atómicas e moleculares são destruídas.

Na realidade, a maior parte da matéria do universo existe num estado muito diferente daquele que acabámos de descrever.

No centro das estrelas existem grandes concentrações de matéria nuclear, e aí predominam processos nucleares que só muito raramente ocorrem na Terra.

São essenciais para a enorme variedade de fenómenos estelares observados pela astronomia, a maioria dos quais resulta de uma combinação de efeitos nucleares e gravitacionais.

Para o nosso planeta, os processos nucleares que ocorrem no centro do Sol possuem particular importância, porque fornecem a energia que sustenta o nosso ambiente terrestre.

Uma das grandes conquistas da física moderna foi descobrir que o fluxo constante de energia proveniente do Sol — a nossa ligação vital com o mundo do muito grande — resulta de reações nucleares, de fenómenos pertencentes ao mundo do infinitamente pequeno.

Na história da penetração neste mundo submicroscópico, chegou-se, no início da década de 1930, a uma etapa em que os cientistas pensaram ter finalmente descoberto os *«blocos fundamentais de construção»* da matéria.

Sabia-se que toda a matéria era constituída por átomos e que todos os átomos eram constituídos por protões, neutrões e eletrões.

Estas chamadas *«partículas elementares»* eram consideradas as unidades últimas e indestrutíveis da matéria: átomos no sentido de Demócrito.

Embora a teoria quântica implique, como já foi referido, que não podemos decompor o mundo em unidades mínimas dotadas de existência independente, esta consequência ainda não era geralmente reconhecida nessa época.

Os hábitos clássicos de pensamento permaneciam tão fortes que a maioria dos físicos continuava a tentar compreender a matéria em termos dos seus *«blocos fundamentais de construção»*, e esta tendência de pensamento continua, na realidade, bastante forte ainda hoje.

Dois desenvolvimentos posteriores da física moderna demonstraram, contudo, que a noção de partículas elementares enquanto unidades primárias da matéria tinha de ser abandonada.

Um desses desenvolvimentos foi experimental; o outro, teórico; e ambos começaram na década de 1930.

Do lado experimental, foram descobertas novas partículas à medida que os físicos aperfeiçoavam as suas técnicas experimentais e desenvolviam novos e engenhosos dispositivos de deteção de partículas.

Assim, o número de partículas aumentou de três para seis em 1935, depois para dezoito em 1955, e hoje conhecemos mais de duzentas partículas *«elementares»*.

As duas tabelas da página mais abaixo, retiradas de uma publicação recente[11], mostram a maioria das partículas atualmente conhecidas.

Ilustram de forma convincente que o adjetivo *«elementar»* deixou de ser muito atraente numa situação deste género.

À medida que, ao longo dos anos, eram descobertas cada vez mais partículas, tornou-se evidente que nem todas poderiam ser chamadas *«elementares»* e, atualmente, existe entre os físicos uma convicção generalizada de que nenhuma delas merece essa designação.

Esta convicção é reforçada pelos desenvolvimentos teóricos que acompanharam a descoberta de um número cada vez maior de partículas.

Pouco depois da formulação da teoria quântica, tornou-se evidente que uma teoria completa dos fenómenos nucleares não deveria ser apenas uma teoria quântica, mas teria também de incorporar a teoria da relatividade.

Isto acontece porque as partículas confinadas a dimensões comparáveis às dos núcleos movem-se frequentemente tão depressa que as suas velocidades se aproximam da velocidade da luz.

Este facto é crucial para a descrição do seu comportamento, porque qualquer descrição de fenómenos naturais que envolva velocidades próximas da velocidade da luz tem de ter em conta a teoria da relatividade.

Tem de ser, como dizemos, uma descrição *«relativística»*.

Aquilo de que necessitamos, portanto, para uma compreensão plena do mundo nuclear é de uma teoria que incorpore simultaneamente a teoria quântica e a teoria da relatividade.

Essa teoria ainda não foi encontrada e, por isso, ainda não conseguimos formular uma teoria completa do núcleo.

Embora saibamos bastante acerca da estrutura nuclear e das interações entre partículas nucleares, ainda não compreendemos, a um nível fundamental, a natureza e a forma complexa da força nuclear.

Não existe uma teoria completa do mundo das partículas nucleares comparável à teoria quântica para o mundo atómico.

Dispomos de vários modelos *«quântico-relativísticos»* que descrevem muito bem alguns aspetos do mundo das partículas, mas a fusão da teoria quântica com a teoria da relatividade numa teoria completa do mundo das partículas continua a ser o problema central e o grande desafio da física fundamental moderna.

Tabela de Mésons

Abril de 1974

entry	$I^G(J^P)C_n$	entry	$I^G(J^P)C_n$	entry	$I^G(J^P)C_n$	entry	I (J^P)
π (140)	$1^-(0^-)$*	η_M (1080)	$0^+(0^-)$*	ρ' (1600)	$1^-(1^-)$–	K (494)	1/2 (0^-)
η (549)	$0^+(0^-)$	A_1 (1100)	$1^-(1^-)$*	A_1 (1640)	$1^-(1^-)$*	K^* (892)	1/2 (1^-)
ϵ (600)	$0^+(0^+)$*	– M (1150)	•	– (1675)	$0^+(0^-)$–	<	1/2 (0^-)
ρ (770)	$1^+(1^-)$	~ A_1 (1230)	1^-	ℓ (1690)	$1^-(3^-)$–	Q	1/2 (1^-)
ω (783)	$0^-(1^-)$–	δ (1255)	$1^+(1^+)$–	– X (1690)	•	K^*(1420)	1/2 (2^-)
– N (940)	•	– ρ' (1250)	$1^-(1^-)$–	– X (1795)	1	– K_M(1660)	1/2
– N (953)	•	ϵ (1270)	$0^+(2^+)$*	– S (1800)	1	– K_M(1700)	1/2
η' (958)	$0^+(0^-)$*	D (1285)	$0^-(4^-)$*	– A (1940)	2^-	L (1770)	1/2 (Λ_3^-)
f (970)	$1^-(0^-)$*	A_2 (1310)	$1^+(2^+)$*	– O (2100)	1^+	– K_3 (1850)	
ϕ (990)	$0^-(1^-)$–	E (1400)	$0^+(4^+)$*	– T (2300)	1	– F^* (2200)	
f' (993)	$0^+(0^+)$*	– X (1450)	•	– O (2375)	2^+	– K^* (2800)	
a (1019)	$0^-(1^-)$–	– X (1460)	1	– U (2460)	1		
K (1035)	•	f'' (1514)	$0^+(2^+)$*	– M (2375)	0	* Exóticos	
K_2 (1040)	1^+	F_1 (1540)	1 (4^-)	– x (2500–3000)			

Tabela de Bárions

Abril de 1974

N (939)	P11	****	Δ(1232)	P33	****	Λ(1116)	P01	****	Ξ(1193)	P11	****	Σ(1317)	P11	***
N(1470)	P11	****	Δ(1600)	S31	***	Λ(1520)	D03	***	Ξ(1315)	P13	****	Σ(1385)	P13	***
N(1520)	D13	****	Δ(1670)	D33	**	Λ(1605)	S01	***	Ξ(1420)		Dead	Σ(1580)		**
N(1535)	S11	****	Δ(1690)	F35	***	Λ(1620)	D03	***	Ξ(1480)		*	Σ(1620)		***
N(1670)	D13	****	Δ(1900)	S31	*	Λ(1670)	D03	***	Ξ(1620)	S11	**	Σ(1660)		***
N(1680)	F15	****	Δ(1910)	P31	***	Λ(1690)	D05	**	Ξ(1690)	P11	***	Σ(2030)		**
N(1700)	S11	****	Δ(1940)	D31	****	Λ(1800)	P01	***	Ξ(1690)	D13	***	Σ(2250)		*
N(1710)	D13	**	Δ(1950)	D33	**	Λ(1815)	P05	****	Ξ(1750)		**	Σ(2500)		**
N(1720)	P11	***	Δ(2160)	D31	*	Λ(2100)	D03	***	Ξ(1780)		**			
N(1860)	P13	**	Δ(2360)		***	Λ(2110)	P01	**	Ξ(1950)	S11	***	Ω(1672)	P03	***
N(1895)	F17	**	Δ(2390)		****	Λ(2350)	P03	**	Ξ(1764)	D13	****			
N(2080)	F15	**				Λ(2400)	D05	**	Ξ(1880)	P13	**			
N(2090)	D13	*				Λ(3600)	P07	**	Ξ(1945)	F11	**			
N(2100)	S11	*	Σ^0(1385)	P01	*	Λ(2100)	G07	***	Ξ(1945)	F15	***			
N(2160)	D15	*	Σ_1''(1485)	D03	*	Λ(2110)	F07	*	Ξ(1964)	D13	***			
N(2190)	G19	***	Σ_1(1400)	P13	*	Λ(2350)		***	Ξ(2000)	S11	*			
N(2250)	H19	***	Σ_1(2120)		*	Λ(2515)		***	Ξ(2030)	F17	****			
N(2220)		***	Σ_1(2500)		*				Ξ(2067)	F13	*			
N(2310)		*							Ξ(2100)	G17	**			
N(2340)		*							Ξ(2250)		****			
N(2550)		•							Ξ(2455)		***			
									Ξ(2460)		***			
									Ξ(6000)		**			

**** Bom, claro e inequívoco. *** Bom, mas a necessitar de clarificação ou não absolutamente certo.

* Necessita de confirmação. • Fraco.

A teoria da relatividade exerceu uma profunda influência sobre a nossa imagem da matéria, ao obrigar-nos a modificar de forma essencial o nosso conceito de partícula.

Na física clássica, a massa de um objeto estivera sempre associada a uma substância material indestrutível, a uma espécie de «matéria-prima» da qual se supunha que todas as coisas eram feitas.

A teoria da relatividade mostrou que a massa nada tem a ver com qualquer substância, sendo antes uma forma de energia.

A energia, contudo, é uma grandeza dinâmica associada à atividade ou a processos.

O facto de a massa de uma partícula ser equivalente a uma determinada quantidade de energia significa que a partícula já não pode ser vista como um objeto estático, mas tem de ser concebida como um padrão dinâmico, um processo que envolve a energia que se manifesta sob a forma da massa da partícula.

Esta nova visão das partículas foi iniciada por Dirac quando formulou uma equação relativística que descrevia o comportamento dos eletrões.

A teoria de Dirac não só foi extraordinariamente bem-sucedida na explicação dos pormenores finos da estrutura atómica, como revelou também uma simetria fundamental entre matéria e antimatéria.

Previu a existência de um antieletrão com a mesma massa do eletrão, mas com carga oposta.

Esta partícula com carga positiva, atualmente chamada positrão, foi de facto descoberta dois anos depois de Dirac a ter previsto.

A simetria entre matéria e antimatéria implica que, para cada partícula, existe uma antipartícula com igual massa e carga oposta.

Pares de partículas e antipartículas podem ser criados quando existe energia suficiente disponível e podem, no processo inverso de aniquilação, transformar-se em energia pura.

Estes processos de criação e aniquilação de partículas tinham sido previstos pela teoria de Dirac antes de serem efetivamente descobertos na natureza e, desde então, foram observados milhões de vezes.

A criação de partículas materiais a partir de energia pura é certamente o efeito mais espetacular da teoria da relatividade, e só pode ser compreendida nos termos da visão das partículas delineada acima.

Antes da física relativística de partículas, os constituintes da matéria tinham sido sempre considerados ou unidades elementares indestrutíveis e imutáveis, ou objetos compostos que podiam ser decompostos nas suas partes constituintes.

A questão fundamental era saber se seria possível dividir a matéria repetidamente, ou se acabaríamos por chegar a determinadas unidades mínimas e indivisíveis.

Depois da descoberta de Dirac, toda a questão da divisão da matéria surgiu sob uma nova luz.

Quando duas partículas colidem a altas energias, em geral fragmentam-se, mas esses fragmentos não são menores do que as partículas originais.

São novamente partículas do mesmo género, criadas a partir da energia do movimento — «energia cinética» — envolvida no processo de colisão.

O problema da divisão da matéria fica, assim, resolvido num sentido inesperado.

A única forma de dividir ainda mais as partículas subatómicas consiste em fazê-las colidir umas com as outras em processos que envolvem energias elevadas.

Deste modo, podemos dividir a matéria repetidamente, mas nunca obtemos fragmentos menores, porque estamos simplesmente a criar partículas a partir da energia envolvida no processo.

As partículas subatómicas são, assim, simultaneamente destrutíveis e indestrutíveis.

Esta situação permanecerá necessariamente paradoxal enquanto adotarmos a visão estática de *«objetos»* compostos por *«blocos fundamentais de construção»*.

Só quando adotamos a visão dinâmica e relativística é que o paradoxo desaparece.

As partículas passam então a ser vistas como padrões dinâmicos, ou processos, que envolvem uma determinada quantidade de energia que nos aparece sob a forma da sua massa.

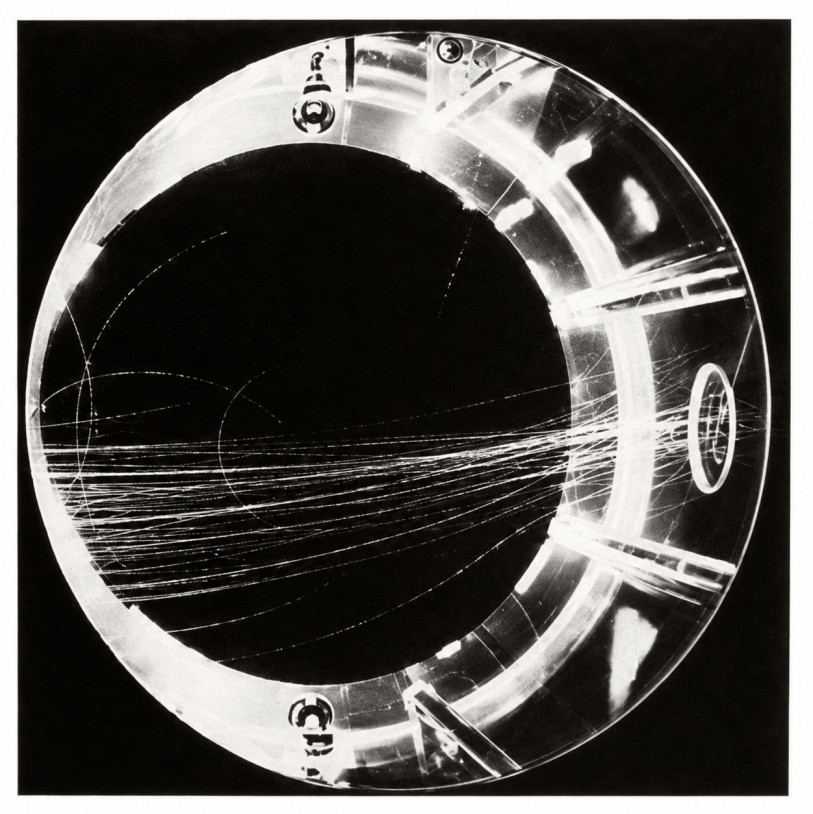
Num processo de colisão, a energia das duas partículas que colidem é redistribuída de modo a formar um novo padrão e, se tiver sido aumentada por uma quantidade suficiente de energia cinética, esse novo padrão poderá envolver partículas adicionais.

As colisões de partículas subatómicas a altas energias constituem o principal método utilizado pelos físicos para estudar as propriedades dessas partículas e, por isso, a *física de partículas* é também chamada *«física de altas energias»*.

As energias cinéticas necessárias para as experiências de colisão são obtidas através de enormes aceleradores de partículas, gigantescas máquinas circulares com vários quilómetros de circunferência, nas quais os protões são acelerados até velocidades próximas da velocidade da luz e depois levados a colidir com outros protões ou com neutrões.

É impressionante que sejam necessárias máquinas desta dimensão para estudar o mundo do infinitamente pequeno.

São os supermicroscópios do nosso tempo.



A maioria das partículas criadas nestas colisões existe apenas durante um período extremamente curto — muito menos de um milionésimo de segundo — após o qual volta a desintegrar-se em protões, neutrões e eletrões.

Apesar da sua duração extraordinariamente breve, estas partículas não só podem ser detetadas e ter as suas propriedades medidas, como são efetivamente levadas a deixar rastos que podem ser fotografados!

Estes rastos de partículas são produzidos nas chamadas câmaras de bolhas, de maneira semelhante à forma como um avião a jato deixa um rasto no céu.

As próprias partículas são muitas ordens de grandeza menores do que as bolhas que formam os rastos, mas, a partir da espessura e da curvatura de um rasto, os físicos conseguem identificar a partícula que o provocou.

A imagem acima mostra rastos desse género numa câmara de bolhas.

Os pontos de onde partem vários rastos correspondem a pontos de colisão entre partículas, e as curvas são provocadas por campos magnéticos que os experimentadores utilizam para identificar as partículas.

As colisões de partículas constituem o nosso principal método experimental para estudar as suas propriedades e interações e, por isso, as belas linhas, espirais e curvas traçadas pelas partículas nas câmaras de bolhas possuem uma importância fundamental para a física moderna.

As experiências de dispersão a altas energias das últimas décadas mostraram-nos, da forma mais impressionante, a natureza dinâmica e em permanente mudança do mundo das partículas.

Nestas experiências, a matéria revelou-se completamente mutável.

Todas as partículas podem transformar-se noutras partículas; podem ser criadas a partir da energia e podem desaparecer transformando-se em energia.

Neste mundo, conceitos clássicos como «partícula elementar», «substância material» ou «objeto isolado» perderam o significado.

Todo o universo surge como uma teia dinâmica de padrões inseparáveis de energia.

Até agora, ainda não encontrámos uma teoria completa capaz de descrever este mundo das partículas subatómicas, mas dispomos de vários modelos teóricos que descrevem muito bem determinados aspetos dele.

Nenhum destes modelos está livre de dificuldades matemáticas e todos se contradizem de determinadas maneiras, mas todos refletem a unidade fundamental e o caráter intrinsecamente dinâmico da matéria.

Mostram que as propriedades de uma partícula só podem ser compreendidas em termos da sua atividade — da sua interação com o ambiente circundante — e que, portanto, a partícula não pode ser vista como uma entidade isolada, mas tem de ser compreendida como parte integrante do todo.

A teoria da relatividade não afetou apenas de forma drástica a nossa conceção das partículas, mas também a nossa imagem das forças existentes entre elas.

Numa descrição relativística das interações entre partículas, as forças entre elas — isto é, a sua atração ou repulsão mútua — são representadas como a troca de outras partículas.

Este conceito é extremamente difícil de visualizar.

É uma consequência do caráter quadridimensional do espaço-tempo do mundo subatómico, e nem a nossa intuição nem a nossa linguagem conseguem lidar muito bem com esta imagem.

Contudo, ela é fundamental para compreender os fenómenos subatómicos.

Liga as forças existentes entre os constituintes da matéria às propriedades de outros constituintes da matéria e, assim, unifica os dois conceitos — força e matéria — que pareciam tão fundamentalmente diferentes desde os atomistas gregos.

Tanto a força como a matéria passam agora a ser vistas como tendo uma origem comum nos padrões dinâmicos a que chamamos partículas.

O facto de as partículas interagirem através de forças que se manifestam como troca de outras partículas constitui mais uma

razão pela qual o mundo subatómico não pode ser decomposto em partes constituintes.

Do nível macroscópico até ao nível nuclear, as forças que mantêm as coisas unidas são relativamente fracas e constitui uma boa aproximação dizer que as coisas são formadas por partes constituintes.

Assim, pode dizer-se que um grão de sal é constituído por moléculas de sal, que as moléculas de sal são formadas por dois tipos de átomos, que esses átomos são constituídos por núcleos e eletrões e que os núcleos são constituídos por protões e neutrões.

Ao nível das partículas, contudo, já não é possível encarar as coisas dessa forma.

Nos últimos anos, tem surgido uma quantidade crescente de evidências de que os protões e os neutrões são também objetos compostos.

Contudo, as forças que os mantêm unidos são tão intensas — ou, o que equivale ao mesmo, as velocidades adquiridas pelos seus componentes são tão elevadas — que é necessário aplicar a imagem relativística, na qual as forças são também partículas.

Assim, a distinção entre as partículas constituintes e as partículas que formam as forças de ligação torna-se difusa, e a aproximação

de um objeto constituído por partes componentes deixa de funcionar.

O mundo das partículas não pode ser decomposto em componentes elementares.

Na física moderna, o universo é, assim, experienciado como um todo dinâmico e inseparável que inclui sempre o observador de forma essencial.

Nesta experiência, os conceitos tradicionais de espaço e tempo, de objetos isolados e de causa e efeito perdem o significado.

Uma experiência desta natureza, contudo, é muito semelhante à dos místicos orientais.

A semelhança torna-se evidente na teoria quântica e na teoria da relatividade e intensifica-se ainda mais nos modelos «quântico-relativísticos» da física subatómica, nos quais ambas as teorias se combinam, produzindo os paralelos mais impressionantes com o misticismo oriental.

Antes de explicitar estes paralelos em pormenor, farei uma breve apresentação das escolas de filosofia oriental relevantes para esta comparação, destinada ao leitor que não esteja familiarizado com elas.

São as várias escolas pertencentes às filosofias religiosas do Hinduísmo, do Budismo e do Taoismo.

Nos cinco capítulos seguintes serão descritos o contexto histórico, as características distintivas e os conceitos filosóficos dessas tradições espirituais, com especial atenção aos aspetos e conceitos que serão importantes para a comparação posterior com a física.

PARTE DOIS

O Caminho do Misticismo Oriental

CAPÍTULO 5

Hinduísmo



Shiva Mahesvara, Elefanta, Índia, século VIII d.C.

Para compreender qualquer uma das filosofias que serão descritas, é importante perceber que são, na sua essência, religiosas. O seu principal objetivo é a experiência mística direta da realidade e, uma vez que essa experiência é religiosa por natureza, são inseparáveis da religião.

Mais do que em qualquer outra tradição oriental, isto é verdadeiro no caso do Hinduísmo, onde a ligação entre filosofia e religião é particularmente forte. Já se afirmou que praticamente todo o pensamento na Índia é, em certo sentido, pensamento religioso, e o Hinduísmo não só influenciou, ao longo de muitos séculos, a vida intelectual da Índia, como determinou quase por completo a sua vida social e cultural.

O Hinduísmo não pode ser chamado uma filosofia, nem constitui uma religião claramente definida. É, antes, um vasto e complexo

organismo sociorreligioso, constituído por inúmeras seitas, cultos e sistemas filosóficos, envolvendo diversos rituais, cerimónias e disciplinas espirituais, bem como a veneração de incontáveis deuses e deusas.

As muitas facetas desta tradição espiritual complexa e, contudo, persistente e poderosa refletem as complexidades geográficas, raciais, linguísticas e culturais do vasto subcontinente indiano.

As manifestações do Hinduísmo vão desde filosofias altamente intelectuais, envolvendo conceções de extraordinária amplitude e profundidade, até às práticas rituais ingénuas e infantis das massas.

Se a maioria dos hindus é constituída por simples aldeões que mantêm viva a religião popular através da sua devoção quotidiana, o Hinduísmo produziu também um grande número de extraordinários mestres espirituais que transmitiram as suas profundas intuições.

A fonte espiritual do Hinduísmo encontra-se nos Vedas, uma coleção de antigas escrituras compostas por sábios anónimos, os chamados *«videntes»* védicos.

Existem quatro Vedas, sendo o mais antigo o Rig Veda.

Escritos em sânscrito antigo, a língua sagrada da Índia, os Vedas permaneceram como a mais elevada autoridade religiosa para a maioria das correntes do Hinduísmo.

Na Índia, qualquer sistema filosófico que não aceite a autoridade dos Vedas é considerado heterodoxo.

Cada um destes Vedas é constituído por várias partes, compostas em períodos diferentes, provavelmente entre 1500 e 500 a.C.

As partes mais antigas são hinos e preces sagradas. As partes posteriores tratam dos rituais sacrificiais associados aos hinos védicos e as últimas, chamadas Upanishads, desenvolvem o seu conteúdo filosófico e prático.

Os Upanishads contêm a essência da mensagem espiritual do Hinduísmo.

Ao longo dos últimos vinte e cinco séculos, orientaram e inspiraram as maiores mentes da Índia, de acordo com o conselho contido nos seus versos:

> Tomando como arco a grande arma do Upanishad,
> Deve colocar-se nele uma flecha aguçada pela meditação.
> Esticando-o com o pensamento dirigido para a essência
> Daquilo,
> Penetre, meu amigo, nesse Imperecível como no alvo.[1]

As massas do povo indiano, contudo, receberam os ensinamentos do Hinduísmo não através dos Upanishads, mas através de um grande número de narrativas populares reunidas em

enormes epopeias, que constituem a base da vasta e colorida mitologia indiana.

Uma dessas epopeias, o *Mahabharata*, contém o texto religioso preferido da Índia, o belo poema espiritual do *Bhagavad Gita*.

A *Gita*, como é habitualmente chamada, é um diálogo entre o deus Krishna e o guerreiro Arjuna, que se encontra mergulhado em profundo desespero por ser obrigado a combater os próprios parentes na grande guerra familiar que constitui o tema central do *Mahabharata*.

Krishna, disfarçado de cocheiro de Arjuna, conduz o carro para o espaço entre os dois exércitos e, nesse cenário dramático do campo de batalha, começa a revelar a Arjuna as verdades mais profundas do Hinduísmo.

À medida que o deus fala, o cenário realista da guerra entre as duas famílias desvanece-se rapidamente e torna-se claro que a batalha de Arjuna é a batalha espiritual da natureza humana, a batalha do guerreiro em busca da iluminação.

O próprio Krishna aconselha Arjuna:

> Mata, portanto, com a espada da sabedoria, a dúvida nascida da ignorância que reside no teu coração. Permanece uno na harmonia do ser, no Yoga, e ergue-te, grande guerreiro, ergue-te.[2]

A base da instrução espiritual de Krishna, tal como de todo o Hinduísmo, é a ideia de que a multiplicidade de coisas e acontecimentos que nos rodeiam não passa de diferentes manifestações da mesma realidade última.

Essa realidade, chamada Brahman, é o conceito unificador que confere ao Hinduísmo o seu caráter essencialmente monista, apesar da veneração de numerosos deuses e deusas.

Brahman, a realidade última, é entendido como a *«alma»*, ou essência interior, de todas as coisas.

É infinito e encontra-se para além de todos os conceitos; não pode ser compreendido pelo intelecto nem adequadamente descrito por palavras:

> **Brahman, sem princípio, supremo: para além daquilo que é e para além daquilo que não é.**[3]
>
> **Incompreensível é essa Alma suprema, ilimitada, não nascida, que não pode ser alcançada pelo raciocínio, impensável.**[4]

Ainda assim, as pessoas desejam falar acerca desta realidade, e os sábios hindus, com a sua característica inclinação para o mito, representaram Brahman como divino e falaram dele em linguagem mitológica.

Aos diversos aspetos do Divino foram atribuídos os nomes dos vários deuses venerados pelos hindus, mas as escrituras deixam

claro que todos esses deuses são apenas reflexos da única realidade última:

> Isto que as pessoas dizem: «Venera este deus! Venera aquele deus!» — um após outro — é, na verdade, criação dele [Brahman]! E ele próprio é todos os deuses.[5]

A manifestação de Brahman na alma humana chama-se Atman, e a ideia de que Atman e Brahman — o indivíduo e a realidade última — são um constitui a essência dos Upanishads:

> Aquilo que é a essência mais subtil — todo este mundo tem Isso como sua alma. Isso é a Realidade. Isso é Atman. Tu és Isso.[6]

O tema fundamental e recorrente da mitologia hindu é a criação do mundo através do autossacrifício de Deus — *«sacrifício»* no sentido original de *«tornar sagrado»* — mediante o qual Deus se transforma no mundo que, por fim, volta novamente a tornar-se Deus.

Esta atividade criadora do Divino chama-se *lila*, o jogo de Deus, e o mundo é visto como o palco do jogo divino.

Tal como grande parte da mitologia hindu, o mito de lila possui um forte caráter mágico.

Brahman é o grande mago que se transforma no mundo e realiza esse prodígio através do seu *«poder mágico criador»*, que é o significado original de *maya* no Rig Veda.

A palavra maya — um dos termos mais importantes da filosofia indiana — alterou o seu significado ao longo dos séculos.

Da *«força»*, ou *«poder»*, do ator e mago divino, passou a significar o estado psicológico de qualquer pessoa sob o feitiço do jogo mágico.

Enquanto confundirmos as miríades de formas da lila divina com a realidade, sem percecionarmos a unidade de Brahman subjacente a todas essas formas, permanecemos sob o feitiço de maya.

Maya, portanto, não significa que o mundo seja uma ilusão, como tantas vezes se afirma erradamente.

A ilusão reside apenas no nosso ponto de vista, quando pensamos que as formas e estruturas, as coisas e acontecimentos à nossa volta, são realidades da natureza, em vez de compreendermos que são conceitos produzidos pela nossa mente mensuradora e classificadora.

Maya é a ilusão de tomar esses conceitos pela realidade, de confundir o mapa com o território.

Na visão hindu da natureza, todas as formas são, portanto, maya relativa, fluida e em permanente transformação, evocada pelo grande mago do jogo divino.

O mundo de maya transforma-se continuamente, porque a lila divina é um jogo rítmico e dinâmico.

A força dinâmica do jogo é *karma*, outro conceito importante do pensamento indiano.

Karma significa *«ação»*.

É o princípio ativo do jogo, o universo total em ação, no qual tudo está dinamicamente ligado a tudo o resto.

Nas palavras da **Gita**:

> **Karma é a força da criação, da qual todas as coisas recebem a vida.**[7]

O significado de karma, tal como o de maya, foi trazido do seu nível cósmico original para o nível humano, onde adquiriu um sentido psicológico.

Enquanto a nossa visão do mundo permanecer fragmentada, enquanto estivermos sob o feitiço de maya e pensarmos que estamos separados do nosso ambiente e que podemos agir independentemente dele, estaremos presos ao karma.

Libertar-se dos laços do karma significa compreender a unidade e a harmonia de toda a natureza, incluindo nós próprios, e agir em conformidade com essa compreensão.

A *Gita* é muito clara a este respeito:

> Todas as ações têm lugar no tempo através do entrelaçamento das forças da natureza, mas o homem perdido na ilusão egoísta pensa que é ele próprio quem age.
>
> Mas o homem que conhece a relação entre as forças da Natureza e as ações vê como determinadas forças da Natureza atuam sobre outras forças da Natureza e não se torna escravo delas.[8]

Libertar-se do feitiço de maya, romper os laços do karma, significa compreender que todos os fenómenos que percecionamos através dos sentidos fazem parte da mesma realidade.

Significa experienciar, de forma concreta e pessoal, que tudo, incluindo o nosso próprio self, é Brahman.

Esta experiência chama-se *moksha*, ou *«libertação»*, na filosofia hindu, e constitui a própria essência do Hinduísmo.

O Hinduísmo sustenta que existem inúmeras vias de libertação.

Nunca esperaria que todos os seus seguidores fossem capazes de se aproximar do Divino da mesma forma e, por isso, oferece diferentes conceitos, rituais e exercícios espirituais para diferentes modos de consciência.

O facto de muitos desses conceitos ou práticas serem contraditórios não perturba minimamente os hindus, porque sabem que Brahman se encontra, de qualquer modo, para além dos conceitos e das imagens.

Desta atitude deriva a grande tolerância e inclusividade características do Hinduísmo.

A escola mais intelectual é o Vedanta, baseada nos Upanishads e que enfatiza Brahman como um conceito metafísico impessoal, livre de qualquer conteúdo mitológico.

Apesar do seu elevado nível filosófico e intelectual, contudo, a via vedantista de libertação é muito diferente de qualquer escola da filosofia ocidental, uma vez que envolve meditação quotidiana e outros exercícios espirituais destinados a produzir a união com Brahman.

Outro método importante e influente de libertação é conhecido como yoga, palavra que significa *«jungir»*, *«unir»*, e que se refere à união da alma individual com Brahman.

Existem várias escolas, ou *«caminhos»*, de yoga, envolvendo algum treino físico básico e diversas disciplinas mentais concebidas para pessoas de diferentes tipos e situadas em diferentes níveis espirituais.

Para o hindu comum, a forma mais popular de se aproximar do Divino consiste em venerá-lo sob a forma de um deus ou de uma deusa pessoal.

A fértil imaginação indiana criou literalmente milhares de divindades que surgem em inúmeras manifestações.

As três divindades mais veneradas atualmente na Índia são Shiva, Vishnu e a Mãe Divina.

Shiva é um dos mais antigos deuses indianos e pode assumir muitas formas.

É chamado Mahesvara, o Grande Senhor, quando é representado como personificação da plenitude de Brahman, podendo também encarnar muitos aspetos particulares do Divino.

A sua manifestação mais célebre é a de *Nataraja*, o Rei dos Dançarinos.

Enquanto Dançarino Cósmico, Shiva é o deus da criação e da destruição que, através da sua dança, sustém o ritmo interminável do universo.

Vishnu surge igualmente sob muitas formas, sendo uma delas o deus Krishna do *Bhagavad Gita*.

Em geral, o papel de Vishnu é o de preservador do universo.

A terceira divindade desta tríade é Shakti, a Mãe Divina, a deusa arquetípica que representa, nas suas muitas formas, a energia feminina do universo.

Shakti surge também como esposa de Shiva, e ambos são frequentemente representados em abraços apaixonados em magníficas esculturas de templos que irradiam uma extraordinária sensualidade, num grau inteiramente desconhecido em qualquer forma de arte religiosa ocidental.

Ao contrário da maioria das religiões ocidentais, o prazer sensual nunca foi reprimido no Hinduísmo, porque o corpo foi sempre considerado parte integrante do ser humano e não algo separado do espírito.

O hindu, portanto, não procura controlar os desejos do corpo através da vontade consciente, mas procura realizar-se com a totalidade do seu ser, corpo e mente.

O Hinduísmo chegou mesmo a desenvolver uma corrente, o Tantrismo medieval, na qual a iluminação é procurada através de uma experiência profunda do amor sensual, *«na qual cada um é ambos»*, de acordo com as palavras dos Upanishads:

> Tal como um homem, quando abraçado pela esposa amada, nada conhece do interior nem do exterior, assim também esta pessoa, quando abraçada pela Alma inteligente, nada conhece do interior nem do exterior.[9]

Shiva esteve intimamente associado a esta forma medieval de misticismo erótico, tal como Shakti e inúmeras outras divindades femininas que existem em grande número na mitologia hindu.

Esta abundância de deusas mostra, mais uma vez, que no Hinduísmo o lado físico e sensual da natureza humana, tradicionalmente associado ao feminino, constitui uma parte plenamente integrada do Divino.

As deusas hindus não são representadas como virgens santas, mas em abraços sensuais de impressionante beleza.



A mente ocidental confunde-se facilmente perante o fabuloso número de deuses e deusas que povoam a mitologia hindu nas suas diversas manifestações e encarnações.

Para compreender como os hindus conseguem lidar com esta multiplicidade de divindades, temos de ter presente a atitude fundamental do Hinduísmo segundo a qual, na sua essência, todas estas divindades são idênticas.

Todas elas são manifestações da mesma realidade divina, refletindo diferentes aspetos do Brahman infinito, omnipresente e — em última análise — incompreensível.

CAPÍTULO 6

Budismo



Durante muitos séculos, o Budismo foi a tradição espiritual dominante em grande parte da Ásia, incluindo os países da Indochina, bem como o Sri Lanka, o Nepal, o Tibete, a China, a Coreia e o Japão.

Tal como o Hinduísmo na Índia, exerceu uma forte influência sobre a vida intelectual, cultural e artística destes países. Ao contrário do Hinduísmo, porém, o Budismo remonta a um único fundador, Siddhartha Gautama, o chamado Buda «*histórico*».

Viveu na Índia em meados do século VI a.C., durante o extraordinário período que assistiu ao aparecimento de tantos génios espirituais e filosóficos: Confúcio e Lao-Tsé na China, Zaratustra na Pérsia, Pitágoras e Heraclito na Grécia.

Se o caráter do Hinduísmo é mitológico e ritualista, o do Budismo é claramente psicológico.

Buda não estava interessado em satisfazer a curiosidade humana acerca da origem do mundo, da natureza do Divino ou de questões semelhantes.

Preocupava-se exclusivamente com a condição humana, com o sofrimento e as frustrações dos seres humanos.

A sua doutrina, portanto, não era de natureza metafísica, mas psicoterapêutica.

Apontou a origem das frustrações humanas e o caminho para as superar, retomando, para esse efeito, os conceitos indianos tradicionais de maya, karma, nirvana, etc., e atribuindo-lhes uma interpretação psicológica nova, dinâmica e diretamente relevante.

Depois da morte de Buda, o Budismo desenvolveu-se em duas escolas principais: Hinayana e Mahayana.

O Hinayana, ou Pequeno Veículo, é uma escola ortodoxa que se mantém fiel à letra dos ensinamentos de Buda, ao passo que o Mahayana, ou Grande Veículo, adota uma atitude mais flexível, considerando que o espírito da doutrina é mais importante do que a sua formulação original.

A escola Hinayana estabeleceu-se no Ceilão, na Birmânia e na Tailândia, enquanto o Mahayana se difundiu pelo Nepal, Tibete, China e Japão, acabando por se tornar a mais importante das duas escolas.

Na própria Índia, o Budismo foi absorvido, após muitos séculos, pelo flexível e assimilador Hinduísmo, e Buda acabou por ser adotado como uma encarnação do deus multifacetado Vishnu.

À medida que o Budismo Mahayana se difundiu pela Ásia, entrou em contato com povos de culturas e mentalidades muito diferentes, que interpretaram a doutrina de Buda a partir dos seus próprios pontos de vista, desenvolvendo em grande detalhe muitos dos seus aspetos subtis e acrescentando as suas próprias ideias originais.

Deste modo, mantiveram o Budismo vivo ao longo dos séculos e desenvolveram filosofias altamente sofisticadas, dotadas de profundas perceções psicológicas.

Apesar do elevado nível intelectual dessas filosofias, porém, o Budismo Mahayana nunca se perde no pensamento especulativo abstrato.

Como acontece sempre no misticismo oriental, o intelecto é encarado apenas como um meio de abrir caminho à experiência mística direta, a que os budistas chamam «*despertar*».

A essência dessa experiência consiste em ultrapassar o mundo das distinções intelectuais e dos opostos para alcançar o domínio de *acintya*, o impensável, onde a realidade surge como *«talidade»* indivisa e indiferenciada.

Foi esta a experiência que Siddhartha Gautama teve certa noite, depois de sete anos de disciplina extenuante nas florestas.

Sentado em profunda meditação sob a célebre Árvore Bodhi, a Árvore da Iluminação, alcançou subitamente a clarificação final e definitiva de todas as suas buscas e dúvidas no ato de *«despertar completo e insuperável»*, que o tornou Buda, isto é, *«o Desperto»*.

Para o mundo oriental, a imagem de Buda em estado de meditação é tão significativa como a imagem de Cristo crucificado para o Ocidente e inspirou inúmeros artistas por toda a Ásia, que criaram magníficas esculturas de Budas em meditação.

Segundo a tradição budista, imediatamente após o seu despertar Buda dirigiu-se ao Parque dos Cervos, em Benares, para pregar a sua doutrina aos seus antigos companheiros eremitas.

Exprimiu-a na célebre forma das Quatro Nobres Verdades, uma apresentação compacta da doutrina essencial que não é muito diferente da declaração de um médico que primeiro identifica a causa da doença da humanidade, depois afirma que a doença pode ser curada e, finalmente, prescreve o remédio.

A Primeira Nobre Verdade enuncia a característica fundamental da condição humana: *duhkha*, isto é, sofrimento ou frustração.

Esta frustração resulta da nossa dificuldade em enfrentar o facto básico da vida: tudo aquilo que nos rodeia é impermanente e transitório.

«Todas as coisas surgem e desaparecem»[1], afirmou Buda, e a noção de que o fluxo e a mudança constituem características fundamentais da natureza encontra-se na raiz do Budismo.

Na perspetiva budista, o sofrimento surge sempre que resistimos ao fluxo da vida e procuramos agarrar-nos a formas fixas, todas elas maya, sejam coisas, acontecimentos, pessoas ou ideias.

Esta doutrina da impermanência inclui também a noção de que não existe nenhum ego, nenhum self que constitua o sujeito permanente das nossas experiências variáveis.

O Budismo sustenta que a ideia de um self individual separado é uma ilusão, apenas mais uma forma de maya, um conceito intelectual sem realidade própria.

Agarrarmo-nos a esse conceito conduz à mesma frustração que a adesão a qualquer outra categoria fixa do pensamento.

A Segunda Nobre Verdade trata da causa de todo o sofrimento: *trishna*, o apego, ou agarrar-se.

É a tentativa inútil de nos agarrarmos à vida com base num ponto de vista incorreto, chamado *avidya*, ou ignorância, na filosofia budista.

A partir dessa ignorância, dividimos o mundo percecionado em coisas individuais e separadas e tentamos, assim, confinar as formas fluidas da realidade em categorias fixas criadas pela mente.

Enquanto esta visão prevalecer, estaremos condenados a experienciar frustração após frustração.

Ao tentarmos agarrar-nos a coisas que vemos como sólidas e permanentes, mas que na realidade são transitórias e estão em constante mudança, ficamos presos num círculo vicioso em que cada ação gera novas ações e a resposta a cada pergunta suscita novas perguntas.

Este círculo vicioso é conhecido no Budismo como *samsara*, o ciclo de nascimento e morte, e é impulsionado pelo karma, a cadeia interminável de causa e efeito.

A Terceira Nobre Verdade afirma que o sofrimento e a frustração podem terminar.

É possível transcender o círculo vicioso do samsara, libertar-se das amarras do karma e alcançar um estado de libertação total chamado *nirvana*.

Neste estado, as falsas noções de um self separado desapareceram para sempre e a unidade de toda a vida tornou-se uma sensação constante.

O nirvana é o equivalente de *moksha* na filosofia hindu e, sendo um estado de consciência para além de todos os conceitos intelectuais, escapa a qualquer descrição posterior.

Alcançar o nirvana é atingir o despertar, ou o estado de Buda.

A Quarta Nobre Verdade é a prescrição de Buda para pôr termo a todo o sofrimento: o Caminho Óctuplo de autodesenvolvimento que conduz ao estado de Buda.

As duas primeiras secções deste caminho, como já foi referido, dizem respeito ao ver correto e ao conhecer correto, isto é, à compreensão clara da condição humana, que constitui o ponto de partida necessário.

As quatro secções seguintes tratam da ação correta.

Fornecem as regras para o modo de vida budista, que constitui um Caminho do Meio entre extremos opostos.

As duas últimas secções dizem respeito à consciência correta e à meditação correta e descrevem a experiência mística direta da realidade, que constitui o objetivo final.

Buda não desenvolveu a sua doutrina num sistema filosófico coerente, mas considerou-a um meio para alcançar a iluminação.

As suas afirmações acerca do mundo limitavam-se a enfatizar a impermanência de todas as *«coisas»*.

Insistia na liberdade relativamente à autoridade espiritual, incluindo a sua própria, afirmando que apenas podia mostrar o caminho para o estado de Buda e que cabia a cada indivíduo percorrê-lo até ao fim através dos seus próprios esforços.

As últimas palavras de Buda no seu leito de morte são características da sua visão do mundo e da sua atitude enquanto mestre.

«A decadência é inerente a todas as coisas compostas», afirmou antes de morrer; *«prossegui com diligência.»*[2]

Nos primeiros séculos após a morte de Buda, os monges mais destacados da ordem budista reuniram vários Grandes Concílios, nos quais todo o ensinamento era recitado em voz alta e as divergências de interpretação eram resolvidas.

No quarto desses concílios, realizado na ilha do Ceilão — Sri Lanka — no século I d.C., a doutrina memorizada, que tinha sido transmitida oralmente durante mais de quinhentos anos, foi pela primeira vez registada por escrito.

Esse registo, escrito em língua páli, é conhecido como Cânone Páli e constitui a base da escola ortodoxa Hinayana.

A escola Mahayana, por outro lado, baseia-se num conjunto de chamados *sutras*, escrituras de enormes dimensões redigidas em sânscrito um ou dois séculos mais tarde, que apresentam os ensinamentos de Buda de forma muito mais elaborada e subtil do que o Cânone Páli.

A escola Mahayana chama a si própria Grande Veículo do Budismo porque oferece aos seus seguidores uma grande variedade de métodos, ou *«meios hábeis»*, para alcançar o estado de Buda.

Estes vão desde doutrinas que enfatizam a fé religiosa nos ensinamentos de Buda até filosofias elaboradas que envolvem conceitos extraordinariamente próximos do pensamento científico moderno.

O primeiro grande expositor da doutrina Mahayana, e um dos pensadores mais profundos entre os patriarcas budistas, foi Ashvaghosha, que viveu no século I d.C.

Expôs as ideias fundamentais do Budismo Mahayana — em particular as relacionadas com o conceito budista de *«talidade»* — num pequeno livro intitulado *O Despertar da Fé*.

Este texto límpido e extraordinariamente belo, que em muitos aspetos faz lembrar o *Bhagavad Gita*, constitui o primeiro tratado

representativo da doutrina Mahayana e tornou-se uma autoridade fundamental para todas as escolas do Budismo Mahayana.

Ashvaghosha exerceu provavelmente uma forte influência sobre Nagarjuna, o mais intelectual dos filósofos Mahayana, que utilizou uma dialética altamente sofisticada para demonstrar as limitações de todos os conceitos acerca da realidade.

Com argumentos brilhantes, demoliu as proposições metafísicas do seu tempo e demonstrou, assim, que a realidade, em última análise, não pode ser apreendida através de conceitos e ideias.

Por isso, deu-lhe o nome de *sunyata*, *«o vazio»*, ou *«vacuidade»*, termo equivalente a *tathata*, ou *«talidade»*, de Ashvaghosha.

Quando se reconhece a inutilidade de todo o pensamento conceptual, a realidade é experienciada como pura talidade.

A afirmação de Nagarjuna de que a natureza essencial da realidade é vacuidade está, portanto, muito longe de constituir a afirmação niilista pela qual é frequentemente tomada.

Significa apenas que todos os conceitos acerca da realidade formados pela mente humana são, em última análise, vazios.

A própria Realidade, ou Vacuidade, não é um estado de mero nada, mas a própria fonte de toda a vida e a essência de todas as formas.

As perspetivas do Budismo Mahayana apresentadas até aqui refletem o seu lado intelectual e especulativo.

Este, contudo, é apenas um dos lados do Budismo.

Complementarmente, existe a consciência religiosa budista, que envolve fé, amor e compaixão.

No Mahayana, a verdadeira sabedoria iluminada (*bodhi*) é considerada composta por dois elementos, a que D. T. Suzuki chamou os *«dois pilares que sustentam o grande edifício do Budismo»*.

São *prajna*, a sabedoria transcendental, ou inteligência intuitiva, e *Karuna*, o amor ou compaixão.

Correspondentemente, a natureza essencial de todas as coisas é descrita no Budismo Mahayana não apenas através dos termos metafísicos abstratos Talidade e Vazio, mas também pelo termo *Dharmakaya*, o *«Corpo do Ser»*, que descreve a realidade tal como esta surge à consciência religiosa do budista.

O Dharmakaya é semelhante ao Brahman do Hinduísmo.

Permeia todas as coisas materiais do universo e reflete-se também na mente humana como *bodhi*, a sabedoria iluminada.

É, assim, simultaneamente espiritual e material.

A ênfase no amor e na compaixão enquanto componentes essenciais da sabedoria encontrou a sua expressão mais forte no ideal do *Bodhisattva*, um dos desenvolvimentos característicos do Budismo Mahayana.

Um Bodhisattva é um ser humano altamente evoluído, a caminho de se tornar Buda, que não procura a iluminação apenas para si próprio, mas fez o voto de ajudar todos os outros seres a alcançar o estado de Buda antes de ele próprio entrar no nirvana.

A origem desta ideia encontra-se na decisão de Buda — apresentada na tradição budista como uma decisão consciente e nada fácil — de não entrar simplesmente no nirvana, mas regressar ao mundo para mostrar aos seus semelhantes o caminho da salvação.

O ideal do Bodhisattva é também coerente com a doutrina budista do não ego, porque, se não existe um self individual separado, a ideia de um indivíduo entrar sozinho no nirvana obviamente deixa de fazer grande sentido.

O elemento da fé, por fim, é enfatizado na chamada escola da Terra Pura do Budismo Mahayana.

A base desta escola é a doutrina budista segundo a qual a natureza original de todos os seres humanos é a de um Buda, e sustenta que, para entrar no nirvana, ou na *«Terra Pura»*, tudo

aquilo que é necessário fazer é ter fé na própria natureza búdica original.

Segundo muitos autores, o pensamento budista atingiu o seu culminar na chamada escola *Avatamsaka*, baseada no sutra do mesmo nome.

Este sutra é considerado o núcleo do Budismo Mahayana e é elogiado por Suzuki nos termos mais entusiásticos:

> **Quanto ao *Avatamsaka-sutra*, é verdadeiramente a consumação do pensamento budista, do sentimento budista e da experiência budista. Na minha opinião, nenhuma literatura religiosa do mundo poderá alguma vez aproximar-se da grandiosidade da conceção, da profundidade do sentimento e da escala gigantesca de composição alcançadas neste sutra. É a fonte eterna da vida, da qual nenhuma mente religiosa se afastará com sede ou apenas parcialmente satisfeita.**[3]

Foi este sutra que, mais do que qualquer outro, estimulou as mentes chinesa e japonesa quando o Budismo Mahayana se difundiu pela Ásia.

O contraste entre chineses e japoneses, por um lado, e indianos, por outro, é tão grande que já se afirmou representarem dois polos da mente humana.

Enquanto os primeiros são práticos, pragmáticos e orientados para a vida social, os segundos são imaginativos, metafísicos e transcendentais.

Quando os filósofos chineses e japoneses começaram a traduzir e interpretar o Avatamsaka, uma das maiores escrituras produzidas pelo génio religioso indiano, os dois polos combinaram-se para formar uma nova unidade dinâmica.

O resultado foi a filosofia *Hua-yen*, na China, e a filosofia *Kegon*, no Japão, que constituem, segundo Suzuki,

> **«o culminar do pensamento budista que se tem vindo a desenvolver no Extremo Oriente ao longo dos últimos dois mil anos».**[4]

O tema central do Avatamsaka é a unidade e a inter-relação de todas as coisas e acontecimentos — uma conceção que não só constitui a própria essência da visão oriental do mundo, como também um dos elementos fundamentais da visão do mundo emergente da física moderna.

Veremos, portanto, que o *Avatamsaka Sutra*, este antigo texto religioso, oferece alguns dos paralelos mais impressionantes com os modelos e teorias da física moderna.

CAPÍTULO 7

O Pensamento Chinês



Barra de tinta de Ch'eng Chung-fang, século XVII.

Quando o Budismo chegou à China, por volta do século I d.C., encontrou uma cultura com mais de dois mil anos de existência. Nessa antiga cultura, o pensamento filosófico tinha atingido o seu apogeu durante o final do período Chou (c. 500–221 a.C.), a idade de ouro da filosofia chinesa, e desde então fora sempre tido na mais elevada consideração.

Desde o início, esta filosofia possuía dois aspetos complementares.

Sendo os chineses um povo prático, dotado de uma consciência social altamente desenvolvida, todas as suas escolas filosóficas se ocupavam, de uma forma ou de outra, da vida em sociedade, das relações humanas, dos valores morais e do governo.

Este, contudo, é apenas um dos aspetos do pensamento chinês.

Complementarmente, existe aquele que corresponde ao lado místico do caráter chinês, segundo o qual o objetivo mais elevado da filosofia deveria ser transcender o mundo da sociedade e da vida quotidiana e alcançar um plano superior de consciência.

Este é o plano do sábio, o ideal chinês do homem iluminado que alcançou a união mística com o universo.

O sábio chinês, contudo, não permanece exclusivamente nesse elevado plano espiritual, mas ocupa-se igualmente dos assuntos do mundo.

Reúne em si os dois lados complementares da natureza humana — sabedoria intuitiva e conhecimento prático, contemplação e ação social — que os chineses associaram às imagens do sábio e do rei.

Nas palavras de Chuang Tzu, os seres humanos plenamente realizados *«pela sua imobilidade tornam-se sábios; pelo seu movimento, reis»*.[1]

Durante o século VI a.C., os dois lados da filosofia chinesa desenvolveram-se em duas escolas filosóficas distintas: o Confucionismo e o Taoismo.

O Confucionismo era a filosofia da organização social, do senso comum e do conhecimento prático. Proporcionou à sociedade

chinesa um sistema de educação e convenções rigorosas de etiqueta social.

Um dos seus principais objetivos era estabelecer uma base ética para o sistema familiar tradicional chinês, com a sua estrutura complexa e os seus rituais de culto dos antepassados.

O Taoismo, por outro lado, ocupava-se sobretudo da observação da natureza e da descoberta do seu Caminho, ou Tao.

Segundo os taoistas, a felicidade humana é alcançada quando se segue a ordem natural, agindo espontaneamente e confiando no conhecimento intuitivo.

Estas duas correntes de pensamento representam polos opostos da filosofia chinesa, mas, na China, foram sempre vistas como polos de uma mesma natureza humana e, portanto, como complementares.

O Confucionismo era geralmente enfatizado na educação das crianças, que tinham de aprender as regras e convenções necessárias à vida em sociedade, ao passo que o Taoismo costumava ser seguido pelas pessoas mais velhas, com o objetivo de recuperar e desenvolver a espontaneidade original destruída pelas convenções sociais.

Nos séculos XI e XII, a escola neoconfucionista procurou realizar uma síntese entre Confucionismo, Budismo e Taoismo, que

culminou na filosofia de Chu Hsi, um dos maiores pensadores chineses de todos os tempos.

Chu Hsi foi um filósofo extraordinário, que combinou a erudição confucionista com uma profunda compreensão do Budismo e do Taoismo, incorporando elementos das três tradições na sua síntese filosófica.

O Confucionismo deriva o seu nome de Kung Fu Tzu, ou Confúcio, um mestre extremamente influente, com um grande número de discípulos, que considerava ser sua principal função transmitir-lhes a antiga herança cultural.

Ao fazê-lo, contudo, foi além de uma simples transmissão de conhecimentos, pois interpretou as ideias tradicionais de acordo com as suas próprias conceções morais.

Os seus ensinamentos baseavam-se nos chamados Seis Clássicos, antigos livros de pensamento filosófico, rituais, poesia, música e história, que representavam a herança espiritual e cultural dos *«sábios sagrados»* do passado da China.

A tradição chinesa associou Confúcio a todas estas obras, quer como autor, comentador ou editor; segundo os estudos modernos, contudo, não foi autor, comentador nem sequer editor de qualquer dos Clássicos.

As suas próprias ideias ficaram conhecidas através do *Lun Yü*, ou *Analectos de Confúcio*, uma coleção de aforismos compilada por alguns dos seus discípulos.

O fundador do Taoismo foi Lao-Tsé, cujo nome significa literalmente *«Velho Mestre»* e que, segundo a tradição, foi um contemporâneo mais velho de Confúcio.

Diz-se que foi o autor de um pequeno livro de aforismos considerado a principal escritura taoista.

Na China, é geralmente chamado simplesmente *Lao-tzu* e, no Ocidente, é habitualmente conhecido como *Tao Te Ching*, o *«Clássico do Caminho e do Poder»*, nome que lhe foi atribuído posteriormente.

Já mencionei o estilo paradoxal e a linguagem poderosa e poética deste livro, que Joseph Needham considera ser *«sem exceção, a obra mais profunda e bela da língua chinesa»*.[2]

O segundo grande livro taoista é o *Chuang-tzu*, uma obra muito mais extensa do que o *Tao Te Ching*, cujo autor, Chuang Tzu, terá vivido cerca de duzentos anos depois de Lao-Tsé.

Segundo os estudos modernos, contudo, nem o *Chuang-tzu*, nem provavelmente o *Lao-tzu*, podem ser considerados obra de um único autor; constituem antes coleções de escritos taoistas compilados por diferentes autores em épocas diferentes.

Tanto os *Analectos de Confúcio* como o *Tao Te Ching* estão escritos no estilo compacto e sugestivo característico da forma chinesa de pensar.

A mente chinesa não era inclinada para o pensamento lógico abstrato e desenvolveu uma linguagem muito diferente daquela que evoluiu no Ocidente.

Muitas das suas palavras podiam ser utilizadas como substantivos, adjetivos ou verbos, e a sua sequência era determinada não tanto por regras gramaticais como pelo conteúdo emocional da frase.

A palavra chinesa clássica era muito diferente de um signo abstrato que representasse um conceito claramente delimitado.

Era antes um símbolo sonoro dotado de um forte poder sugestivo, evocando um complexo indeterminado de imagens pictóricas e emoções.

A intenção de quem falava não era tanto exprimir uma ideia intelectual, mas antes afetar e influenciar o ouvinte.

Correspondentemente, o caráter escrito não era apenas um signo abstrato, mas um padrão orgânico — uma *«gestalt»* — que preservava todo o complexo de imagens e o poder sugestivo da palavra.

Como os filósofos chineses se exprimiam numa linguagem tão adequada à sua forma de pensar, os seus escritos e ditos podiam ser breves e pouco articulados e, contudo, ricos em imagens sugestivas.

É evidente que grande parte dessa riqueza imagética se perde numa tradução inglesa.

A tradução de uma frase do *Tao Te Ching*, por exemplo, só consegue transmitir uma pequena parte do rico complexo de ideias contido no original, razão pela qual diferentes traduções deste controverso livro parecem muitas vezes textos completamente diferentes.

Como afirmou Fung Yu-Lan:

> **«É necessária uma combinação de todas as traduções já realizadas e de muitas outras ainda por realizar para revelar a riqueza do Lao-tzu e dos Analectos de Confúcio na sua forma original.»**[3]

Os chineses, tal como os indianos, acreditavam na existência de uma realidade última subjacente às múltiplas coisas e acontecimentos que observamos e que os unifica:

> Existem os três termos — «completo», «abrangendo tudo», «o todo». Estes nomes são diferentes, mas a realidade procurada através deles é a mesma: referem-se à Única coisa.[4]

Chamaram a essa realidade *Tao*, palavra que originalmente significava *«o Caminho»*.

É o caminho, ou processo, do universo, a ordem da natureza.

Mais tarde, os confucionistas atribuíram-lhe uma interpretação diferente. Falavam do Tao do homem, ou do Tao da sociedade humana, entendendo-o como a forma correta de viver em sentido moral.

No seu sentido cósmico original, o Tao é a realidade última e indefinível e, enquanto tal, equivale ao Brahman hindu e ao Dharmakaya budista.

Difere, contudo, destes conceitos indianos pela sua qualidade intrinsecamente dinâmica, que, na perspetiva chinesa, constitui a própria essência do universo.

O Tao é o processo cósmico no qual todas as coisas estão envolvidas; o mundo é visto como um fluxo e uma mudança contínuos.

O Budismo indiano, com a sua doutrina da impermanência, possuía uma visão bastante semelhante, mas tomava-a apenas como premissa fundamental da condição humana, desenvolvendo depois as suas consequências psicológicas.

Os chineses, por outro lado, não só acreditavam que o fluxo e a mudança eram características essenciais da natureza, como também que existiam padrões constantes nessas mudanças, passíveis de serem observados pelos seres humanos.

O sábio reconhece esses padrões e orienta as suas ações de acordo com eles.

Deste modo, torna-se *«uno com o Tao»*, vivendo em harmonia com a natureza e sendo bem-sucedido em tudo aquilo que empreende.

Nas palavras de Huai Nan Tzu, filósofo do século II a.C.:

> Aquele que se conforma ao curso do Tao, seguindo os processos naturais do Céu e da Terra, acha fácil governar o mundo inteiro.[5]

Quais são, então, os padrões do Caminho cósmico que os seres humanos têm de reconhecer?

A principal característica do Tao é a natureza cíclica do seu movimento e mudança incessantes.

> **«O retorno é o movimento do Tao»,**

afirma Lao-Tsé, e

> **«ir longe significa regressar».**[6]

A ideia é que todos os desenvolvimentos da natureza, tanto os do mundo físico como os das situações humanas, manifestam padrões cíclicos de ida e vinda, de expansão e contração.

Esta ideia foi, sem dúvida, deduzida dos movimentos do Sol e da Lua e da mudança das estações, mas acabou também por ser adotada como regra de vida.

Os chineses acreditam que, sempre que uma situação se desenvolve até ao extremo, está inevitavelmente destinada a inverter-se e a transformar-se no seu oposto.

Esta crença fundamental deu-lhes coragem e perseverança em tempos de adversidade e tornou-os cautelosos e modestos em tempos de êxito.

Conduziu à doutrina do justo meio, na qual tanto taoistas como confucionistas acreditam.

«O sábio», afirma Lao-Tsé,

> **«evita o excesso, a extravagância e a indulgência.»**[7]

Na perspetiva chinesa, é melhor ter demasiado pouco do que demasiado, e é melhor deixar coisas por fazer do que exagerar,

porque, embora deste modo talvez não se chegue muito longe, é certo que se avançará na direção correta.

Tal como o homem que pretende ir cada vez mais para leste acabará por chegar ao oeste, aqueles que acumulam cada vez mais dinheiro com o objetivo de aumentar a sua riqueza acabarão por se tornar pobres.

A sociedade industrial moderna, que procura continuamente aumentar o *«nível de vida»* e, desse modo, diminui a qualidade de vida de todos os seus membros, constitui uma eloquente ilustração desta antiga sabedoria chinesa.

A ideia de padrões cíclicos no movimento do Tao adquiriu uma estrutura definida através da introdução dos opostos polares yin e yang.

São os dois polos que estabelecem os limites dos ciclos de mudança:

> Quando o yang atinge o seu auge, recua em favor do yin; quando o yin atinge o seu auge, recua em favor do yang.[8]

Na perspetiva chinesa, todas as manifestações do Tao são geradas pela interação dinâmica destas duas forças polares.

Esta ideia é muito antiga, e muitas gerações trabalharam sobre o simbolismo do par arquetípico yin e yang até este se tornar o conceito fundamental do pensamento chinês.

O significado original das palavras yin e yang era o dos lados sombrio e soalheiro de uma montanha, significado que oferece uma boa ideia da relatividade dos dois conceitos:

> Aquilo que faz aparecer ora a escuridão, ora a luz, é o Tao.[9]

Desde tempos muito antigos, os dois polos arquetípicos da natureza foram representados não apenas pelo claro e pelo escuro, mas também pelo masculino e pelo feminino, pelo firme e pelo flexível, pelo alto e pelo baixo.

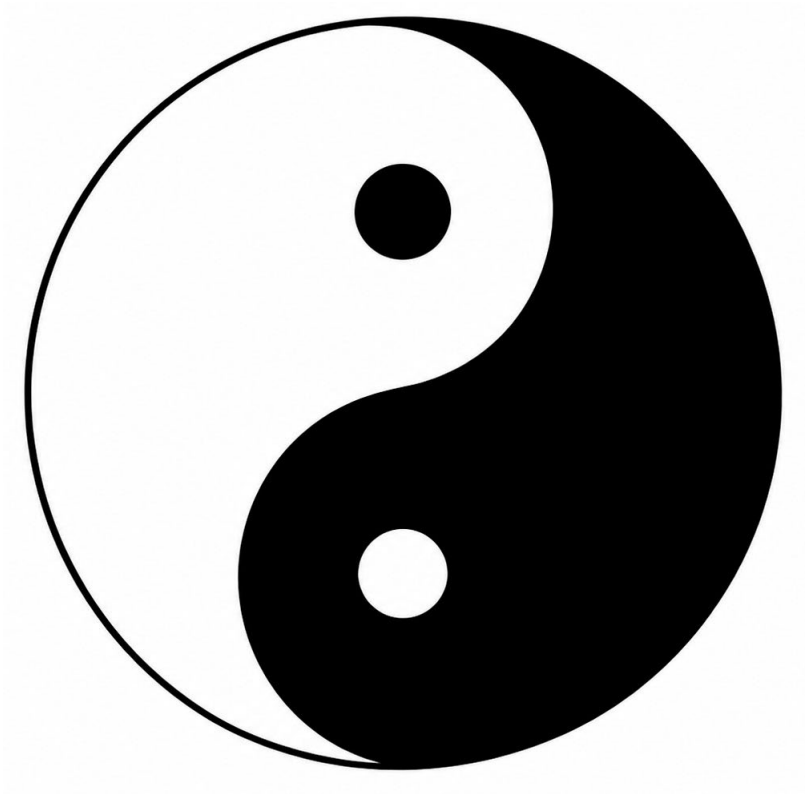
Yang, a força vigorosa, masculina e criadora, estava associado ao Céu, enquanto yin, o elemento escuro, recetivo, feminino e maternal, era representado pela Terra.

O Céu encontra-se acima e está cheio de movimento; a Terra — segundo a antiga visão geocêntrica — encontra-se abaixo e em repouso; assim, yang passou a simbolizar o movimento e yin o repouso.

No domínio do pensamento, yin é a mente complexa, feminina e intuitiva; yang, o intelecto masculino, claro e racional.

Yin é a quietude serena e contemplativa do sábio; yang, a ação forte e criadora do rei.

O caráter dinâmico de yin e yang é ilustrado pelo antigo símbolo chinês chamado *T'ai-chi T'u*, ou *«Diagrama do Supremo Último»*:



Este diagrama apresenta uma disposição simétrica do yin escuro e do yang luminoso, mas a simetria não é estática.

Trata-se de uma simetria rotacional que sugere, de forma muito poderosa, um movimento cíclico contínuo:

O yang regressa ciclicamente ao seu princípio; o yin atinge o seu máximo e dá lugar ao yang.[10]

Os dois pontos do diagrama simbolizam a ideia de que, sempre que uma das duas forças atinge o seu extremo, já contém em si a semente do seu oposto.

O par yin e yang constitui o grande leitmotiv que permeia a cultura chinesa e determina todas as características do modo de vida tradicional chinês.

> **«A vida»,**

afirma Chuang Tzu,

> **«é a harmonia combinada do yin e do yang.»**[11]

Como povo de agricultores, os chineses sempre estiveram familiarizados com os movimentos do Sol e da Lua e com a mudança das estações.

As mudanças sazonais e os fenómenos de crescimento e declínio daí resultantes na natureza orgânica eram, assim, considerados as expressões mais claras da interação entre yin e yang, entre o inverno frio e escuro e o verão luminoso e quente.

A interação sazonal dos dois opostos reflete-se também nos alimentos que ingerimos, que contêm elementos yin e yang.

Para os chineses, uma alimentação saudável consiste em equilibrar esses elementos yin e yang.

A medicina tradicional chinesa baseia-se igualmente no equilíbrio de yin e yang no corpo humano, sendo qualquer doença considerada uma perturbação desse equilíbrio.

O corpo divide-se em partes yin e yang.

Em termos gerais, o interior do corpo é yang e a superfície do corpo é yin; as costas são yang, a frente é yin; e, no interior do corpo, existem órgãos yin e órgãos yang.

O equilíbrio entre todas estas partes é mantido por um fluxo contínuo de *ch'i*, ou energia vital, ao longo de um sistema de «*meridianos*» que contém os pontos de acupuntura.

Cada órgão possui um meridiano associado de tal forma que os meridianos yang pertencem a órgãos yin e vice-versa.

Sempre que o fluxo entre yin e yang fica bloqueado, o corpo adoece, e a doença é tratada introduzindo agulhas nos pontos de acupuntura para estimular e restabelecer o fluxo de ch'i.

A interação de yin e yang, o par primordial de opostos, surge assim como o princípio que orienta todos os movimentos do Tao, mas os chineses não ficaram por aí.

Prosseguiram estudando várias combinações de yin e yang, que desenvolveram num sistema de arquétipos cósmicos.

Este sistema é elaborado no *I Ching*, ou *Livro das Mutações*.

O *Livro das Mutações* é o primeiro dos seis Clássicos Confucionistas e deve ser considerado uma obra situada no próprio coração do pensamento e da cultura chineses.

A autoridade e a consideração de que desfrutou na China ao longo de milhares de anos só podem ser comparadas às das escrituras sagradas, como os Vedas ou a Bíblia, noutras culturas.

O célebre sinólogo Richard Wilhelm começa a introdução à sua tradução da obra com as seguintes palavras:

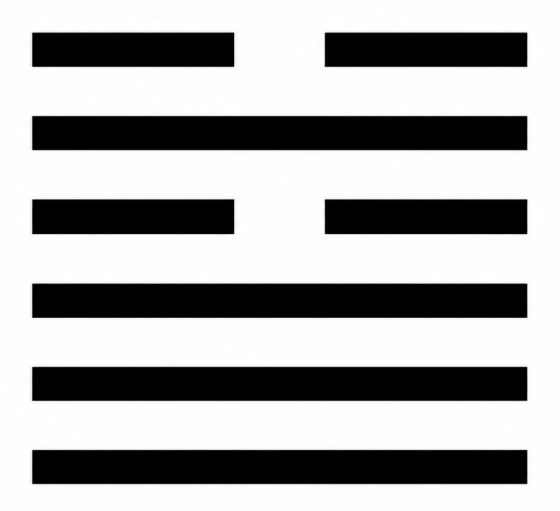
> O *Livro das Mutações — I Ching*, em chinês — é, sem dúvida, um dos livros mais importantes da literatura mundial. A sua origem remonta à Antiguidade mítica, e continuou a ocupar a atenção dos mais eminentes estudiosos da China até aos nossos dias. Quase tudo aquilo que existe de maior e mais significativo nos três mil anos de história cultural chinesa ou encontrou inspiração neste livro, ou exerceu influência sobre a interpretação do seu texto. Pode, portanto, afirmar-se com segurança que a sabedoria amadurecida de milhares de anos contribuiu para a formação do *I Ching*.[12]

O *Livro das Mutações* é, assim, uma obra que cresceu organicamente ao longo de milhares de anos e é constituída por numerosas camadas provenientes dos períodos mais importantes do pensamento chinês.

O ponto de partida do livro foi uma coleção de sessenta e quatro figuras, ou *«hexagramas»*, do tipo seguinte, baseadas no simbolismo yin-yang e utilizadas como oráculos.

Cada hexagrama é constituído por seis linhas, que podem ser interrompidas (yin) ou contínuas (yang), constituindo os sessenta e quatro hexagramas todas as combinações possíveis desse género.

Estes hexagramas, que serão discutidos mais detalhadamente adiante, eram considerados arquétipos cósmicos representativos dos padrões do Tao na natureza e nas situações humanas.



A cada um era atribuído um título e acrescentado um breve texto, chamado *Julgamento*, destinado a indicar o curso de ação adequado ao padrão cósmico em questão.

A chamada *Imagem* é outro breve texto, acrescentado posteriormente, que desenvolve o significado do hexagrama em algumas linhas, frequentemente de grande beleza poética.

Um terceiro texto interpreta cada uma das seis linhas do hexagrama numa linguagem carregada de imagens míticas, muitas vezes difíceis de compreender.

Estas três categorias de textos constituem as partes fundamentais do livro utilizadas para a adivinhação.

Um elaborado ritual envolvendo cinquenta caules de milefólio era utilizado para determinar o hexagrama correspondente à situação pessoal de quem fazia a pergunta.

A ideia consistia em tornar visível no hexagrama o padrão cósmico daquele momento e aprender através do oráculo qual o curso de ação apropriado:

> Nas Mutações existem imagens para revelar; há julgamentos acrescentados para interpretar; a boa fortuna e a desgraça são determinadas para permitir decidir.[13]

O objetivo de consultar o *I Ching* não era, portanto, apenas conhecer o futuro, mas antes descobrir a configuração da situação presente para que pudesse ser adotada a ação adequada.

Esta atitude elevou o *I Ching* acima do nível de um simples livro de adivinhação e transformou-o num livro de sabedoria.

Na realidade, a utilização do *I Ching* como livro de sabedoria possui uma importância muito maior do que a sua utilização como oráculo.

Inspirou as principais figuras intelectuais da China ao longo dos séculos, entre elas Lao-Tsé, que retirou desta fonte alguns dos seus aforismos mais profundos.

Confúcio estudou-o intensamente, e a maioria dos comentários ao texto que constituem as camadas posteriores do livro remonta à sua escola.

Esses comentários, as chamadas *Dez Asas*, combinam a interpretação estrutural dos hexagramas com explicações filosóficas.

No centro dos comentários confucionistas, tal como de todo o *I Ching*, encontra-se a ênfase no aspeto dinâmico de todos os fenómenos.

A transformação incessante de todas as coisas e situações constitui a mensagem essencial do *Livro das Mutações*:

> As Mutações são um livro
> Do qual não se pode permanecer afastado.
> O seu Tao está eternamente em mudança —
> Alteração, movimento sem repouso,
> Fluindo através dos seis lugares vazios,
> Subindo e descendo sem lei fixa,
> O firme e o flexível transformam-se um no outro.

> Não podem ser confinados dentro de uma regra;
> Aqui, apenas a mudança está em ação.[14]

CAPÍTULO 8

Taoismo

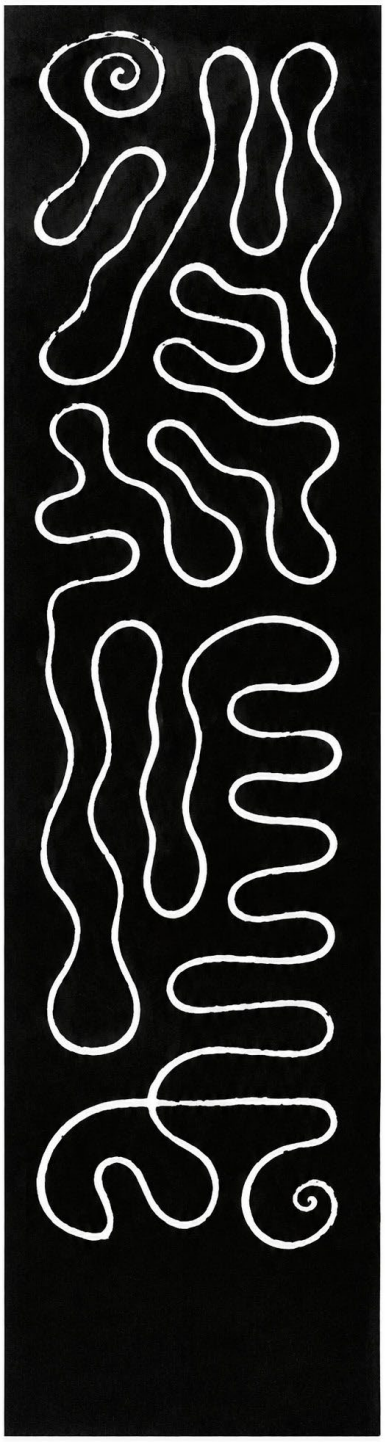


Diagrama mágico do Cânone Taoista, dinastia Sung.

Das duas principais correntes do pensamento chinês, o Confucionismo e o Taoismo, é esta última que possui uma orientação mística e, por isso, se revela mais relevante para a nossa comparação com a física moderna.

Tal como o Hinduísmo e o Budismo, o Taoismo interessa-se pela sabedoria intuitiva, mais do que pelo conhecimento racional.

Reconhecendo as limitações e a relatividade do mundo do pensamento racional, o Taoismo é, fundamentalmente, um caminho de libertação desse mundo e, nesse aspeto, pode ser comparado às vias do Yoga ou do Vedanta no Hinduísmo, ou ao Caminho Óctuplo de Buda.

No contexto da cultura chinesa, a libertação taoista significava, mais especificamente, uma libertação das regras rígidas da convenção.

A desconfiança relativamente ao conhecimento convencional e ao raciocínio é mais forte no Taoismo do que em qualquer outra escola da filosofia oriental.

Baseia-se na firme convicção de que o intelecto humano nunca poderá compreender o Tao.

Nas palavras de Chuang Tzu:

> O conhecimento mais vasto não o conhece necessariamente; o raciocínio não tornará os homens sábios a seu respeito. Os sábios rejeitaram ambos estes métodos.[1]

O livro de Chuang Tzu está repleto de passagens que refletem o desprezo taoista pelo raciocínio e pela argumentação.

Assim afirma:

> Um cão não é considerado bom por ladrar bem, nem um homem é considerado sábio por falar habilmente.[2]

e

A disputa é prova de que não se vê com clareza.[3]

O raciocínio lógico era considerado pelos taoistas parte do mundo artificial criado pelo homem, juntamente com a etiqueta social e os padrões morais.

Não se interessavam de todo por esse mundo, concentrando inteiramente a atenção na observação da natureza, a fim de discernir as «*características do Tao*».

Desenvolveram, assim, uma atitude de caráter essencialmente científico, e apenas a sua profunda desconfiança relativamente ao método analítico os impediu de construir verdadeiras teorias científicas.

Ainda assim, a observação cuidadosa da natureza, combinada com uma forte intuição mística, conduziu os sábios taoistas a perceções profundas que são confirmadas pelas teorias científicas modernas.

Uma das perceções mais importantes dos taoistas foi a compreensão de que a transformação e a mudança são características essenciais da natureza.

Uma passagem do *Chuang-tzu* mostra claramente como a importância fundamental da mudança foi discernida através da observação do mundo orgânico:

> Na transformação e crescimento de todas as coisas, cada botão e cada característica possuem a sua forma própria. Nisto vemos o seu amadurecimento gradual e a sua decadência, o fluxo constante da transformação e da mudança.[4]

Os taoistas viam todas as mudanças na natureza como manifestações da interação dinâmica entre os opostos polares yin e yang e, assim, chegaram à convicção de que qualquer par de opostos constitui uma relação polar na qual cada um dos polos está dinamicamente ligado ao outro.

Para a mente ocidental, esta ideia da unidade implícita de todos os opostos é extremamente difícil de aceitar.

Parece-nos profundamente paradoxal que experiências e valores que sempre julgámos contrários possam, afinal, ser aspetos da mesma coisa.

No Oriente, contudo, sempre se considerou essencial para alcançar a iluminação ir

> **«para além dos opostos terrenos»**[5]

e, na China, a relação polar de todos os opostos encontra-se na própria base do pensamento taoista.

Assim afirma Chuang Tzu:

> O «isto» é também «aquilo». O «aquilo» é também «isto»... Que o «aquilo» e o «isto» deixem de ser opostos constitui a própria essência do Tao. Só esta essência, como se fosse um eixo, é o centro do círculo que responde às mudanças intermináveis.[6]

Da noção de que os movimentos do Tao constituem uma interação contínua entre opostos, os taoistas deduziram duas regras fundamentais para a conduta humana.

Sempre que se pretende alcançar alguma coisa, diziam, deve começar-se pelo seu oposto.

Assim Lao-Tsé:

> Para contrair uma coisa, deve certamente primeiro expandi-la.
> Para enfraquecer, deve certamente primeiro fortalecer.
> Para derrubar, deve certamente primeiro exaltar.
> *«Para receber, deve certamente primeiro dar.»*
> A isto chama-se sabedoria subtil.[7]

Por outro lado, sempre que se pretende conservar alguma coisa, deve admitir-se nela algo do seu oposto:

> Seja curvado, e permanecerá direito.
> Seja vazio, e permanecerá cheio.
> Seja gasto, e permanecerá novo.[8]

Este é o modo de vida do sábio que alcançou um ponto de vista superior, uma perspetiva a partir da qual a relatividade e a relação polar de todos os opostos são claramente percecionadas.

Entre esses opostos encontram-se, antes de mais, os conceitos de bem e mal, que estão inter-relacionados do mesmo modo que yin e yang.

Reconhecendo a relatividade do bem e do mal e, portanto, de todos os padrões morais, o sábio taoista não procura o bem, mas tenta antes manter um equilíbrio dinâmico entre bem e mal.

Chuang Tzu é muito claro a este respeito:

> As afirmações «Não deveremos seguir e honrar o que é correto e nada ter a ver com o que é errado?» e «Não deveremos seguir e honrar aqueles que asseguram um bom governo e nada ter a ver com aqueles que produzem desordem?» revelam desconhecimento dos princípios do Céu e da Terra e das diferentes qualidades das coisas. É como seguir e honrar o Céu sem ter em conta a Terra; é como seguir e honrar o yin sem ter em conta o yang. É evidente que tal caminho não pode ser seguido.[9]

É surpreendente que, precisamente na mesma época em que Lao-Tsé e os seus seguidores desenvolviam a sua visão do mundo, as características essenciais dessa perspetiva taoista fossem também ensinadas na Grécia por um homem cujos ensinamentos

chegaram até nós apenas em fragmentos e que foi, e continua a ser, frequentemente mal compreendido.

Esse *«taoista»* grego foi Heraclito de Éfeso.

Partilhou com Lao-Tsé não apenas a ênfase na mudança contínua, que exprimiu na célebre afirmação *«Tudo flui»*, mas também a noção de que todas as mudanças são cíclicas.

Comparou a ordem do mundo a

> **«um fogo eternamente vivo, acendendo-se segundo medidas e extinguindo-se segundo medidas»**[10],

uma imagem verdadeiramente muito semelhante à ideia chinesa do Tao manifestando-se na interação cíclica de yin e yang.

É fácil perceber como o conceito de mudança enquanto interação dinâmica de opostos conduziu Heraclito, tal como Lao-Tsé, à descoberta de que todos os opostos são polares e, portanto, unidos.

> **«O caminho para cima e para baixo é um e o mesmo»**,

afirmou o grego, e

> **«Deus é dia-noite, inverno-verão, guerra-paz, saciedade-fome.»**[11]

Tal como os taoistas, via qualquer par de opostos como uma unidade e tinha plena consciência da relatividade de todos esses conceitos.

Mais uma vez, as palavras de Heraclito —

> **«As coisas frias aquecem-se, o quente arrefece, o húmido seca, o seco torna-se húmido»**[12]

— fazem lembrar fortemente as de Lao-Tsé:

> **«O fácil dá origem ao difícil… a ressonância harmoniza o som, o depois segue o antes.»**[13]

É surpreendente que a grande semelhança entre as visões do mundo destes dois sábios do século VI a.C. não seja geralmente conhecida.

Heraclito é frequentemente mencionado em ligação com a física moderna, mas quase nunca em ligação com o Taoismo.

E, contudo, é precisamente essa ligação que melhor mostra que a sua visão do mundo era a de um místico e que, na minha opinião, coloca os paralelos entre as suas ideias e as da física moderna na perspetiva correta.

Quando falamos do conceito taoista de mudança, é importante compreender que essa mudança não é vista como ocorrendo em

consequência de alguma força, mas antes como uma tendência inerente a todas as coisas e situações.

Os movimentos do Tao não lhe são impostos; ocorrem natural e espontaneamente.

A espontaneidade é o princípio de ação do Tao e, uma vez que a conduta humana deve modelar-se pelo funcionamento do Tao, a espontaneidade deverá também caracterizar todas as ações humanas.

Para os taoistas, agir em harmonia com a natureza significa, portanto, agir espontaneamente e de acordo com a própria natureza verdadeira.

Significa confiar na inteligência intuitiva, que é inata à mente humana tal como as leis da mudança são inerentes a todas as coisas que nos rodeiam.

As ações do sábio taoista surgem, assim, da sua sabedoria intuitiva, espontaneamente e em harmonia com o ambiente.

Não precisa de se forçar a si próprio, nem de forçar coisa alguma à sua volta; limita-se a adaptar as suas ações aos movimentos do Tao.

Nas palavras de Huai Nan Tzu:

> Aqueles que seguem a ordem natural fluem na corrente do Tao.[14]

Esta forma de agir é chamada *wu-wei* na filosofia taoista, termo que significa literalmente *«não ação»* e que Joseph Needham traduz como *«abster-se de atividades contrárias à natureza»*, justificando esta interpretação com uma citação do *Chuang-tzu*:

> Não ação não significa não fazer nada e permanecer em silêncio. Deixe-se que tudo faça aquilo que naturalmente faz, para que a sua natureza fique satisfeita.[15]

Se alguém se abstiver de agir contra a natureza ou, como diz Needham, de *«ir contra a natureza das coisas»*, estará em harmonia com o Tao e, desse modo, as suas ações serão bem-sucedidas.

É este o significado das palavras aparentemente tão enigmáticas de Lao-Tsé:

> **«Pela não ação, tudo pode ser realizado.»**[16]

O contraste entre yin e yang não é apenas o princípio fundamental de ordenação de toda a cultura chinesa, mas reflete-se também nas duas correntes dominantes do pensamento chinês.

O Confucionismo era racional, masculino, ativo e dominador.

O Taoismo, por outro lado, enfatizava tudo aquilo que era intuitivo, feminino, místico e flexível.

> **«Não saber que se sabe é o melhor»,**

afirma Lao-Tsé, e

> **«O sábio conduz os seus assuntos sem ação e transmite os seus ensinamentos sem palavras.»**[17]

Os taoistas acreditavam que, manifestando as qualidades femininas e flexíveis da natureza humana, seria mais fácil levar uma vida perfeitamente equilibrada e em harmonia com o Tao.

O seu ideal encontra a melhor expressão numa passagem do *Chuang-tzu* que descreve uma espécie de paraíso taoista:

> Os homens de antigamente, quando a condição caótica ainda não se tinha desenvolvido, partilhavam a tranquila serenidade que pertencia ao mundo inteiro. Nessa época, yin e yang encontravam-se em harmonia e imóveis; o seu repouso e movimento decorriam sem qualquer perturbação; as quatro estações possuíam os seus tempos definidos; nenhuma coisa sofria qualquer dano, e nenhum ser vivo chegava prematuramente ao fim. Os homens podiam possuir a faculdade do conhecimento, mas não tinham ocasião de a utilizar. Era aquilo a que se chama o estado de perfeita unidade. Nesse tempo, não havia ação por parte de ninguém — apenas uma manifestação constante de espontaneidade.[18]

CAPÍTULO 9

Zen



Caligrafia de Ryokwan, século XVIII.

Quando a mente chinesa entrou em contato com o pensamento indiano sob a forma do Budismo, por volta do século I d.C., ocorreram dois desenvolvimentos paralelos.

Por um lado, a tradução dos sutras budistas estimulou os pensadores chineses e levou-os a interpretar os ensinamentos do Buda indiano à luz das suas próprias filosofias.

Surgiu, assim, um intercâmbio de ideias extraordinariamente fecundo que culminou, como já foi referido, na escola Hua-yen (em sânscrito: Avatamsaka) do Budismo na China e na escola Kegon no Japão.

Por outro lado, o lado pragmático da mentalidade chinesa respondeu ao impacto do Budismo indiano concentrando-se nos seus aspetos práticos e desenvolvendo-os numa forma especial de disciplina espiritual a que foi dado o nome de Ch'an, palavra habitualmente traduzida por meditação.

Esta filosofia Ch'an acabou por ser adotada pelo Japão, por volta do ano 1200 d.C., e tem sido aí cultivada, sob o nome de Zen, como tradição viva até aos nossos dias.

O Zen é, assim, uma combinação única das filosofias e idiossincrasias de três culturas diferentes.

É um modo de vida tipicamente japonês e, contudo, reflete o misticismo da Índia, o amor taoista pela naturalidade e pela espontaneidade e o profundo pragmatismo da mente confucionista.

Apesar do seu caráter bastante particular, o Zen é, na sua essência, inteiramente budista, porque o seu objetivo não é outro senão o do próprio Buda: alcançar a iluminação, experiência conhecida no Zen como *satori*.

A experiência da iluminação constitui a essência de todas as escolas da filosofia oriental, mas o Zen é singular por se concentrar exclusivamente nessa experiência e não se interessar por quaisquer interpretações posteriores.

Nas palavras de Suzuki,

> **«Zen é disciplina na iluminação.»**

Do ponto de vista do Zen, o despertar de Buda e o seu ensinamento de que todos possuem o potencial para alcançar esse despertar constituem a essência do Budismo.

O restante da doutrina, tal como é exposto nos volumosos sutras, é considerado suplementar.

A experiência do Zen é, portanto, a experiência de satori e, uma vez que essa experiência transcende, em última análise, todas as categorias do pensamento, o Zen não se interessa por qualquer abstração ou conceptualização.

Não possui uma doutrina ou filosofia particular, nem credos formais ou dogmas, e sustenta que esta liberdade relativamente a todas as crenças fixas é aquilo que o torna verdadeiramente espiritual.

Mais do que qualquer outra escola do misticismo oriental, o Zen está convencido de que as palavras nunca podem exprimir a verdade última.

Deve ter herdado esta convicção do Taoismo, que demonstrava a mesma atitude intransigente.

> **«Se alguém pergunta acerca do Tao e outro lhe responde»,**

afirmou Chuang Tzu,

> **«nenhum deles o conhece.»**[1]

Contudo, a experiência Zen pode ser transmitida de mestre para discípulo e, de facto, tem sido transmitida ao longo de muitos séculos através de métodos próprios do Zen.

Numa síntese clássica de quatro versos, o Zen é descrito como:

> Uma transmissão especial fora das escrituras,
> Não fundada em palavras nem letras,
> Apontando diretamente para a mente humana,
> Vendo a própria natureza e alcançando o estado de Buda.

Esta técnica de *«apontar diretamente»* constitui o caráter particular do Zen.

É típica da mente japonesa, mais intuitiva do que intelectual, que prefere apresentar os factos como factos, sem grandes comentários.

Os mestres Zen não eram dados à verbosidade e desprezavam toda a teorização e especulação.

Desenvolveram, por isso, métodos destinados a apontar diretamente para a verdade através de ações ou palavras súbitas e espontâneas, que expõem os paradoxos do pensamento conceptual

e que, tal como os koans já mencionados, procuram interromper o processo de pensamento para preparar o estudante para a experiência mística.

Esta técnica é bem ilustrada pelos seguintes exemplos de breves conversas entre mestre e discípulo.

Nestas conversas, que constituem grande parte da literatura Zen, os mestres falam o menos possível e utilizam as palavras para desviar a atenção dos discípulos dos pensamentos abstratos para a realidade concreta.

Um monge, pedindo instrução, disse a Bodhidharma:

> **«Não tenho paz de espírito. Por favor, pacifique a minha mente.»**
>
> **«Traga aqui a sua mente diante de mim»,**

respondeu Bodhidharma,

> **«e eu pacificá-la-ei!»**
>
> **«Mas, quando procuro a minha própria mente»,**

disse o monge,

> **«não consigo encontrá-la.»**
>
> **«Aí está!»,**

respondeu bruscamente Bodhidharma,

> **«pacifiquei a sua mente!»**[2]

Um monge disse a Joshu:

> **«Acabei de entrar no mosteiro. Por favor, ensine-me.»**

Joshu perguntou:

> **«Já comeu a sua papa de arroz?»**

O monge respondeu:

> **«Já comi.»**

Joshu disse:

> **«Então é melhor lavar a sua tigela.»**[3]

Estes diálogos evidenciam outro aspeto característico do Zen.

No Zen, iluminação não significa afastamento do mundo; significa, pelo contrário, participação ativa nos assuntos da vida quotidiana.

Este ponto de vista agradou profundamente à mentalidade chinesa, que atribuía grande importância a uma vida prática e produtiva e à ideia de continuidade da família, e que não podia aceitar o caráter monástico do Budismo indiano.

Os mestres chineses enfatizaram sempre que Ch'an, ou Zen, é a nossa experiência quotidiana, a *«mente quotidiana»*, como proclamou Ma-tsu.

A sua ênfase recaía no despertar no meio dos assuntos da vida quotidiana, e deixavam claro que viam a vida quotidiana não apenas como o caminho para a iluminação, mas como a própria iluminação.

No Zen, satori significa a experiência imediata da natureza de Buda de todas as coisas.

Entre essas coisas encontram-se, antes de mais, os objetos, acontecimentos e pessoas envolvidos na vida quotidiana, de modo que, embora enfatize os aspetos práticos da vida, o Zen continua a ser profundamente místico.

Vivendo inteiramente no presente e dedicando plena atenção aos assuntos do quotidiano, aquele que alcançou satori experiencia a maravilha e o mistério da vida em cada ato:

> Que maravilha isto, que mistério!
> Transporto lenha, tiro água.[4]

A perfeição do Zen consiste, portanto, em viver a vida quotidiana de forma natural e espontânea.

Quando perguntaram a Po-chang como definiria o Zen, respondeu:

> **«Quando tiver fome, coma; quando estiver cansado, durma.»**

Embora isto pareça simples e evidente, como tantas coisas no Zen, é na realidade uma tarefa bastante difícil.

Recuperar a naturalidade da nossa natureza original exige um longo treino e constitui uma grande realização espiritual.

Nas palavras de um célebre dito Zen:

> **Antes de estudar Zen, as montanhas são montanhas e os rios são rios; enquanto estuda Zen, as montanhas deixam de ser montanhas e os rios deixam de ser rios; mas, depois de alcançar a iluminação, as montanhas voltam a ser montanhas e os rios voltam a ser rios.**

A ênfase que o Zen coloca na naturalidade e na espontaneidade revela claramente as suas raízes taoistas, mas a base dessa ênfase é estritamente budista.

Assenta na crença na perfeição da nossa natureza original, na compreensão de que o processo de iluminação consiste simplesmente em tornarmo-nos aquilo que já somos desde o princípio.

Quando perguntaram ao mestre Zen Po-chang acerca da procura da natureza de Buda, respondeu:

> **«É muito semelhante a cavalgar um boi à procura do boi.»**

Existem atualmente no Japão duas escolas principais de Zen, que diferem nos seus métodos de ensino.

A escola Rinzai, ou *«súbita»*, utiliza o método dos koans, já discutido num capítulo anterior, e atribui grande importância às entrevistas formais periódicas com o mestre, chamadas *sanzen*, durante as quais é pedido aos estudantes que apresentem a sua compreensão do koan que procuram resolver.

A resolução de um koan envolve longos períodos de intensa concentração que culminam na súbita perceção de satori.

Um mestre experiente sabe quando o estudante atingiu o limiar da iluminação súbita e consegue precipitá-lo na experiência de satori através de atos inesperados, como uma pancada com um bastão ou um grito forte.

A escola Soto, ou *«gradual»*, evita os métodos de choque do Rinzai e procura o amadurecimento gradual do estudante Zen,

> **«como a brisa da primavera que acaricia a flor, ajudando-a a desabrochar»**[5].

Defende a *«meditação sentada em quietude»* e a utilização do trabalho quotidiano como duas formas de meditação.

Tanto a escola Soto como a Rinzai atribuem a máxima importância ao *zazen*, ou meditação sentada, praticada diariamente durante muitas horas nos mosteiros Zen.

A postura e a respiração corretas envolvidas nesta forma de meditação são as primeiras coisas que todo o estudante Zen tem de aprender.

No Zen Rinzai, o zazen é utilizado para preparar a mente intuitiva para lidar com o koan, enquanto a escola Soto o considera o meio mais importante para ajudar o estudante a amadurecer e a evoluir em direção ao satori.

Mais do que isso, é considerado a própria realização da natureza de Buda, com corpo e mente fundidos numa unidade harmoniosa que não necessita de qualquer aperfeiçoamento posterior.

Como diz um poema Zen:

> Sentado tranquilamente, sem fazer nada,
> A primavera chega, e a erva cresce por si própria.[6]

Uma vez que o Zen afirma que a iluminação se manifesta nos assuntos da vida quotidiana, exerceu uma enorme influência sobre todos os aspetos do modo de vida tradicional japonês.

Estes incluem não apenas as artes da pintura, da caligrafia, da conceção de jardins, etc., e os vários ofícios artesanais, mas

também atividades cerimoniais como servir chá ou dispor flores, bem como as artes marciais do tiro com arco, da esgrima e do judo.

Cada uma destas atividades é conhecida no Japão como um *do*, isto é, um Tao ou *«caminho»* para a iluminação.

Todas exploram diversas características da experiência Zen e podem ser utilizadas para treinar a mente e colocá-la em contato com a realidade última.

Já mencionei as atividades lentas e ritualizadas do *cha-no-yu*, a cerimónia japonesa do chá, o movimento espontâneo da mão exigido pela caligrafia e pela pintura e a espiritualidade do *bushido*, o *«caminho do guerreiro»*.

Todas estas artes constituem expressões da espontaneidade, simplicidade e presença total da mente características da vida Zen.

Embora todas exijam o aperfeiçoamento da técnica, o verdadeiro domínio só é alcançado quando a técnica é transcendida e a arte se torna uma *«arte sem arte»*, emergindo do inconsciente.

Temos a sorte de possuir uma maravilhosa descrição de uma *«arte sem arte»* desta natureza no pequeno livro de Eugen Herrigel, *Zen na Arte do Tiro com Arco*.

Herrigel passou mais de cinco anos com um célebre mestre japonês para aprender a sua arte *«mística»*, e oferece-nos no seu

livro um relato pessoal da forma como experienciou o Zen através do tiro com arco.

Descreve como o tiro com arco lhe foi apresentado como um ritual religioso que é *«dançado»* através de movimentos espontâneos, sem esforço e sem finalidade.

Foram necessários muitos anos de prática árdua, que transformaram todo o seu ser, para aprender a retesar o arco *«espiritualmente»*, com uma espécie de força sem esforço, e a libertar a corda *«sem intenção»*, deixando o disparo *«cair do arqueiro como um fruto maduro»*.

Quando atingiu o ponto máximo de perfeição, arco, flecha, alvo e arqueiro fundiram-se uns nos outros, e não era ele que disparava: *«isso»* disparava por ele.

A descrição do tiro com arco feita por Herrigel constitui um dos relatos mais puros do Zen, precisamente porque não fala de Zen em momento algum.

$$\mathcal{L} = \bar{\psi} i\gamma^\mu \partial_\mu \psi - ig\bar{\psi}\gamma^\mu (RU)\psi - m\bar{\psi}\psi + \frac{\kappa}{16\pi}\,\mathrm{Tr}(D^\mu U D_\mu U^\dagger)$$
$$= \bar{N} i\gamma^\mu (D_\mu + M_\pi) N - m\bar{N}N + \frac{\kappa}{16\pi}\,\mathrm{Tr}(D^\mu U D_\mu U^\dagger)$$
$$N = U^{\psi}\psi$$

$$D_\mu U = \partial_\mu U - 2igff_\pi \rho_\mu^a (\psi_\pi^a \vec{\tau}_r^a) + igff_\delta \vec{\tau}\vec{e}_\mu - 2gf_\rho \vec{\rho}_\mu \vec{\zeta}$$
$$D_\mu N = \partial_\mu N - ig\left[\sigma\frac{\vec{\tau}}{2} - (1+\gamma^5)ff_\rho(\vec{\tau}\times\vec{\rho}) + \frac{i+f}{2f}(\vec{\tau}\times\vec{\rho})\vec{\zeta}\right] N\vec{\rho}_\mu$$
$$- ig\left[(1+\gamma^5)f_\delta \sigma\frac{\vec{\tau}}{2} - f_\rho(\vec{\tau}\times\vec{\rho}) + (1+\gamma^5)f_\pi\frac{i+f}{2f}(\vec{\tau}\times\vec{\rho})\vec{\zeta}\right] N\vec{e}_\mu$$
$$M_\pi = U^\dagger m_\pi^2 U^\dagger + \frac{\kappa}{2}(U^\dagger \partial_\mu U^\dagger)U^\mu$$
$$U = \sigma(i\psi^a) + 2iff_\rho\rho(i\psi^a)\vec{\tau}\vec{\psi}$$

$$\mathcal{L} = \bar{N} i\gamma^\mu (D_\mu + M_\pi) N - m\bar{N}N + \frac{\kappa}{16\pi}\,\mathrm{Tr}\left(D^\mu U D_\mu U^\dagger\right)$$
$$- \frac{1}{4}\vec{R}^{\mu\nu}\vec{R}_{\mu\nu} - \frac{1}{4}\vec{A}^{\mu\nu}\vec{A}_{\mu\nu} + \frac{1}{2}m_\rho^2\left(\vec{r}^{\,\mu}\vec{r}_\mu + \vec{a}^{\,\mu}\vec{a}_\mu\right)$$
$$\vec{R}_{\mu\nu} = \partial_\mu\vec{\rho}_\nu - \partial_\nu\vec{\rho}_\mu + g(\vec{\rho}_\mu\times\vec{\rho}_\nu) + g(\vec{a}_\mu\times\vec{a}_\nu)$$
$$\vec{A}_{\mu\nu} = \partial_\mu\vec{a}_\nu - \partial_\nu\vec{a}_\mu + g(\vec{\rho}_\mu\times\vec{a}_\nu) + g(\vec{r}_\mu\times\vec{a}_\nu)$$
$$\gamma\vec{R}_\mu \to g\vec{V}_\mu' + m_j\vec{r}_\mu\ ,\quad \vec{V}_\mu \to \vec{V}_\mu' + \frac{1}{g}\gamma\vec{R}_\mu$$
$$\gamma\vec{A}_\mu \to g\vec{A}_\mu' + m_j\vec{a}_\mu\ ,\quad \vec{A}_\mu \to \vec{A}_\mu' + \frac{1}{g}\gamma\vec{A}_\mu$$

$$[V_\mu^a(x,t), V_\nu^b(y,t)] = [A_\mu^a(x,t), A_\nu^b(y,t)] = i\,\epsilon^{abc}\,V_\mu^c(x,t)\,\delta^3(x-y)$$
$$[V_\mu^a(x,t), A_\nu^b(y,t)] = [A_\mu^a(x,t), V_\nu^b(y,t)] = i\,\epsilon^{abc}\,A_\mu^c(x,t)\,\delta^3(x-y)$$
$$[V_\nu^a(x,t), A_\mu^b(y,t)] = [A_\nu^a(x,t), V_\mu^b(y,t)] = i\,\epsilon^{abc}\,A_\nu^c(x,t)\,\delta^3(x-y)$$
$$[V_\nu^a(x,t), V_\mu^b(y,t)] = [A_\nu^a(x,t), A_\mu^b(y,t)] = i\,\epsilon^{abc}\,V_\nu^c(x,t)\,\delta^3(x-y)$$

PARTE TRÊS

Os Paralelos

१ म ७ अष्ट ।]

ऋतस्य यज्ञस्य धूर्षदं धरि निर्वरुणे मीढ्वां यज्ञनिबांधकमग्निं मिथुन मिवमिव समिधान: दध्रेदीप्यमान: ऋच्यते । प्रसाधयति । ऋच्यति: प्रसाधनकर्मा । दध्रान: । सम्यग्दीप्यमान: । ऋक: । ज्ञानाग्निदादिभिराक्रान्त: । अन्यैरनाक्रान्तो वा । ऋमेम्क्रान्दसो ड: । विदथेषु । यज्ञेषु वेदयत्सु लोकेषु निमित्तभूतेषु दीप्यत् स्वयं दीप्यमानोऽग्निर्दीप्यां धियं प्रज्ञां यागादिविषयां शुक्लवर्णां शुभ्रवर्णां निर्मलां ज्योतिष्टोमादि कर्म वा उद् यंयते । उद्योतय-त्येव । यमेर्लेट्यडागम: । मिप् । उपसर्गोऽवधारणे । धीरिति कर्म-नाम । धी: शमीति तच्छमस् पाठात् ॥

मन्त्र: ।

अप्रयुच्छन्नप्रयुच्छद्भिरग्ने
शिवेभिर्नः पायुभिः पाहि शग्मैः ।
अदब्धेभिरदृपितेभिरिष्टेऽ-
निमिषद्भिः परि पाहि नो जाः ॥ ८ ॥

पदपाठः ।

अप्रयुच्छन् । अप्रयुच्छद्भिः । अग्ने । शिवेभिः । नः । पायुभिः । पाहि । शग्मैः । अदब्धेभिः । अदृपितेभिः । दृष्टे । अनिमिषद्भिः । परि । पाहि । नः । जाः । ८ ॥

[1.ª secção]

Aquele que, de manhã, ao acordar, recita mentalmente e com concentração este auspicioso mantra, livre de defeitos, recordando devotamente Viṣṇu e os outros deuses, alcança a pureza. Alcança uma mente serena. Alcança longevidade. Alcança prosperidade. Torna-se famoso. Os seus pecados são destruídos. Livra-se das perturbações dos espíritos malignos. Todos os obstáculos são afastados. Graças à grandeza deste mantra, os seres humanos obtêm todos os bens desejados, que são difíceis de alcançar. Este é um mantra muito excelente, que concede sabedoria, e que deve ser recitado diariamente por todas as pessoas.

Mantra

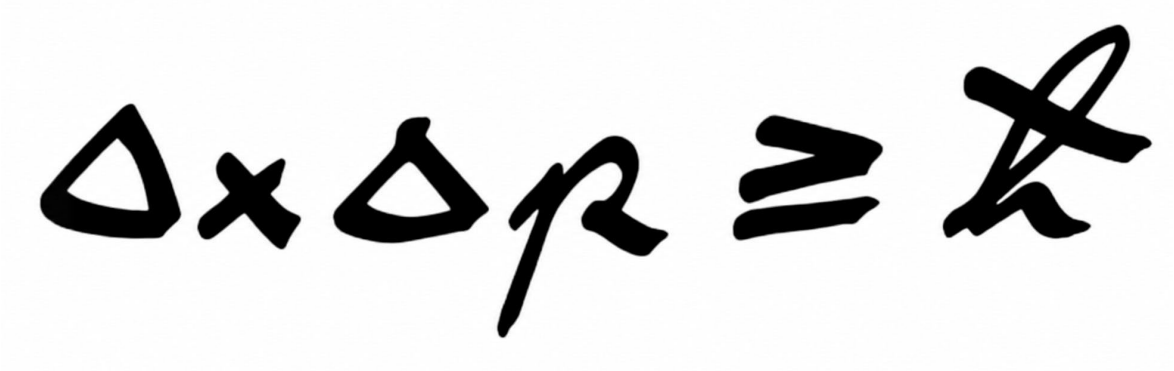
Que aquele supremo Senhor Viṣṇu,
de forma auspiciosa e benéfica,
afaste para longe todos os obstáculos
e proteja-nos sempre.

Separação das palavras

aquela (aquele); supremo (suprema); Senhor (Senhor); Viṣṇu (Viṣṇu); de forma (de modo); auspiciosa (auspicioso); e (e); benéfica (benéfico); afaste (afaste); para (para); longe (longe); todos (todos); os obstáculos (os obstáculos); e (e); proteja (proteja); -nos (nos); sempre (sempre).

CAPÍTULO 10

A Unidade de Todas as Coisas



Embora as tradições espirituais descritas nos cinco capítulos anteriores difiram em muitos pormenores, a sua visão do mundo é essencialmente a mesma. É uma visão baseada na experiência mística — numa experiência direta e não intelectual da realidade — e essa experiência possui várias características fundamentais independentes do contexto geográfico, histórico ou cultural do místico.

Um hindu e um taoista podem enfatizar diferentes aspetos da experiência; um budista japonês pode interpretar a sua experiência em termos muito diferentes dos utilizados por um budista indiano; mas os elementos fundamentais da visão do mundo desenvolvida em todas estas tradições são os mesmos.

Esses elementos parecem ser também as características fundamentais da visão do mundo que está a emergir da física moderna.

A característica mais importante da visão oriental do mundo — poder-se-ia quase dizer a sua própria essência — é a consciência da unidade e da inter-relação mútua de todas as coisas e acontecimentos, a experiência de todos os fenómenos do mundo como manifestações de uma unidade fundamental.

Todas as coisas são vistas como partes interdependentes e inseparáveis deste todo cósmico; como diferentes manifestações da mesma realidade última.

As tradições orientais referem-se constantemente a esta realidade última e indivisível, que se manifesta em todas as coisas e da qual todas as coisas fazem parte.

No Hinduísmo, chama-se Brahman; no Budismo, Dharmakaya; no Taoismo, Tao.

Como transcende todos os conceitos e categorias, os budistas chamam-lhe também Tathata, ou Talidade:

> **Aquilo que se entende por alma enquanto talidade é a unidade da totalidade de todas as coisas, o grande todo que tudo inclui.**[1]

Na vida quotidiana, não temos consciência desta unidade de todas as coisas, mas dividimos o mundo em objetos e acontecimentos separados.

Esta divisão é, evidentemente, útil e necessária para lidarmos com o nosso ambiente quotidiano, mas não constitui uma característica fundamental da realidade.

É uma abstração concebida pelo nosso intelecto discriminador e categorizador.

Acreditar que os nossos conceitos abstratos de *«coisas»* e *«acontecimentos»* separados são realidades da natureza constitui uma ilusão.

Hindus e budistas dizem-nos que essa ilusão se baseia em *avidya*, ou ignorância, produzida por uma mente sob o domínio de maya.

O principal objetivo das tradições místicas orientais consiste, portanto, em reajustar a mente, centrando-a e aquietando-a através da meditação.

O termo sânscrito para meditação — *samadhi* — significa literalmente *«equilíbrio mental»*.

Refere-se ao estado mental equilibrado e tranquilo no qual é experienciada a unidade fundamental do universo:

> **Entrando no samadhi da pureza, [obtém-se] uma perceção que tudo penetra e que permite tomar consciência da unidade absoluta do universo.**[2]

A unidade fundamental do universo não constitui apenas a característica central da experiência mística, mas é também uma das revelações mais importantes da física moderna.

Torna-se evidente ao nível atómico e manifesta-se cada vez mais à medida que penetramos mais profundamente na matéria, até ao domínio das partículas subatómicas.

A unidade de todas as coisas e acontecimentos será um tema recorrente ao longo da nossa comparação entre a física moderna e a filosofia oriental.

Ao estudarmos os vários modelos da física subatómica, veremos que exprimem repetidamente, de formas diferentes, a mesma perceção: os constituintes da matéria e os fenómenos fundamentais que os envolvem estão todos interligados, inter-relacionados e interdependentes; não podem ser compreendidos como entidades isoladas, mas apenas como partes integrantes do todo.

Neste capítulo, discutirei de que modo a noção da interligação fundamental da natureza surge na teoria quântica — a teoria dos

fenómenos atómicos — através de uma análise cuidadosa do processo de observação.*

Antes de entrar nesta discussão, tenho de regressar à distinção entre o enquadramento matemático de uma teoria e a sua interpretação verbal.

O enquadramento matemático da teoria quântica passou por inúmeros testes bem-sucedidos e é atualmente aceite universalmente como uma descrição coerente e precisa de todos os fenómenos atómicos.

A interpretação verbal, por outro lado — isto é, a metafísica da teoria quântica — assenta numa base muito menos sólida.

Na realidade, em mais de quarenta anos, os físicos não conseguiram fornecer um modelo metafísico claro.

A discussão que se segue baseia-se na chamada interpretação de Copenhaga da teoria quântica, desenvolvida por Bohr e Heisenberg no final da década de 1920 e que continua a ser o modelo mais amplamente aceite.

---

* Embora tenha suprimido toda a matemática e simplificado consideravelmente a análise, a discussão que se segue poderá, ainda assim, parecer bastante seca e técnica. Talvez deva ser encarada como um exercício *«ióguico»* que — tal como muitos exercícios da formação espiritual das tradições orientais — pode não ser muito divertido, mas poderá conduzir a uma perceção profunda e bela da natureza essencial das coisas.

Na minha discussão, seguirei a apresentação de Henry Stapp, da Universidade da Califórnia[3], que se concentra em determinados aspetos da teoria e num certo tipo de situação experimental frequentemente encontrado na física subatómica.*

A apresentação de Stapp mostra com particular clareza como a teoria quântica implica uma interligação essencial da natureza e coloca também a teoria num enquadramento que pode ser facilmente estendido aos modelos relativísticos das partículas subatómicas que serão discutidos mais adiante.

O ponto de partida da interpretação de Copenhaga é a divisão do mundo físico num sistema observado — *«objeto»* — e num sistema observador.

O sistema observado pode ser um átomo, uma partícula subatómica, um processo atómico, etc.

O sistema observador consiste no aparelho experimental e incluirá um ou vários observadores humanos.

Surge então uma séria dificuldade do facto de os dois sistemas serem tratados de maneiras diferentes.

* Outros aspetos da teoria quântica serão discutidos nos capítulos seguintes.

O sistema observador é descrito nos termos da física clássica, mas esses termos não podem ser utilizados de forma coerente para descrever o *«objeto»* observado.

Sabemos que os conceitos clássicos são inadequados ao nível atómico e, contudo, temos de utilizá-los para descrever as nossas experiências e comunicar os resultados.

Não existe forma de escapar a este paradoxo.

A linguagem técnica da física clássica é apenas um refinamento da nossa linguagem quotidiana e é a única linguagem de que dispomos para comunicar os resultados experimentais.

Os sistemas observados são descritos na teoria quântica em termos de probabilidades.

Isto significa que nunca podemos prever com certeza onde estará uma partícula subatómica num determinado momento, nem de que forma ocorrerá um processo atómico.

Tudo o que podemos fazer é prever probabilidades.

Por exemplo, a maioria das partículas subatómicas atualmente conhecidas são instáveis, isto é, desintegram-se — ou *«decaem»* — noutras partículas após determinado período.

Contudo, não é possível prever exatamente esse momento.

Só podemos prever a probabilidade de decaimento após determinado intervalo de tempo ou, por outras palavras, o tempo de vida médio de um grande número de partículas do mesmo tipo.

O mesmo se aplica ao *«modo»* de decaimento.

Em geral, uma partícula instável pode decair em várias combinações de outras partículas e, novamente, não podemos prever qual a combinação que determinada partícula irá seguir.

Tudo o que podemos prever é que, de um grande número de partículas, 60 por cento, por exemplo, decairão de uma forma, 30 por cento de outra e 10 por cento de uma terceira.

É evidente que previsões estatísticas deste género exigem muitas medições para serem verificadas.

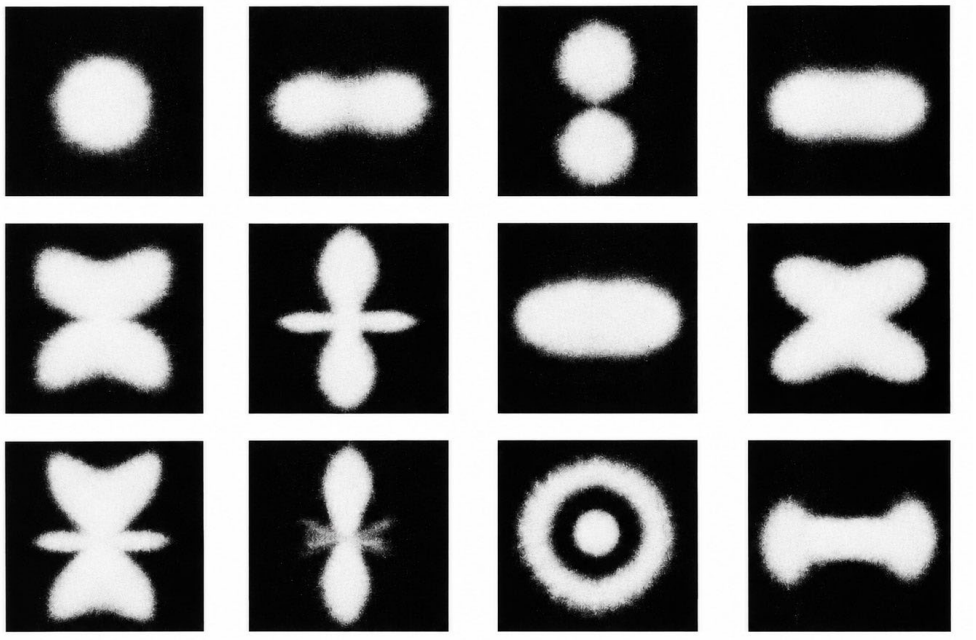
Na realidade, nas experiências de colisão da física de altas energias são registadas e analisadas dezenas de milhares de colisões de partículas para determinar a probabilidade de determinado processo.

É importante compreender que a formulação estatística das leis da física atómica e subatómica não reflete a nossa ignorância da situação física, como acontece com o uso de probabilidades pelas companhias de seguros ou pelos jogadores.

Na teoria quântica, passámos a reconhecer a probabilidade como uma característica fundamental da realidade atómica, que governa todos os processos e até a própria existência da matéria.

As partículas subatómicas não existem com certeza em lugares definidos, mas manifestam antes *«tendências para existir»*, e os acontecimentos atómicos não ocorrem com certeza em momentos definidos e de maneiras definidas, mas manifestam antes *«tendências para ocorrer»*.

Não é possível, por exemplo, dizer com certeza onde estará um eletrão num átomo em determinado momento.



modelos visuais de padrões de probabilidade

A sua posição depende da força de atração que o liga ao núcleo atómico e da influência dos outros eletrões do átomo.

Estas condições determinam um padrão de probabilidades que representa as tendências do eletrão para se encontrar em várias regiões do átomo.

A imagem acima mostra alguns modelos visuais desses padrões de probabilidade.

É mais provável que o eletrão seja encontrado onde os padrões são luminosos e menos provável que esteja presente onde são escuros.

O ponto importante é que todo o padrão representa o eletrão num determinado momento.

Dentro do padrão, não podemos falar da posição do eletrão, mas apenas das suas tendências para se encontrar em determinadas regiões.

No formalismo matemático da teoria quântica, essas tendências, ou probabilidades, são representadas pela chamada função de probabilidade, uma grandeza matemática relacionada com as probabilidades de encontrar o eletrão em diferentes lugares e em diferentes momentos.

O contraste entre os dois tipos de descrição — termos clássicos para a configuração experimental e funções de probabilidade para os objetos observados — conduz a profundos problemas metafísicos que ainda não foram resolvidos.

Na prática, contudo, estes problemas são contornados descrevendo o sistema observador em termos operacionais, isto é, em termos de instruções que permitem aos cientistas montar e realizar as suas experiências.

Deste modo, os dispositivos de medição e os cientistas são efetivamente reunidos num único sistema complexo que não possui partes distintas e claramente definidas, e o aparelho experimental não precisa de ser descrito como uma entidade física isolada.

Para a discussão posterior do processo de observação, será útil considerar um exemplo concreto, e a entidade física mais simples que podemos utilizar é uma partícula subatómica, como o eletrão.

Se quisermos observar e medir uma partícula deste género, temos primeiro de a isolar, ou mesmo criá-la, num processo que podemos chamar processo de preparação.

Depois de a partícula ter sido preparada para observação, as suas propriedades podem ser medidas, constituindo isto o processo de medição.

A situação pode ser representada simbolicamente da seguinte forma.

Uma partícula é preparada na região A, desloca-se de A para B e é medida na região B.

Na prática, tanto a preparação como a medição da partícula podem consistir numa série inteira de processos bastante complexos.

Nas experiências de colisão da física de altas energias, por exemplo, a preparação das partículas utilizadas como projéteis consiste em fazê-las circular numa trajetória circular e acelerá-las até que a sua energia seja suficientemente elevada.

Este processo ocorre no acelerador de partículas.

Quando é atingida a energia desejada, as partículas são levadas a abandonar o acelerador (A) e a deslocar-se até à região-alvo (B), onde colidem com outras partículas.

Estas colisões ocorrem numa câmara de bolhas, onde as partículas produzem rastos visíveis que são fotografados.

As propriedades das partículas são então deduzidas através de uma análise matemática dos seus rastos; essa análise pode ser bastante complexa e é frequentemente realizada com a ajuda de computadores.

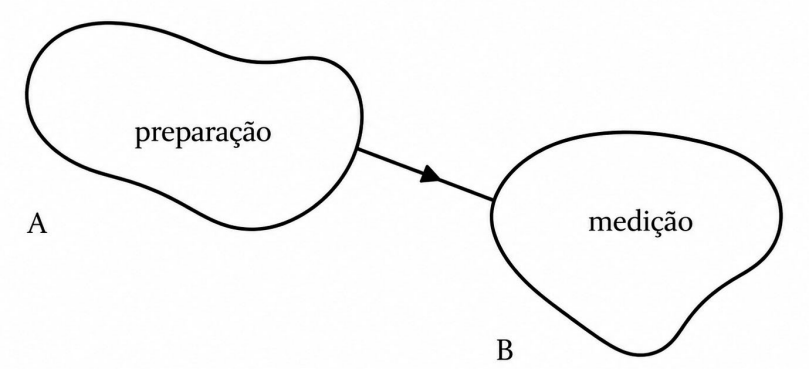
Todos estes processos e atividades constituem o ato de medição.

O ponto importante nesta análise da observação é que a partícula constitui um sistema intermédio que liga os processos em A e B.

Existe e possui significado apenas neste contexto; não como entidade isolada, mas como uma interligação entre os processos de preparação e medição.

As propriedades da partícula não podem ser definidas independentemente destes processos.

Se a preparação ou a medição forem modificadas, as propriedades da partícula também se alterarão.



observação de uma partícula na física atómica

Por outro lado, o facto de falarmos da *«partícula»*, ou de qualquer outro sistema observado, mostra que temos em mente alguma entidade física independente que é primeiro preparada e depois medida.

O problema fundamental da observação na física atómica é, portanto — nas palavras de Henry Stapp — que *«o sistema observado tem de estar isolado para poder ser definido, mas em interação para poder ser observado»*.[4]

Este problema é resolvido pragmaticamente na teoria quântica, exigindo-se que o sistema observado esteja livre das perturbações externas provocadas pelo processo de observação durante algum intervalo entre a sua preparação e a medição subsequente.

Pode esperar-se que esta condição seja satisfeita se os dispositivos de preparação e medição estiverem fisicamente separados por uma grande distância, de modo que o objeto observado possa deslocar-se da região de preparação até à região de medição.

Qual terá então de ser essa distância?

Em princípio, deverá ser infinita.

No enquadramento da teoria quântica, o conceito de uma entidade física distinta só pode ser definido com precisão se essa entidade estiver infinitamente afastada dos agentes de observação.

Na prática, evidentemente, isto não é possível; nem sequer é necessário.

Devemos recordar aqui a atitude fundamental da ciência moderna: todos os seus conceitos e teorias são aproximados.

No caso presente, isto significa que o conceito de uma entidade física distinta não necessita de uma definição precisa, podendo ser definido aproximadamente.

Isto é feito da seguinte maneira.

O objeto observado é uma manifestação da interação entre os processos de preparação e medição.

Essa interação é geralmente complexa e envolve vários efeitos que se estendem por diferentes distâncias; possui diferentes *«alcances»*, como dizemos em física.

Se a parte dominante da interação tiver um longo alcance, a manifestação deste efeito de longo alcance percorrerá uma grande distância.

Ficará então livre de perturbações externas e poderá ser considerada uma entidade física distinta.

No enquadramento da teoria quântica, as entidades físicas distintas são, portanto, idealizações que só possuem significado na medida em que a parte principal da interação tenha um longo alcance.

Uma situação deste género pode ser definida matematicamente de maneira precisa.

Fisicamente, significa que os dispositivos de medição são colocados suficientemente afastados para que a sua principal interação ocorra através da troca de uma partícula ou, em casos mais complexos, de uma rede de partículas.

Existirão sempre outros efeitos presentes, mas, enquanto a separação entre os dispositivos de medição for suficientemente grande, esses efeitos podem ser desprezados.

Só quando os dispositivos não estão suficientemente afastados é que os efeitos de curto alcance se tornam dominantes.

Nesse caso, todo o sistema macroscópico forma um todo unificado e a própria noção de objeto observado deixa de funcionar.

A teoria quântica revela, assim, uma interligação essencial do universo.

Mostra que não podemos decompor o mundo em unidades mínimas dotadas de existência independente.*

À medida que penetramos na matéria, descobrimos que ela é constituída por partículas, mas estas não são *«blocos fundamentais de construção»* no sentido de Demócrito e Newton.

São apenas idealizações úteis do ponto de vista prático, mas sem significado fundamental.

* Ver o Posfácio para uma discussão mais aprofundada desta interligação quântica em termos das ligações «não locais» implicadas pelo teorema de Bell.

Nas palavras de Niels Bohr:

> **«As partículas materiais isoladas são abstrações, sendo as suas propriedades definíveis e observáveis apenas através da sua interação com outros sistemas.»**[5]

A interpretação de Copenhaga da teoria quântica não é universalmente aceite.

Existem várias propostas alternativas e os problemas filosóficos envolvidos estão longe de estar resolvidos.

A interligação universal das coisas e dos acontecimentos, contudo, parece ser uma característica fundamental da realidade atómica que não depende de uma interpretação específica da teoria matemática.

A passagem seguinte, retirada de um artigo recente de David Bohm, um dos principais opositores da interpretação de Copenhaga, confirma este facto de forma particularmente eloquente:

> **Somos conduzidos a uma nova noção de totalidade indivisa que rejeita a ideia clássica de que o mundo possa ser analisado em partes separadas e dotadas de existência independente… Invertemos a noção clássica habitual segundo a qual as «partes elementares» independentes do mundo constituem a realidade fundamental e os vários sistemas são apenas formas e disposições particulares e contingentes dessas partes. Em vez disso, afirmamos que a interligação quântica inseparável de todo o universo constitui a realidade fundamental e que as partes que se comportam de**

> **maneira relativamente independente são apenas formas particulares e contingentes dentro desse todo.**[6]

Ao nível atómico, portanto, os objetos materiais sólidos da física clássica dissolvem-se em padrões de probabilidades, e esses padrões não representam probabilidades de coisas, mas antes probabilidades de interligações.

A teoria quântica obriga-nos a ver o universo não como uma coleção de objetos físicos, mas como uma complexa teia de relações entre as várias partes de um todo unificado.

É, contudo, desta forma que os místicos orientais têm experienciado o mundo, e alguns deles exprimiram essa experiência através de palavras quase idênticas às utilizadas pelos físicos atómicos.

Eis dois exemplos:

> **O objeto material torna-se... algo diferente daquilo que agora vemos, não um objeto separado tendo como pano de fundo ou ambiente o resto da natureza, mas uma parte indivisível e, de uma forma subtil, até uma expressão da unidade de tudo aquilo que vemos.**[7]
>
> **As coisas derivam o seu ser e a sua natureza da dependência mútua e nada são em si próprias.**[8]

Se estas afirmações poderiam ser tomadas como descrições da forma como a natureza aparece na física atómica, as duas afirmações seguintes, feitas por físicos atómicos, poderiam, por sua vez, ser lidas como descrições da experiência mística da natureza:

> **Uma partícula elementar não é uma entidade independente, existente por si própria e impossível de analisar. É, essencialmente, um conjunto de relações que se estendem para outras coisas.[9]**
>
> **O mundo surge, assim, como um complexo tecido de acontecimentos, no qual ligações de diferentes tipos se alternam, sobrepõem ou combinam, determinando desse modo a textura do todo.[10]**

A imagem de uma teia cósmica interligada, que emerge da física atómica moderna, tem sido amplamente utilizada no Oriente para transmitir a experiência mística da natureza.

Para os hindus, Brahman é o fio unificador da teia cósmica, o fundamento último de todo o ser:

> **Aquele sobre quem o céu, a terra e a atmosfera**
> **Estão tecidos, e o vento, juntamente com todos os sopros vitais,**
> **Conheça apenas Esse como a única Alma.[11]**

No Budismo, a imagem da teia cósmica desempenha um papel ainda mais importante.

O núcleo do *Avatamsaka Sutra*, uma das principais escrituras do Budismo Mahayana, é a descrição do mundo como uma rede perfeita de relações mútuas, na qual todas as coisas e acontecimentos interagem entre si de uma forma infinitamente complexa.

Os budistas Mahayana desenvolveram numerosas parábolas e analogias para ilustrar esta inter-relação universal, algumas das

quais serão discutidas mais adiante, em ligação com a versão relativística da *«filosofia da teia»* na física moderna.

Por fim, a teia cósmica desempenha um papel central no Budismo Tântrico, um ramo do Mahayana que surgiu na Índia por volta do século III d.C. e que constitui atualmente a principal escola do Budismo tibetano.

As escrituras desta escola são chamadas *Tantras*, palavra cuja raiz sânscrita significa *«tecer»* e que se refere ao entrelaçamento e à interdependência de todas as coisas e acontecimentos.

No misticismo oriental, este entrelaçamento universal inclui sempre o observador humano e a sua consciência, e isto também se verifica na física atómica.

Ao nível atómico, os *«objetos»* só podem ser compreendidos em termos da interação entre os processos de preparação e medição.

O fim desta cadeia de processos situa-se sempre na consciência do observador humano.

As medições são interações que criam *«sensações»* na nossa consciência — por exemplo, a sensação visual de um clarão luminoso ou de uma mancha escura numa chapa fotográfica — e as leis da física atómica dizem-nos com que probabilidade um objeto atómico dará origem a determinada sensação se o deixarmos interagir connosco.

«A ciência natural», afirma Heisenberg,

> **«não se limita a descrever e explicar a natureza; faz parte da interação entre a natureza e nós próprios.»**[12]

A característica crucial da física atómica é que o observador humano não é apenas necessário para observar as propriedades de um objeto, mas é necessário até para definir essas propriedades.

Na física atómica, não podemos falar das propriedades de um objeto enquanto tal.

Só possuem significado no contexto da interação do objeto com o observador.

Nas palavras de Heisenberg:

> **«Aquilo que observamos não é a própria natureza, mas a natureza exposta ao nosso método de questionamento.»**[13]

O observador decide de que forma irá configurar a medição, e essa configuração determinará, até certo ponto, as propriedades do objeto observado.

Se a configuração experimental for modificada, as propriedades do objeto observado alterar-se-ão por sua vez.

Isto pode ser ilustrado através do simples caso de uma partícula subatómica.

Ao observar uma partícula deste género, podemos escolher medir — entre outras grandezas — a posição da partícula e o seu momento linear, grandeza definida como a massa da partícula multiplicada pela sua velocidade.

Veremos no capítulo seguinte que uma importante lei da teoria quântica — o princípio da incerteza de Heisenberg — afirma que estas duas grandezas nunca podem ser medidas simultaneamente com precisão.

Podemos obter um conhecimento preciso da posição da partícula e permanecer completamente ignorantes relativamente ao seu momento — e, portanto, à sua velocidade — ou vice-versa; ou podemos possuir um conhecimento aproximado e impreciso de ambas as grandezas.

O ponto importante é que esta limitação nada tem a ver com a imperfeição das nossas técnicas de medição.

É uma limitação de princípio, inerente à realidade atómica.

Se decidirmos medir precisamente a posição da partícula, a partícula simplesmente não possui um momento bem definido; e, se decidirmos medir o momento, não possui uma posição bem definida.

Na física atómica, portanto, o cientista não pode desempenhar o papel de observador objetivo e distanciado, mas torna-se envolvido no mundo que observa, na medida em que influencia as propriedades dos objetos observados.

John Wheeler considera este envolvimento do observador a característica mais importante da teoria quântica e propôs, por isso, substituir a palavra *«observador»* pela palavra *«participante»*.

Nas palavras do próprio Wheeler:

> **Nada é mais importante no princípio quântico do que isto: ele destrói o conceito de um mundo que simplesmente «está ali fora», com o observador em segurança, separado dele por uma placa de vidro de vinte centímetros. Mesmo para observar um objeto tão minúsculo como um eletrão, tem de quebrar o vidro. Tem de estender a mão para dentro. Tem de instalar o equipamento de medição que escolheu. Cabe-lhe decidir se medirá a posição ou o momento. Instalar o equipamento para medir um impede e exclui a instalação do equipamento necessário para medir o outro. Além disso, a medição altera o estado do eletrão. O universo nunca mais será o mesmo depois disso. Para descrever aquilo que aconteceu, temos de riscar a velha palavra «observador» e colocar no seu lugar a nova palavra «participante». Num sentido estranho, o universo é um universo participativo.**[14]

A ideia de *«participação em vez de observação»* só recentemente foi formulada na física moderna, mas é uma ideia bem conhecida de qualquer estudante do misticismo.

O conhecimento místico nunca pode ser obtido apenas através da observação, mas somente pela participação plena de todo o ser.

A noção de participante é, assim, crucial para a visão oriental do mundo, e os místicos orientais levaram esta noção ao extremo, até um ponto em que observador e observado, sujeito e objeto, não só são inseparáveis como se tornam indistinguíveis.

Os místicos não se satisfazem com uma situação análoga à da física atómica, em que observador e observado não podem ser separados, mas ainda podem ser distinguidos.

Vão muito mais longe e, em meditação profunda, chegam a um ponto em que a distinção entre observador e observado desaparece completamente, onde sujeito e objeto se fundem num todo unificado e indiferenciado.

Assim dizem os Upanishads:

> **Onde existe dualidade, por assim dizer, aí um vê o outro; aí um cheira o outro; aí um saboreia o outro... Mas onde tudo se tornou o próprio self de alguém, então através de quê e a quem se veria? Através de quê e a quem se cheiraria? Através de quê e a quem se saborearia?**[15]

Esta é, portanto, a apreensão final da unidade de todas as coisas.

É alcançada — dizem-nos os místicos — num estado de consciência em que a individualidade se dissolve numa unidade indiferenciada, em que o mundo dos sentidos é transcendido e a noção de «*coisas*» é deixada para trás.

Nas palavras de Chuang Tzu:

> **A minha ligação ao corpo e às suas partes dissolve-se. Os meus órgãos de perceção são abandonados. Deixando assim para trás a minha forma material e despedindo-me do meu conhecimento, torno-me uno com o Grande Impregnador. A isto chamo sentar-se e esquecer todas as coisas.**[16]

A física moderna, evidentemente, trabalha num enquadramento muito diferente e não pode ir tão longe na experiência da unidade de todas as coisas.

Contudo, deu um grande passo em direção à visão do mundo dos místicos orientais através da teoria atómica.

A teoria quântica aboliu a noção de objetos fundamentalmente separados, introduziu o conceito de participante para substituir o de observador e poderá até considerar necessário incluir a consciência humana na sua descrição do mundo.*

Passou a ver o universo como uma teia interligada de relações físicas e mentais, cujas partes só são definidas através das suas ligações ao todo.

Para resumir a visão do mundo emergente da física atómica, as palavras de um budista tântrico, Lama Anagarika Govinda, parecem perfeitamente apropriadas:

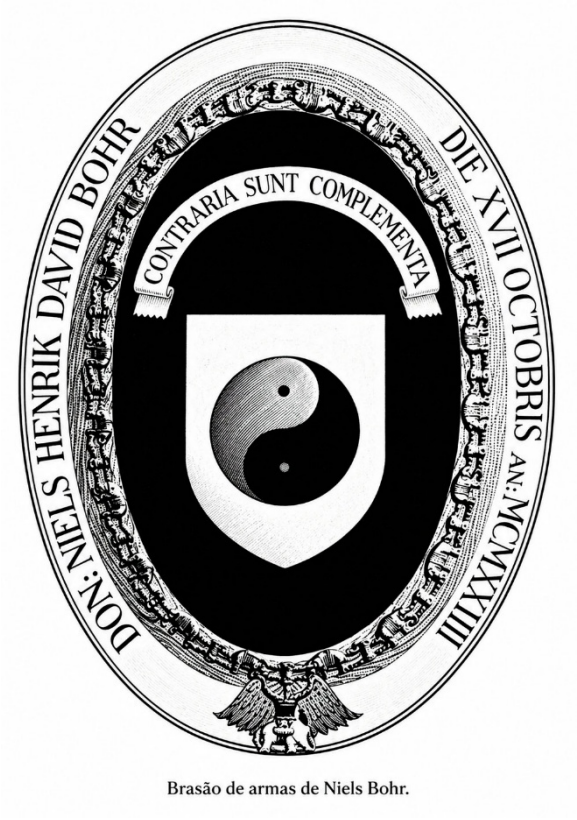
---

* Este ponto será discutido mais aprofundadamente no Capítulo 18.

> O budista não acredita num mundo exterior independente ou dotado de existência separada, em cujas forças dinâmicas pudesse inserir-se. O mundo exterior e o seu mundo interior são, para ele, apenas dois lados do mesmo tecido, no qual os fios de todas as forças e de todos os acontecimentos, de todas as formas de consciência e dos seus objetos, estão entretecidos numa rede inseparável de relações intermináveis e mutuamente condicionadas.[17]

CAPÍTULO 11

Para Além do Mundo dos Opostos



Brasão de armas de Niels Bohr.

Quando os místicos orientais nos dizem que experienciam todas as coisas e acontecimentos como manifestações de uma unidade fundamental, isso não significa que afirmem que todas as coisas são iguais.

Reconhecem a individualidade das coisas, mas, ao mesmo tempo, têm consciência de que todas as diferenças e contrastes são relativos dentro de uma unidade que tudo abrange.

Como, no nosso estado normal de consciência, esta unidade de todos os contrastes — e, em particular, a unidade dos opostos — é extremamente difícil de aceitar, ela constitui uma das características mais desconcertantes da filosofia oriental.

Trata-se, contudo, de uma perceção que se encontra na própria raiz da visão oriental do mundo.

Os opostos são conceitos abstratos pertencentes ao domínio do pensamento e, enquanto tais, são relativos.

Pelo simples ato de concentrarmos a atenção num determinado conceito, criamos o seu oposto.

Como afirma Lao-Tsé:

> **«Quando todos no mundo reconhecem a beleza como bela, então existe a fealdade; quando todos reconhecem a bondade como boa, então existe o mal.»**[1]

Os místicos transcendem este domínio dos conceitos intelectuais e, ao transcendê-lo, tomam consciência da relatividade e da relação polar de todos os opostos.

Compreendem que o bem e o mal, o prazer e a dor, a vida e a morte não são experiências absolutas pertencentes a categorias diferentes, mas apenas dois lados da mesma realidade; extremos de um único todo.

A consciência de que todos os opostos são polares e, portanto, constituem uma unidade é considerada um dos objetivos mais elevados do ser humano nas tradições espirituais do Oriente.

> **«Sê verdadeiramente eterno, para além dos opostos terrenos!»**

é o conselho de Krishna no *Bhagavad Gita*, e o mesmo conselho é dado aos seguidores do Budismo.

Assim escreve D. T. Suzuki:

> **A ideia fundamental do Budismo é ultrapassar o mundo dos opostos, um mundo construído por distinções intelectuais e impurezas emocionais, e realizar o mundo espiritual da não distinção, o que implica alcançar um ponto de vista absoluto.**[2]

Todo o ensinamento budista — e, na realidade, todo o misticismo oriental — gira em torno deste ponto de vista absoluto, alcançado no mundo de *acintya*, ou *«não pensamento»*, onde a unidade de todos os opostos se transforma numa experiência vívida.

Nas palavras de um poema Zen:

> Ao anoitecer, o galo anuncia a alvorada;
> À meia-noite, o Sol brilhante.[3]

A noção de que todos os opostos são polares — de que luz e escuridão, vitória e derrota, bem e mal são apenas diferentes aspetos do mesmo fenómeno — constitui um dos princípios fundamentais do modo de vida oriental.

Uma vez que todos os opostos são interdependentes, o conflito entre eles nunca pode resultar na vitória total de um dos lados, mas será sempre uma manifestação da interação entre ambos.

No Oriente, uma pessoa virtuosa não é, portanto, aquela que empreende a tarefa impossível de lutar pelo bem e eliminar o mal, mas antes aquela que consegue manter um equilíbrio dinâmico entre bem e mal.

Esta noção de equilíbrio dinâmico é essencial à forma como a unidade dos opostos é experienciada no misticismo oriental.

Nunca se trata de uma identidade estática, mas sempre de uma interação dinâmica entre dois extremos.

Este ponto foi enfatizado de forma particularmente extensa pelos sábios chineses através do simbolismo dos polos arquetípicos yin e yang.

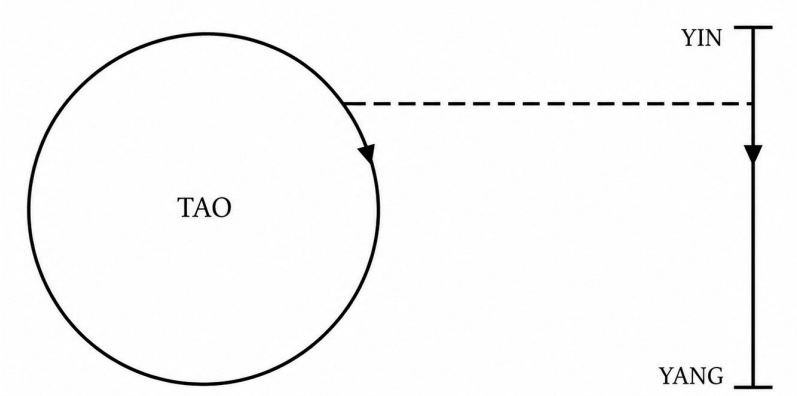
Chamaram Tao à unidade subjacente a yin e yang e viram-no como um processo que produz a sua interação:

> **«Aquilo que faz aparecer ora a escuridão, ora a luz, é o Tao.»**[4]

A unidade dinâmica dos opostos polares pode ser ilustrada através do exemplo simples de um movimento circular e da sua projeção.

Suponha uma bola a mover-se ao longo de uma circunferência.

Se este movimento for projetado sobre um ecrã, transforma-se numa oscilação entre dois pontos extremos.



unidade dinâmica dos opostos polares

(Para manter a analogia com o pensamento chinês, escrevi TAO dentro do círculo e assinalei os pontos extremos da oscilação com YIN e YANG.)

A bola desloca-se ao longo da circunferência a uma velocidade constante, mas, na projeção, abranda à medida que se aproxima da extremidade, inverte o sentido e volta a acelerar, apenas para voltar a abrandar — e assim sucessivamente, em ciclos intermináveis.

Em qualquer projeção deste género, o movimento circular aparecerá como uma oscilação entre dois pontos opostos, mas, no próprio movimento, os opostos estão unificados e transcendidos.

Esta imagem de uma unificação dinâmica dos opostos estava, de facto, profundamente presente na mente dos pensadores chineses, como se pode verificar na passagem do *Chuang-tzu* anteriormente citada*:

> **Que o «aquilo» e o «isto» deixem de ser opostos constitui a própria essência do Tao. Só esta essência, como se fosse um eixo, é o centro do círculo que responde às mudanças intermináveis.**

Uma das principais polaridades da vida é aquela que existe entre os lados masculino e feminino da natureza humana.

Tal como acontece com a polaridade entre o bem e o mal, ou entre a vida e a morte, tendemos a sentir-nos desconfortáveis com a polaridade masculino/feminino dentro de nós próprios e, por isso, damos proeminência a um dos lados.

A sociedade ocidental favoreceu tradicionalmente o lado masculino em detrimento do feminino.

Em vez de reconhecer que a personalidade de cada homem e de cada mulher resulta de uma interação entre elementos femininos e masculinos, estabeleceu uma ordem estática em que se supõe que todos os homens sejam masculinos e todas as mulheres femininas,

* Página 238

atribuindo aos homens os papéis dominantes e a maior parte dos privilégios da sociedade.

Esta atitude resultou numa sobrevalorização de todos os aspetos yang — ou masculinos — da natureza humana: atividade, pensamento racional, competição, agressividade, etc.

Os modos de consciência yin — ou femininos —, que podem ser descritos através de palavras como intuitivo, religioso, místico, oculto ou psíquico, têm sido continuamente reprimidos na nossa sociedade orientada para o masculino.



Shiva Mahesvara, Elefanta, Índia, século VIII d.C.



Shiva Ardhanari, Elefanta, Índia, século VIII d.C.

No misticismo oriental, estes modos femininos são desenvolvidos e procura-se alcançar uma unidade entre os dois aspetos da natureza humana.

Um ser humano plenamente realizado é aquele que, nas palavras de Lao-Tsé,

> **«conhece o masculino e, contudo, permanece junto do feminino».**

Em muitas tradições orientais, o equilíbrio dinâmico entre os modos masculino e feminino de consciência constitui o principal objetivo da meditação e é frequentemente ilustrado em obras de arte.

Uma magnífica escultura de Shiva no templo hindu de Elephanta apresenta três rostos do deus: à direita, o seu perfil masculino, exprimindo virilidade e força de vontade; à esquerda, o seu aspeto feminino — suave, encantador, sedutor —; e, ao centro, a sublime união dos dois aspetos na magnífica cabeça de Shiva Mahesvara, o Grande Senhor, irradiando serena tranquilidade e distanciamento transcendental.

No mesmo templo, Shiva é também representado sob forma andrógina — metade masculino, metade feminino —, simbolizando o movimento fluido do corpo do deus e o sereno desapego do seu rosto, mais uma vez, a unificação dinâmica do masculino e do feminino.

No Budismo Tântrico, a polaridade masculino/feminino é frequentemente ilustrada através de símbolos sexuais.

A sabedoria intuitiva é vista como a qualidade passiva e feminina da natureza humana, enquanto o amor e a compaixão são vistos como qualidades ativas e masculinas, e a união de ambas no processo de iluminação é representada através de abraços sexuais extáticos entre divindades masculinas e femininas.

Os místicos orientais afirmam que uma união deste género entre os nossos modos masculino e feminino só pode ser experienciada num plano superior de consciência, no qual o domínio do pensamento e da linguagem é transcendido e todos os opostos surgem como uma unidade dinâmica.

Já afirmei que a física moderna alcançou um plano semelhante.

A exploração do mundo subatómico revelou uma realidade que transcende repetidamente a linguagem e o raciocínio, e a unificação de conceitos que até então pareciam opostos e irreconciliáveis revelou-se uma das características mais surpreendentes dessa nova realidade.

Esses conceitos aparentemente irreconciliáveis não são, em geral, aqueles de que se ocupam os místicos orientais — embora por vezes o sejam —, mas a sua unificação num nível não comum da realidade proporciona um paralelo com o misticismo oriental.

Os físicos modernos deveriam, portanto, ser capazes de obter algumas perceções acerca dos ensinamentos centrais do Extremo Oriente relacionando-os com experiências do seu próprio domínio.

Um pequeno, mas crescente, número de jovens físicos encontrou, de facto, nesta abordagem uma forma extremamente valiosa e estimulante de se aproximar do misticismo oriental.

Exemplos da unificação de conceitos opostos na física moderna podem ser encontrados ao nível subatómico, onde as partículas são simultaneamente destrutíveis e indestrutíveis; onde a matéria é simultaneamente contínua e descontínua; e onde força e matéria são apenas diferentes aspetos do mesmo fenómeno.

Em todos estes exemplos, que serão amplamente discutidos nos capítulos seguintes, verifica-se que o enquadramento de conceitos opostos derivado da nossa experiência quotidiana é demasiado estreito para o mundo das partículas subatómicas.

A teoria da relatividade é crucial para a descrição deste mundo e, no enquadramento *«relativístico»*, os conceitos clássicos são transcendidos através da passagem para uma dimensão superior: o espaço-tempo quadridimensional.

Espaço e tempo são, eles próprios, dois conceitos que pareciam inteiramente diferentes, mas que foram unificados na física relativística.

Esta unidade fundamental constitui a base da unificação dos conceitos opostos anteriormente mencionados.

Tal como a unidade dos opostos experienciada pelos místicos, ocorre num *«plano superior»*, isto é, numa dimensão superior, e, tal como a unidade experienciada pelos místicos, é uma unidade dinâmica, porque a realidade relativística do espaço-tempo é uma realidade intrinsecamente dinâmica, na qual os objetos são também processos e todas as formas são padrões dinâmicos.

Para experienciar a unificação de entidades aparentemente separadas numa dimensão superior, não precisamos da teoria da relatividade.

Podemos também experienciá-la passando de uma para duas dimensões, ou de duas para três.

No exemplo anteriormente apresentado de um movimento circular e da sua projeção, os polos opostos da oscilação numa dimensão — ao longo de uma linha — são unificados no movimento circular em duas dimensões — num plano.

O desenho da página oposta representa outro exemplo, envolvendo uma transição de duas para três dimensões.

Mostra um anel em forma de *«rosquinha»* cortado horizontalmente por um plano.

Nas duas dimensões desse plano, as superfícies do corte surgem como dois discos completamente separados, mas, em três

dimensões, reconhecemos que são partes de um único e mesmo objeto.

Uma unificação semelhante de entidades que parecem separadas e irreconciliáveis é alcançada na teoria da relatividade através da passagem de três para quatro dimensões.

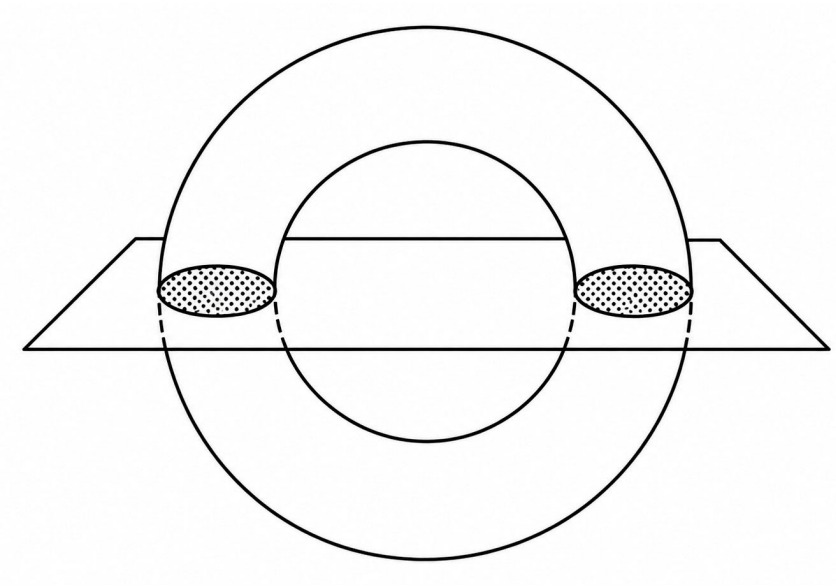
O mundo quadridimensional da física relativística é o mundo em que força e matéria são unificadas; onde a matéria pode surgir como partículas descontínuas ou como um campo contínuo.

Nestes casos, contudo, já não conseguimos visualizar muito bem essa unidade.

Os físicos conseguem *«experienciar»* o mundo quadridimensional do espaço-tempo através do formalismo matemático abstrato das suas teorias, mas a sua imaginação visual — tal como a de qualquer outra pessoa — está limitada ao mundo tridimensional dos sentidos.

A nossa linguagem e os nossos padrões de pensamento evoluíram neste mundo tridimensional e, por isso, é extremamente difícil lidarmos com a realidade quadridimensional da física relativística.

Os místicos orientais, por outro lado, parecem ser capazes de experienciar direta e concretamente uma realidade de dimensão superior.



Num estado de meditação profunda, conseguem transcender o mundo tridimensional da vida quotidiana e experienciar uma realidade completamente diferente, na qual todos os opostos são unificados num todo orgânico.

Quando os místicos procuram exprimir esta experiência através de palavras, confrontam-se com os mesmos problemas que os físicos ao tentarem interpretar a realidade multidimensional da física relativística.

Nas palavras de Lama Govinda:

> **Uma experiência de dimensionalidade superior é alcançada através da integração de experiências provenientes de diferentes centros e níveis de consciência. Daí a indescritibilidade de determinadas experiências de meditação no plano da consciência tridimensional e dentro de um sistema lógico que reduz as possibilidades de expressão ao impor limites adicionais ao processo de pensamento.**[5]

O mundo quadridimensional da teoria da relatividade não é o único exemplo da física moderna em que conceitos aparentemente contraditórios e irreconciliáveis se revelam apenas diferentes aspetos da mesma realidade.

Talvez o caso mais célebre de uma unificação desta natureza entre conceitos contraditórios seja o dos conceitos de partícula e onda na física atómica.

Ao nível atómico, a matéria possui um duplo aspeto: surge como partículas e como ondas.

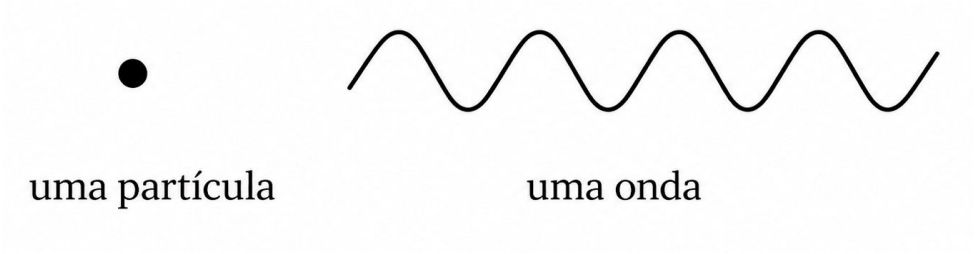
O aspeto que manifesta depende da situação.

Em algumas situações, domina o aspeto corpuscular; noutras, as partículas comportam-se mais como ondas; e esta natureza dual é igualmente manifestada pela luz e por todas as outras formas de radiação eletromagnética.

A luz, por exemplo, é emitida e absorvida sob a forma de *«quanta»*, ou fotões, mas, quando estas partículas de luz se propagam pelo espaço, surgem como campos elétricos e magnéticos vibratórios que apresentam todos os comportamentos característicos das ondas.

Os eletrões são normalmente considerados partículas e, contudo, quando um feixe dessas partículas atravessa uma pequena fenda,

sofre difração exatamente como um feixe de luz — por outras palavras, também os eletrões se comportam como ondas.



Este duplo aspeto da matéria e da radiação é verdadeiramente extraordinário e deu origem a muitos dos *«koans quânticos»* que conduziram à formulação da teoria quântica.

A imagem de uma onda, que está sempre distribuída pelo espaço, é fundamentalmente diferente da imagem de uma partícula, que implica uma localização bem definida.

Os físicos demoraram bastante tempo a aceitar o facto de a matéria se manifestar de maneiras que parecem mutuamente exclusivas: que as partículas são também ondas e as ondas também partículas.

Ao observar as duas imagens, uma pessoa leiga poderia sentir-se tentada a pensar que a contradição se resolve dizendo que a imagem do lado direito representa simplesmente uma partícula a mover-se segundo um padrão ondulatório.

Este argumento, contudo, assenta numa compreensão incorreta da natureza das ondas.

Na natureza, não existem partículas que se desloquem segundo padrões ondulatórios.

Numa onda de água, por exemplo, as partículas de água não avançam juntamente com a onda, mas movem-se em círculos à medida que a onda passa.

Do mesmo modo, as partículas de ar numa onda sonora apenas oscilam para a frente e para trás, não se propagando juntamente com a onda.

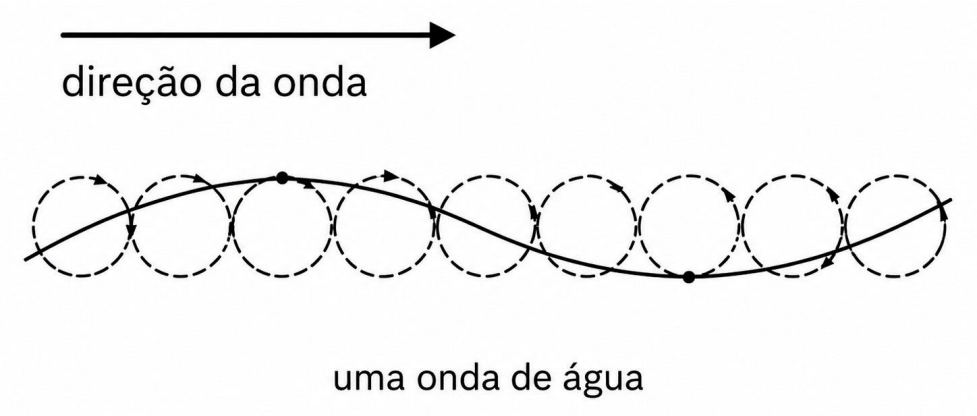
Aquilo que é transportado pela onda é a perturbação responsável pelo fenómeno ondulatório, e não qualquer partícula material.

Na teoria quântica, portanto, quando dizemos que uma partícula é também uma onda, não falamos da trajetória da partícula.

O que queremos dizer é que o padrão ondulatório enquanto totalidade constitui uma manifestação da partícula.

A imagem de ondas em propagação é, assim, completamente diferente da imagem de partículas em movimento; tão diferente — nas palavras de Victor Weisskopf —

> **«como a noção de ondas num lago da de um cardume de peixes a nadar na mesma direção».**[6]



uma onda de água

O fenómeno das ondas surge em muitos contextos diferentes ao longo da física e pode ser descrito através do mesmo formalismo matemático sempre que ocorre.

As mesmas formas matemáticas são utilizadas para descrever uma onda luminosa, uma corda de guitarra em vibração, uma onda sonora ou uma onda de água.

Na teoria quântica, estas formas são novamente utilizadas para descrever as ondas associadas às partículas.

Desta vez, contudo, as ondas são muito mais abstratas.

Estão intimamente relacionadas com a natureza estatística da teoria quântica, isto é, com o facto de os fenómenos atómicos só poderem ser descritos em termos de probabilidades.

A informação acerca das probabilidades de uma partícula encontra-se contida numa grandeza chamada função de probabilidade, e a forma matemática desta grandeza é a de uma

onda, isto é, é semelhante às formas utilizadas para descrever outros tipos de ondas.

As ondas associadas às partículas, contudo, não são ondas tridimensionais *«reais»*, como as ondas de água ou as ondas sonoras, mas *«ondas de probabilidade»*: grandezas matemáticas abstratas relacionadas com as probabilidades de encontrar as partículas em vários lugares e com diferentes propriedades.

A introdução das ondas de probabilidade resolve, em certo sentido, o paradoxo de as partículas serem ondas, colocando-o num contexto completamente novo; mas, ao mesmo tempo, conduz a outro par de conceitos opostos ainda mais fundamental: existência e não existência.

Também este par de opostos é transcendido pela realidade atómica.

Nunca podemos afirmar que uma partícula atómica existe num determinado lugar, nem podemos afirmar que não existe.

Sendo um padrão de probabilidades, a partícula possui tendências para existir em diferentes lugares e manifesta, assim, uma estranha espécie de realidade física situada entre a existência e a não existência.

Não podemos, portanto, descrever o estado da partícula através de conceitos opostos fixos.

A partícula não está presente num lugar definido, nem está ausente.

Não muda de posição, nem permanece em repouso.

Aquilo que muda é o padrão de probabilidades e, portanto, as tendências da partícula para existir em determinados lugares.

Nas palavras de Robert Oppenheimer:

> **Se perguntarmos, por exemplo, se a posição do eletrão permanece a mesma, teremos de responder «não»; se perguntarmos se a posição do eletrão muda com o tempo, teremos de responder «não»; se perguntarmos se o eletrão está em repouso, teremos de responder «não»; se perguntarmos se está em movimento, teremos de responder «não».**[7]

A realidade do físico atómico, tal como a realidade do místico oriental, transcende o estreito enquadramento dos conceitos opostos.

As palavras de Oppenheimer parecem, assim, fazer eco das palavras dos Upanishads:

> Move-se. Não se move.
> Está longe, e está perto.
> Está dentro de tudo isto,
> E está fora de tudo isto.[8]

Força e matéria, partículas e ondas, movimento e repouso, existência e não existência — estes são alguns dos conceitos opostos ou contraditórios transcendidos na física moderna.

De todos estes pares de opostos, o último parece ser o mais fundamental e, contudo, na física atómica somos obrigados a ir ainda para além dos conceitos de existência e não existência.

Esta é a característica da teoria quântica mais difícil de aceitar e encontra-se no centro da discussão contínua acerca da sua interpretação.

Ao mesmo tempo, a transcendência dos conceitos de existência e não existência é também um dos aspetos mais desconcertantes do misticismo oriental.

Tal como os físicos atómicos, os místicos orientais lidam com uma realidade situada para além da existência e da não existência, e salientam frequentemente este facto importante.

Assim Ashvaghosha:

> **A Talidade não é aquilo que é existência, nem aquilo que é não existência, nem aquilo que é simultaneamente existência e não existência, nem aquilo que não é simultaneamente existência e não existência.**[9]

Perante uma realidade situada para além dos conceitos opostos, físicos e místicos têm de adotar uma forma especial de pensar, na

qual a mente não fica presa ao enquadramento rígido da lógica clássica, mas permanece em movimento, alterando constantemente o seu ponto de vista.

Na física atómica, por exemplo, estamos hoje habituados a aplicar tanto o conceito de partícula como o de onda na nossa descrição da matéria.

Aprendemos a jogar com as duas imagens, passando de uma para a outra e regressando novamente, para conseguirmos lidar com a realidade atómica.

É precisamente desta forma que os místicos orientais pensam quando procuram interpretar a sua experiência de uma realidade situada para além dos opostos.

Nas palavras de Lama Govinda:

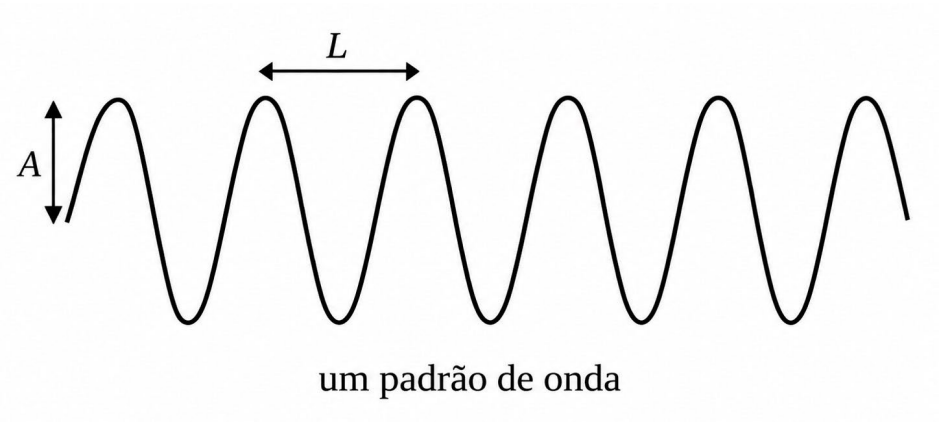
> **«A forma oriental de pensar consiste antes em circundar o objeto de contemplação… formando uma impressão multifacetada, isto é, multidimensional, a partir da sobreposição de impressões individuais provenientes de diferentes pontos de vista.»**[10]

Para vermos como é possível alternar entre a imagem da partícula e a imagem da onda na física atómica, examinemos mais detalhadamente os conceitos de ondas e partículas.

Uma onda é um padrão vibratório no espaço e no tempo.

Podemos observá-la num determinado instante e veremos então um padrão periódico no espaço, como no exemplo seguinte.

Este padrão caracteriza-se por uma amplitude A, a extensão da vibração, e por um comprimento de onda L, a distância entre duas cristas sucessivas.



um padrão de onda

Em alternativa, podemos observar o movimento de um determinado ponto da onda e veremos então uma oscilação caracterizada por determinada frequência, o número de vezes que esse ponto oscila para trás e para a frente em cada segundo.

Passemos agora à imagem da partícula.

Segundo as ideias clássicas, uma partícula possui uma posição bem definida em qualquer momento, e o seu estado de movimento pode ser descrito em termos da sua velocidade e da sua energia de movimento.

As partículas que se deslocam a grande velocidade possuem também elevada energia.

Na realidade, os físicos raramente utilizam a *«velocidade»* para descrever o estado de movimento de uma partícula; utilizam antes uma grandeza chamada *«momento»*, definida como a massa da partícula multiplicada pela sua velocidade.

A teoria quântica associa as propriedades de uma onda de probabilidade às propriedades da partícula correspondente, relacionando a amplitude da onda em determinado lugar com a probabilidade de encontrar a partícula nesse lugar.

Onde a amplitude é elevada, é provável que encontremos a partícula se a procurarmos; onde é pequena, a probabilidade é reduzida.

O trem de ondas representado abaixo, por exemplo, possui a mesma amplitude ao longo de todo o seu comprimento e, portanto, a partícula pode ser encontrada em qualquer ponto da onda com a mesma probabilidade.*

* Neste exemplo, não se deve pensar que é mais provável encontrar a partícula onde a onda apresenta cristas do que nos locais onde apresenta vales. O padrão ondulatório estático mostrado na imagem é apenas uma «fotografia instantânea» de uma vibração contínua durante a qual cada ponto ao longo da onda atinge periodicamente o topo de uma crista.

A informação acerca do estado de movimento da partícula encontra-se contida no comprimento de onda e na frequência da onda.

O comprimento de onda é inversamente proporcional ao momento da partícula, o que significa que uma onda com pequeno comprimento de onda corresponde a uma partícula que se desloca com elevado momento — e, portanto, com elevada velocidade.

A frequência da onda é proporcional à energia da partícula; uma onda de elevada frequência significa que a partícula possui elevada energia.

No caso da luz, por exemplo, a luz violeta possui elevada frequência e pequeno comprimento de onda e é, portanto, constituída por fotões de elevada energia e elevado momento, enquanto a luz vermelha possui baixa frequência e grande comprimento de onda, correspondendo a fotões de baixa energia e baixo momento.

Uma onda distribuída pelo espaço como a do nosso exemplo não nos diz muito acerca da posição da partícula correspondente.

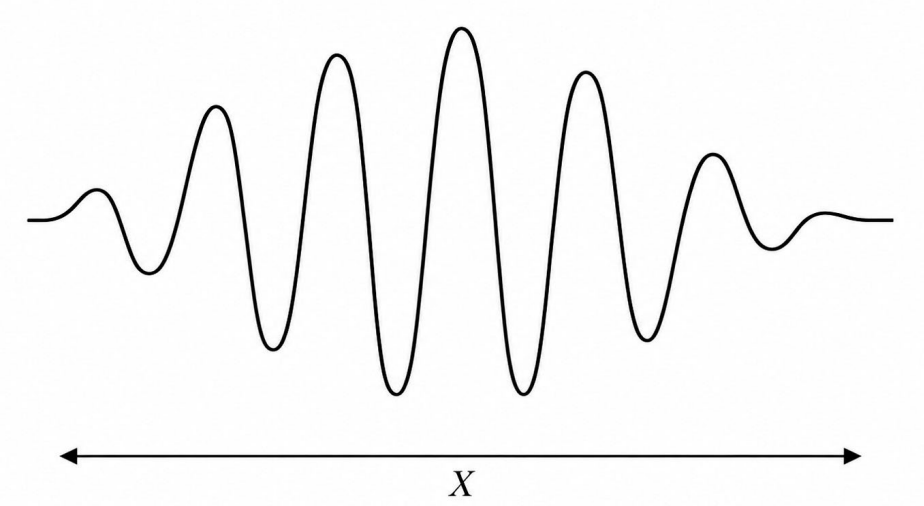
Ela pode ser encontrada em qualquer ponto ao longo da onda com a mesma probabilidade.

Muito frequentemente, contudo, lidamos com situações em que a posição da partícula é conhecida até certo ponto, como, por exemplo, na descrição de um eletrão num átomo.

Nesse caso, as probabilidades de encontrar a partícula em vários lugares têm de ficar confinadas a determinada região.

Fora dessa região, têm de ser nulas.

Isto pode ser conseguido através de um padrão ondulatório como o apresentado no diagrama seguinte, correspondente a uma partícula confinada à região X.



um pacote de ondas correspondente a uma partícula localizada algures na região X

Um padrão desta natureza é chamado *pacote de ondas*.*

É constituído por várias sequências de ondas com diferentes comprimentos de onda que interferem destrutivamente entre si* fora da região X, de modo que a amplitude total — e, portanto, a probabilidade de encontrar aí a partícula — é nula, enquanto no interior de X as ondas se combinam para formar o padrão.

Este padrão mostra que a partícula se encontra algures dentro da região X, mas não nos permite localizá-la com maior precisão.

Para os pontos situados dentro dessa região, só podemos indicar as probabilidades da presença da partícula.

(A probabilidade de a partícula se encontrar no centro é maior, porque aí as amplitudes de probabilidade são elevadas, e é menor junto às extremidades do pacote de ondas, onde as amplitudes são pequenas.)

O comprimento do pacote de ondas representa, portanto, a incerteza na localização da partícula.

A propriedade importante de um pacote de ondas desta natureza é o facto de não possuir um comprimento de onda definido, isto é,

* Por uma questão de simplicidade, consideramos aqui apenas uma dimensão do espaço, isto é, a posição da partícula algures ao longo de uma linha. Os padrões de probabilidade apresentados na p. 220 são exemplos bidimensionais correspondentes a pacotes de ondas mais complexos.

* Página 67

as distâncias entre duas cristas sucessivas não são iguais ao longo de todo o padrão.

Existe uma dispersão nos comprimentos de onda, cuja magnitude depende do comprimento do pacote de ondas: quanto mais curto for o pacote de ondas, maior será a dispersão dos comprimentos de onda.

Isto nada tem a ver com a teoria quântica; resulta simplesmente das propriedades das ondas.

Os pacotes de ondas não possuem um comprimento de onda definido.

A teoria quântica entra em cena quando associamos o comprimento de onda ao momento da partícula correspondente.

Se o pacote de ondas não possui um comprimento de onda bem definido, a partícula não possui um momento bem definido.

Isto significa que existe não apenas uma incerteza na posição da partícula, correspondente ao comprimento do pacote de ondas, mas também uma incerteza no seu momento, provocada pela dispersão dos comprimentos de onda.

As duas incertezas estão inter-relacionadas, porque a dispersão dos comprimentos de onda — isto é, a incerteza do momento —

depende do comprimento do pacote de ondas — isto é, da incerteza da posição.

Se quisermos localizar a partícula com maior precisão, isto é, se quisermos confinar o seu pacote de ondas a uma região menor, isso provocará um aumento da dispersão dos comprimentos de onda e, portanto, um aumento da incerteza do momento da partícula.

A forma matemática precisa desta relação entre as incertezas da posição e do momento de uma partícula é conhecida como relação de incerteza de Heisenberg, ou princípio da incerteza.

Significa que, no mundo subatómico, nunca podemos conhecer simultaneamente, com grande precisão, a posição e o momento de uma partícula.

Quanto melhor conhecermos a posição, mais indefinido será o seu momento, e vice-versa.

Podemos decidir realizar uma medição precisa de uma das duas grandezas, mas teremos então de permanecer completamente ignorantes relativamente à outra.

É importante compreender, como foi salientado no capítulo anterior, que esta limitação não é causada pela imperfeição das nossas técnicas de medição, mas constitui uma limitação de princípio.

Se decidirmos medir precisamente a posição da partícula, a partícula simplesmente não possui um momento bem definido, e vice-versa.

A relação entre as incertezas da posição e do momento de uma partícula não é a única forma do princípio da incerteza.

Existem relações semelhantes entre outras grandezas, por exemplo, entre o tempo durante o qual ocorre um acontecimento atómico e a energia nele envolvida.

Isto pode ser facilmente compreendido se imaginarmos o nosso pacote de ondas não como um padrão no espaço, mas como um padrão vibratório no tempo.

À medida que a partícula passa por determinado ponto de observação, as vibrações do padrão ondulatório nesse ponto começarão com amplitudes reduzidas, que aumentarão e depois voltarão a diminuir até que, finalmente, a vibração cesse por completo.

O tempo necessário para atravessar este padrão representa o intervalo durante o qual a partícula passa pelo nosso ponto de observação.

Podemos afirmar que a passagem ocorre dentro desse intervalo temporal, mas não podemos localizá-la com maior precisão.

A duração do padrão vibratório representa, portanto, a incerteza na localização temporal do acontecimento.

Ora, tal como o padrão espacial do pacote de ondas não possui um comprimento de onda bem definido, o padrão vibratório correspondente no tempo não possui uma frequência bem definida.

A dispersão das frequências depende da duração do padrão vibratório e, como a teoria quântica associa a frequência da onda à energia da partícula, a dispersão das frequências do padrão corresponde a uma incerteza na energia da partícula.

A incerteza na localização temporal de um acontecimento fica, assim, relacionada com uma incerteza na energia, da mesma forma que a incerteza da localização espacial de uma partícula está relacionada com uma incerteza no momento.

Isto significa que nunca podemos conhecer simultaneamente, com grande precisão, o instante em que um acontecimento ocorre e a energia nele envolvida.

Acontecimentos que ocorrem num intervalo de tempo muito curto implicam uma grande incerteza na energia; acontecimentos que envolvem uma quantidade precisa de energia só podem ser localizados dentro de um período de tempo prolongado.

A importância fundamental do princípio da incerteza reside no facto de exprimir, numa forma matemática precisa, as limitações dos nossos conceitos clássicos.

Como anteriormente descrito, o mundo subatómico surge como uma teia de relações entre as várias partes de um todo unificado.

As nossas noções clássicas, derivadas da experiência macroscópica quotidiana, não são plenamente adequadas para descrever este mundo.

Para começar, o conceito de uma entidade física distinta, como uma partícula, é uma idealização sem significado fundamental.

Só pode ser definida em termos das suas ligações ao todo, e essas ligações possuem uma natureza estatística — probabilidades, em vez de certezas.

Quando descrevemos as propriedades de uma entidade deste género em termos de conceitos clássicos — como posição, energia, momento, etc. — verificamos que existem pares de conceitos inter-relacionados que não podem ser definidos simultaneamente de forma precisa.

Quanto mais impomos um conceito ao *«objeto»* físico, mais incerto se torna o outro conceito, sendo a relação precisa entre ambos dada pelo princípio da incerteza.

Para compreender melhor esta relação entre pares de conceitos clássicos, Niels Bohr introduziu a noção de complementaridade.

Considerou a imagem da partícula e a imagem da onda como duas descrições complementares da mesma realidade, sendo cada uma delas apenas parcialmente correta e possuindo um domínio limitado de aplicação.

Cada imagem é necessária para proporcionar uma descrição completa da realidade atómica, e ambas devem ser aplicadas dentro dos limites estabelecidos pelo princípio da incerteza.

Esta noção de complementaridade tornou-se uma parte essencial da forma como os físicos pensam acerca da natureza, e Bohr sugeriu frequentemente que poderia também constituir um conceito útil fora do domínio da física.

Na realidade, a noção de complementaridade revelou-se extremamente útil há 2500 anos.

Desempenhou um papel essencial no antigo pensamento chinês, baseado na perceção de que os conceitos opostos mantêm entre si uma relação polar — ou complementar.

Os sábios chineses representaram esta complementaridade dos opostos através dos polos arquetípicos yin e yang e viram a sua interação dinâmica como a essência de todos os fenómenos naturais e de todas as situações humanas.

Niels Bohr tinha plena consciência do paralelo entre o seu conceito de complementaridade e o pensamento chinês.

Quando visitou a China em 1937, numa época em que a sua interpretação da teoria quântica já estava plenamente desenvolvida, ficou profundamente impressionado com a antiga noção chinesa dos opostos polares e, a partir daí, manteve um interesse pela cultura oriental.

Dez anos mais tarde, Bohr foi feito cavaleiro em reconhecimento das suas extraordinárias realizações científicas e importantes contribuições para a vida cultural dinamarquesa.

Quando teve de escolher um motivo adequado para o seu brasão de armas, a sua escolha recaiu sobre o símbolo chinês do *t'ai-chi*, representando a relação complementar entre os opostos arquetípicos yin e yang.

Ao escolher este símbolo para o seu brasão, juntamente com a inscrição *Contraria sunt complementa — «Os opostos são complementares» —*, Niels Bohr reconheceu a profunda harmonia entre a antiga sabedoria oriental e a ciência moderna ocidental.

CAPÍTULO 12

Espaço-Tempo

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu} R = \kappa T_{\mu\nu}$$

A física moderna confirmou de forma particularmente dramática uma das ideias fundamentais do misticismo oriental: a de que todos os conceitos que utilizamos para descrever a natureza são limitados; de que não constituem características da realidade, como tendemos a acreditar, mas criações da mente — partes do mapa, não do território.

Sempre que ampliamos o domínio da nossa experiência, tornam-se evidentes as limitações da nossa mente racional e somos obrigados a modificar, ou mesmo a abandonar, alguns dos nossos conceitos.

As nossas noções de espaço e tempo ocupam um lugar proeminente no nosso mapa da realidade.

Servem para ordenar as coisas e os acontecimentos no nosso ambiente e possuem, por isso, uma importância fundamental não apenas na vida quotidiana, mas também nas nossas tentativas de compreender a natureza através da ciência e da filosofia.

Não existe qualquer lei da física cuja formulação não requeira os conceitos de espaço e tempo.

A profunda modificação destes conceitos fundamentais provocada pela teoria da relatividade constituiu, portanto, uma das maiores revoluções da história da ciência.

A física clássica baseava-se tanto na noção de um espaço absoluto e tridimensional, independente dos objetos materiais que contém e obedecendo às leis da geometria euclidiana, como na noção de tempo enquanto dimensão separada, igualmente absoluta, que flui a um ritmo uniforme e independentemente do mundo material.

No Ocidente, estas noções de espaço e tempo estavam tão profundamente enraizadas na mente dos filósofos e cientistas que eram tomadas como propriedades verdadeiras e indiscutíveis da natureza.

A crença de que a geometria é inerente à natureza, em vez de fazer parte do enquadramento que utilizamos para descrever a natureza, tem origem no pensamento grego.

A geometria demonstrativa constituía a característica central da matemática grega e exerceu uma profunda influência sobre a filosofia grega.

O seu método de partir de axiomas indiscutidos e deles deduzir teoremas através do raciocínio dedutivo tornou-se característico do pensamento filosófico grego; a geometria encontrava-se, portanto, no próprio centro de todas as atividades intelectuais e constituía a base da formação filosófica.

Diz-se que, à entrada da Academia de Platão, em Atenas, se encontrava inscrita a frase:

> **«Não é permitido entrar aqui a quem não saiba geometria.»**

Os gregos acreditavam que os seus teoremas matemáticos exprimiam verdades eternas e exatas acerca do mundo real e que as formas geométricas eram manifestações da beleza absoluta.

A geometria era considerada a combinação perfeita entre lógica e beleza e, por isso, acreditava-se que possuía origem divina.

Daí a máxima de Platão:

> **«Deus é geómetra.»**

Uma vez que a geometria era entendida como revelação de Deus, parecia evidente aos gregos que os céus deveriam apresentar formas geométricas perfeitas.

Isto significava que os corpos celestes tinham de se mover em círculos.

Para tornar a imagem ainda mais geométrica, imaginava-se que estavam fixos a uma série de esferas cristalinas concêntricas que se moviam como um todo, tendo a Terra no centro.

Nos séculos seguintes, a geometria grega continuou a exercer uma forte influência sobre a filosofia e a ciência ocidentais.

Os *Elementos*, de Euclides, foram um manual-padrão nas escolas europeias até ao início deste século, e durante mais de dois mil anos a geometria euclidiana foi considerada a verdadeira natureza do espaço.

Foi necessário Einstein para fazer cientistas e filósofos compreenderem que a geometria não é inerente à natureza, mas imposta sobre ela pela mente.

Nas palavras de Henry Margenau:

> **O reconhecimento central da teoria da relatividade é o de que a geometria... é uma construção do intelecto. Só quando esta descoberta é aceite é que a mente se pode sentir livre para mexer nas noções consagradas de espaço e tempo, examinar o conjunto de**

> possibilidades disponíveis para as definir e selecionar a formulação que concorda com a observação.[1]

A filosofia oriental, ao contrário da grega, sustentou sempre que o espaço e o tempo são construções da mente.

Os místicos orientais tratavam-nos como todos os restantes conceitos intelectuais: relativos, limitados e ilusórios.

Num texto budista, por exemplo, encontramos as palavras:

> Foi ensinado por Buda, ó Monges, que... o passado, o futuro, o espaço físico... e os indivíduos nada mais são do que nomes, formas de pensamento, palavras de uso comum, realidades meramente superficiais.[2]

Assim, no Extremo Oriente, a geometria nunca alcançou o estatuto que possuía na Grécia antiga, embora isto não signifique que os indianos e os chineses tivessem poucos conhecimentos geométricos.

Utilizavam-na extensamente na construção de altares com formas geométricas precisas, na medição de terrenos e no mapeamento dos céus, mas nunca para determinar verdades abstratas e eternas.

Esta atitude filosófica reflete-se também no facto de a antiga ciência oriental, em geral, não ter sentido necessidade de encaixar a natureza num esquema de linhas retas e círculos perfeitos.

As observações de Joseph Needham acerca da astronomia chinesa são particularmente interessantes a este respeito:

> **Os [astrónomos] chineses não sentiam necessidade de formas [geométricas] de explicação — os organismos componentes do organismo universal seguiam cada um o seu Tao, de acordo com a sua própria natureza, e os seus movimentos podiam ser tratados através da forma essencialmente *«não representacional»* da álgebra. Os chineses estavam, assim, livres daquela obsessão dos astrónomos europeus pelo círculo como a figura mais perfeita... nem experienciaram a prisão medieval das esferas cristalinas.**[3]

Os antigos filósofos e cientistas orientais possuíam, assim, uma atitude que é fundamental para a teoria da relatividade: a de que as nossas noções de geometria não são propriedades absolutas e imutáveis da natureza, mas construções intelectuais.

Nas palavras de Ashvaghosha:

> **Deve compreender-se claramente que o espaço nada mais é do que um modo de particularização e que não possui existência real própria... O espaço existe apenas em relação à nossa consciência particularizadora.**[4]

O mesmo se aplica à nossa ideia de tempo.

Os místicos orientais relacionam as noções de espaço e tempo com estados particulares de consciência.

Ao conseguirem ir além do estado comum através da meditação, compreenderam que as noções convencionais de espaço e tempo não constituem a verdade última.

As noções refinadas de espaço e tempo resultantes das suas experiências místicas parecem, em muitos aspetos, semelhantes às noções da física moderna, tal como exemplificadas pela teoria da relatividade.

Qual é, então, esta nova visão do espaço e do tempo que emergiu da teoria da relatividade?

Baseia-se na descoberta de que todas as medições de espaço e tempo são relativas.

A relatividade das especificações espaciais, evidentemente, não era novidade.

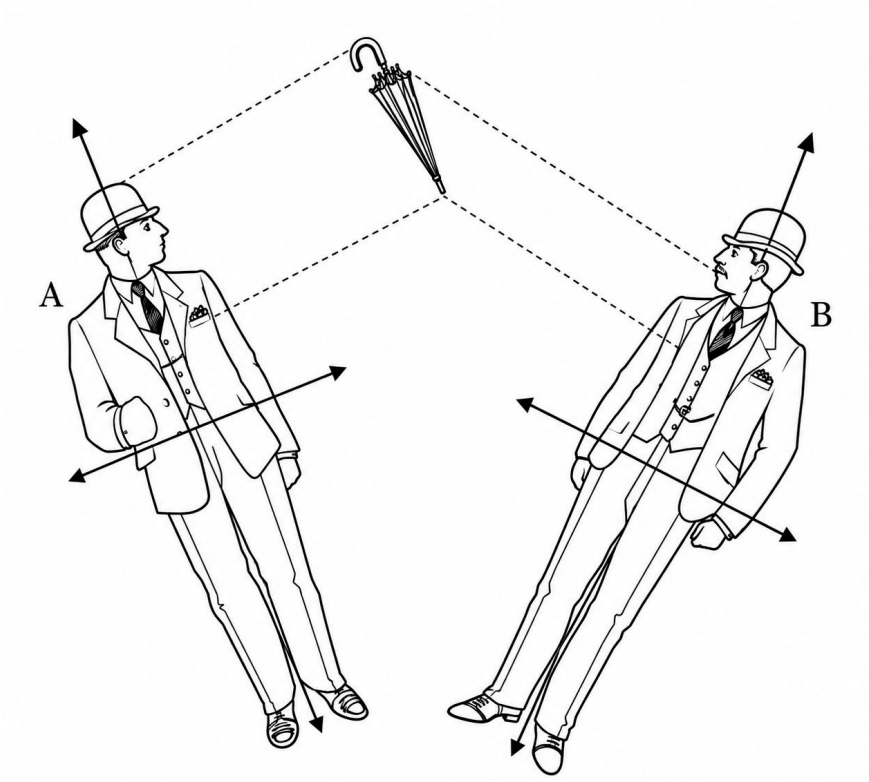
Muito antes de Einstein já se sabia que a posição de um objeto no espaço só pode ser definida relativamente a outro objeto.

Isto é normalmente feito com a ajuda de três coordenadas, podendo o ponto a partir do qual as coordenadas são medidas ser chamado localização do *«observador»*.

Para ilustrar a relatividade dessas coordenadas, imagine dois observadores a flutuar no espaço e a observar um guarda-chuva, como mostra a figura da página seguinte.

O observador A vê o guarda-chuva à sua esquerda e ligeiramente inclinado, de modo que a extremidade superior se encontra mais perto dele.

O observador B, por outro lado, vê o guarda-chuva à sua direita e de tal maneira que a extremidade superior se encontra mais afastada.



dois observadores, A e B, observando um guarda-chuva

Ao estender este exemplo bidimensional a três dimensões, torna-se claro que todas as especificações espaciais — como *«esquerda», «direita», «cima», «baixo», «oblíquo»*, etc. — dependem da posição do observador e são, portanto, relativas.

Isto já era conhecido muito antes da teoria da relatividade.

No que diz respeito ao tempo, contudo, a situação na física clássica era inteiramente diferente.

Presumia-se que a ordem temporal de dois acontecimentos era independente de qualquer observador.

Considerava-se que especificações referentes ao tempo — como *«antes», «depois» ou «simultâneo»* — possuíam um significado absoluto, independente de qualquer sistema de coordenadas.

Einstein reconheceu que também as especificações temporais são relativas e dependem do observador.

Na vida quotidiana, a impressão de que podemos ordenar os acontecimentos à nossa volta numa sequência temporal única resulta do facto de a velocidade da luz — 186 000 milhas por segundo — ser tão elevada em comparação com qualquer outra velocidade que experienciamos que podemos presumir estar a observar os acontecimentos no próprio instante em que ocorrem.

Isto, contudo, é incorreto.

A luz necessita de algum tempo para viajar do acontecimento até ao observador.

Normalmente, esse intervalo é tão curto que a propagação da luz pode ser considerada instantânea; mas, quando o observador se desloca a grande velocidade relativamente aos fenómenos

observados, o intervalo entre a ocorrência de um acontecimento e a sua observação desempenha um papel crucial na determinação da sequência dos acontecimentos.

Einstein compreendeu que, nesse caso, observadores que se deslocam a velocidades diferentes ordenarão os acontecimentos de forma diferente no tempo.*

Dois acontecimentos que um observador vê como ocorrendo simultaneamente poderão ocorrer em sequências temporais diferentes para outros observadores.

Para velocidades comuns, as diferenças são tão pequenas que não podem ser detetadas; mas, quando as velocidades se aproximam da velocidade da luz, dão origem a efeitos mensuráveis.

Na física de altas energias, onde os acontecimentos são interações entre partículas que se deslocam quase à velocidade da luz, a relatividade do tempo está solidamente estabelecida e foi confirmada por inúmeras experiências.**

* Para obter este resultado, é essencial ter em conta o facto de a velocidade da luz ser a mesma para todos os observadores.

** Note-se que, neste caso, o observador se encontra em repouso no laboratório, mas os acontecimentos que observa são provocados por partículas que se deslocam a diferentes velocidades. O efeito é o mesmo. Aquilo que conta é o movimento relativo entre o observador e os acontecimentos observados. Qual dos dois se move relativamente ao laboratório é irrelevante.

A relatividade do tempo obriga-nos também a abandonar o conceito newtoniano de espaço absoluto.

Esse espaço era concebido como contendo uma configuração definida da matéria em cada instante; mas, agora que a simultaneidade é entendida como um conceito relativo, dependente do estado de movimento do observador, deixa de ser possível definir um instante desse género para todo o universo.

Um acontecimento distante que ocorre num determinado instante para um observador pode acontecer mais cedo ou mais tarde para outro.

Não é, portanto, possível falar de *«o universo num determinado instante»* de forma absoluta; não existe espaço absoluto independente do observador.

A teoria da relatividade mostrou, assim, que todas as medições envolvendo espaço e tempo perdem o seu significado absoluto e obrigou-nos a abandonar os conceitos clássicos de espaço absoluto e tempo absoluto.

A importância fundamental deste desenvolvimento foi claramente expressa por Mendel Sachs nas seguintes palavras:

> **A verdadeira revolução introduzida pela teoria de Einstein... foi o abandono da ideia de que o sistema de coordenadas espaço-tempo possui significado objetivo enquanto entidade física separada. Em vez disso, a teoria da relatividade implica que as coordenadas**

> **espaciais e temporais são apenas elementos de uma linguagem utilizada por um observador para descrever o seu ambiente.**[5]

Esta afirmação de um físico contemporâneo mostra a estreita afinidade entre as noções de espaço e tempo da física moderna e as sustentadas pelos místicos orientais, que afirmam, como anteriormente citado, que espaço e tempo

> **«nada mais são do que nomes, formas de pensamento, palavras de uso comum».**

Como o espaço e o tempo são agora reduzidos ao papel subjetivo de elementos da linguagem que determinado observador utiliza para descrever os fenómenos naturais, cada observador descreverá esses fenómenos de maneira diferente.

Para abstrair das suas descrições algumas leis naturais universais, é necessário formular essas leis de tal modo que assumam a mesma forma em todos os sistemas de coordenadas, isto é, para todos os observadores em posições arbitrárias e em movimento relativo.

Este requisito é conhecido como princípio da relatividade e constituiu, de facto, o ponto de partida da teoria da relatividade.

É interessante notar que o germe da teoria da relatividade estava contido num paradoxo que ocorreu a Einstein quando tinha apenas dezasseis anos.

Tentou imaginar como pareceria um feixe de luz a um observador que viajasse juntamente com ele à velocidade da luz e concluiu que esse observador veria o feixe como um campo eletromagnético oscilando para trás e para a frente sem avançar, isto é, sem formar uma onda.

Um fenómeno deste género, contudo, é desconhecido na física.

Pareceu, assim, ao jovem Einstein que algo observado por um observador como um fenómeno eletromagnético bem conhecido — uma onda luminosa — surgiria para outro observador como um fenómeno que contradizia as leis da física, e isto ele não podia aceitar.

Anos mais tarde, Einstein compreendeu que o princípio da relatividade só pode ser satisfeito na descrição dos fenómenos eletromagnéticos se todas as especificações espaciais e temporais forem relativas.

As leis da mecânica, que governam os fenómenos associados aos corpos em movimento, e as leis da eletrodinâmica, a teoria da eletricidade e do magnetismo, podem então ser formuladas dentro de um enquadramento *«relativístico»* comum, que incorpora o tempo juntamente com as três coordenadas espaciais como uma quarta coordenada a especificar relativamente ao observador.

Para verificar se o princípio da relatividade é satisfeito, isto é, se as equações de uma teoria possuem a mesma forma em todos os

sistemas de coordenadas, é necessário, evidentemente, poder traduzir as especificações espaciais e temporais de um sistema de coordenadas, ou *«referencial»*, para outro.

Estas traduções, ou *«transformações»*, como são chamadas, já eram bem conhecidas e amplamente utilizadas na física clássica.

A transformação entre os dois referenciais representados na p. 278, por exemplo, exprime cada uma das duas coordenadas do observador A — uma horizontal e outra vertical, como indica a cruz com setas no desenho — como uma combinação das coordenadas do observador B, e vice-versa.

As expressões exatas podem ser facilmente obtidas com a ajuda da geometria elementar.

Na física relativística, surge uma nova situação porque o tempo é acrescentado às três coordenadas espaciais como uma quarta dimensão.

Como as transformações entre diferentes referenciais exprimem cada coordenada de um referencial como combinação das coordenadas do outro, uma coordenada espacial num referencial surgirá, em geral, como uma mistura de coordenadas espaciais e temporais noutro.

Trata-se, de facto, de uma situação inteiramente nova.

Cada mudança de sistema de coordenadas mistura espaço e tempo de forma matematicamente bem definida.

Os dois já não podem, portanto, ser separados, porque aquilo que é espaço para um observador será uma mistura de espaço e tempo para outro.

A teoria da relatividade mostrou que o espaço não é tridimensional e o tempo não constitui uma entidade separada.

Ambos estão íntima e inseparavelmente ligados e formam um contínuo quadridimensional chamado «*espaço-tempo*».

Este conceito de espaço-tempo foi introduzido por Hermann Minkowski numa célebre conferência de 1908, através das seguintes palavras:

> **As conceções de espaço e tempo que desejo apresentar-vos nasceram do solo da física experimental, e nisso reside a sua força. São radicais. Daqui em diante, o espaço por si só e o tempo por si só estão condenados a desvanecer-se em meras sombras, e apenas uma espécie de união entre ambos conservará uma realidade independente.**[6]

Os conceitos de espaço e tempo são tão fundamentais para a descrição dos fenómenos naturais que a sua modificação implica uma alteração de todo o enquadramento que utilizamos na física para descrever a natureza.

No novo enquadramento, espaço e tempo são tratados em pé de igualdade e encontram-se inseparavelmente ligados.

Na física relativística, nunca podemos falar de espaço sem falar de tempo, nem vice-versa.

Este novo enquadramento tem de ser utilizado sempre que descrevemos fenómenos que envolvem grandes velocidades.

A ligação íntima entre espaço e tempo era bem conhecida na astronomia, embora num contexto diferente, muito antes da teoria da relatividade.

Astrónomos e astrofísicos lidam com distâncias extremamente grandes e, também aqui, o facto de a luz necessitar de algum tempo para viajar do objeto observado até ao observador possui importância.

Devido à velocidade finita da luz, o astrónomo nunca observa o universo no seu estado presente; observa sempre o passado.

A luz demora oito minutos a viajar do Sol até à Terra e, portanto, vemos o Sol, a cada momento, tal como existia oito minutos antes.

Do mesmo modo, vemos a estrela mais próxima tal como existia há quatro anos e, através dos nossos poderosos telescópios, podemos ver galáxias tal como existiam há milhões de anos.

A velocidade finita da luz não constitui de modo algum uma desvantagem para os astrónomos, mas antes uma grande vantagem.

Permite-lhes observar a evolução das estrelas, aglomerados estelares ou galáxias em todas as fases, simplesmente olhando para o espaço e, simultaneamente, para trás no tempo.

Todos os tipos de fenómenos que ocorreram ao longo dos últimos milhões de anos podem efetivamente ser observados algures no céu.

Os astrónomos estão, portanto, habituados à importância da ligação entre espaço e tempo.

Aquilo que a teoria da relatividade nos diz é que esta ligação é importante não apenas quando lidamos com grandes distâncias, mas também quando lidamos com grandes velocidades.

Mesmo aqui na Terra, a medição de qualquer distância não é independente do tempo, porque implica especificar o estado de movimento do observador e, portanto, fazer referência ao tempo.

A unificação do espaço e do tempo implica — como foi referido no capítulo anterior — uma unificação de outros conceitos fundamentais, e este aspeto unificador constitui a característica mais distintiva do enquadramento relativístico.

Conceitos que pareciam totalmente independentes na física não relativística são agora vistos como diferentes aspetos de um único e mesmo conceito.

Esta característica confere ao enquadramento relativístico uma grande elegância e beleza matemáticas.

Muitos anos de trabalho com a teoria da relatividade fizeram-nos apreciar esta elegância e tornar-nos profundamente familiarizados com o formalismo matemático.

Contudo, isso pouco ajudou a nossa intuição.

Não possuímos qualquer experiência sensorial direta do espaço-tempo quadridimensional, nem dos restantes conceitos relativísticos.

Sempre que estudamos fenómenos naturais que envolvem grandes velocidades, temos muita dificuldade em lidar com estes conceitos, tanto ao nível da intuição como da linguagem comum.

Por exemplo, na física clássica presumia-se sempre que barras em movimento e em repouso possuíam o mesmo comprimento.

A teoria da relatividade mostrou que isto não é verdade.

O comprimento de um objeto depende do seu movimento relativamente ao observador e altera-se com a velocidade desse movimento.

A alteração ocorre de tal maneira que o objeto se contrai na direção do movimento.

Uma barra possui o seu comprimento máximo num referencial em que se encontra em repouso e torna-se mais curta à medida que aumenta a sua velocidade relativamente ao observador.

Nas experiências de *«dispersão»* da física de altas energias, em que partículas colidem a velocidades extremamente elevadas, a contração relativística é tão extrema que partículas esféricas ficam reduzidas a formas semelhantes a *«panquecas»*.

É importante compreender que não faz sentido perguntar qual é o comprimento *«real»* de um objeto, tal como, na vida quotidiana, não faz sentido perguntar qual é o comprimento real da sombra de alguém.

A sombra é uma projeção de pontos do espaço tridimensional sobre um plano bidimensional, e o seu comprimento será diferente para diferentes ângulos de projeção.

De modo semelhante, o comprimento de um objeto em movimento é a projeção de pontos do espaço-tempo

quadridimensional sobre o espaço tridimensional, e o seu comprimento é diferente em diferentes referenciais.

Aquilo que é verdadeiro para os comprimentos é também verdadeiro para os intervalos de tempo.

Também estes dependem do referencial, mas, ao contrário das distâncias espaciais, tornam-se maiores à medida que aumenta a velocidade relativa ao observador.

Isto significa que os relógios em movimento funcionam mais devagar; o tempo abranda.

Esses relógios podem ser de vários tipos: relógios mecânicos, relógios atómicos ou mesmo o batimento cardíaco de um ser humano.

Se um de dois gémeos realizasse uma rápida viagem de ida e volta pelo espaço exterior, regressaria mais jovem do que o irmão, porque todos os seus *«relógios»* — batimento cardíaco, fluxo sanguíneo, ondas cerebrais, etc. — teriam abrandado durante a viagem, do ponto de vista do homem que permaneceu em terra.

O próprio viajante, evidentemente, não notaria nada de invulgar, mas, ao regressar, perceberia subitamente que o seu irmão gémeo estava agora muito mais velho.

Este «*paradoxo dos gémeos*» é talvez o paradoxo mais conhecido da física moderna.

Provocou debates intensos em revistas científicas, alguns dos quais ainda prosseguem; prova eloquente de que a realidade descrita pela teoria da relatividade não é facilmente apreendida pela nossa compreensão comum.

O abrandamento dos relógios em movimento, por mais inacreditável que possa parecer, foi amplamente testado na física de partículas.

A maioria das partículas subatómicas são instáveis, isto é, desintegram-se noutras partículas após determinado período.

Numerosas experiências confirmaram que o tempo de vida* de uma partícula instável deste género depende do seu estado de movimento.

Aumenta com a velocidade da partícula.

Partículas que se deslocam a 80 por cento da velocidade da luz vivem cerca de 1,7 vezes mais do que os seus lentos «*irmãos*

* Talvez deva ser mencionado um pequeno pormenor técnico. Quando falamos do tempo de vida de determinado tipo de partícula instável, referimo-nos sempre ao tempo de vida médio. Devido ao caráter estatístico da física subatómica, não podemos fazer qualquer afirmação acerca de partículas individuais.

gémeos», e, a 99 por cento da velocidade da luz, vivem cerca de sete vezes mais.

Isto, mais uma vez, não significa que o tempo de vida intrínseco da partícula se altere.

Do ponto de vista da própria partícula, o seu tempo de vida é sempre o mesmo, mas, do ponto de vista do observador no laboratório, o *«relógio interno»* da partícula abrandou e, por isso, ela vive mais tempo.

Todos estes efeitos relativísticos parecem estranhos apenas porque não conseguimos experienciar o mundo quadridimensional do espaço-tempo através dos sentidos, podendo apenas observar as suas *«imagens»* tridimensionais.

Essas imagens apresentam aspetos diferentes em diferentes referenciais; objetos em movimento parecem diferentes de objetos em repouso, e relógios em movimento funcionam a ritmos diferentes.

Estes efeitos parecerão paradoxais se não compreendermos que são apenas projeções de fenómenos quadridimensionais, tal como as sombras são projeções de objetos tridimensionais.

Se conseguíssemos visualizar a realidade quadridimensional do espaço-tempo, nada haveria de paradoxal.

Os místicos orientais, como foi anteriormente referido, parecem ser capazes de alcançar estados não comuns de consciência nos quais transcendem o mundo tridimensional da vida quotidiana para experienciar uma realidade superior, multidimensional.

Assim, Aurobindo fala de

> **«uma mudança subtil que faz a visão ver numa espécie de quarta dimensão».**[7]

As dimensões destes estados de consciência poderão não ser as mesmas com que lidamos na física relativística, mas é impressionante que tenham conduzido os místicos a noções de espaço e tempo muito semelhantes às implicadas pela teoria da relatividade.

Ao longo de todo o misticismo oriental parece existir uma forte intuição do caráter *«espaço-temporal»* da realidade.

O facto de espaço e tempo estarem inseparavelmente ligados, tão característico da física relativística, é repetidamente enfatizado.

Esta noção intuitiva de espaço e tempo encontrou talvez a sua expressão mais clara e o seu desenvolvimento mais profundo no Budismo e, em particular, na escola Avatamsaka do Budismo Mahayana.

O *Avatamsaka Sutra*, no qual esta escola se baseia*, apresenta uma descrição vívida da forma como o mundo é experienciado no estado de iluminação.

A consciência de uma *«interpenetração do espaço e do tempo»* — expressão perfeita para descrever o espaço-tempo — é repetidamente enfatizada no sutra e considerada característica essencial do estado mental iluminado.

Nas palavras de D. T. Suzuki:

> **O significado do Avatamsaka e da sua filosofia é incompreensível se não experienciarmos alguma vez… um estado de dissolução completa em que deixa de existir qualquer distinção entre mente e corpo, sujeito e objeto… Olhamos à nossa volta e percebemos que… cada objeto está relacionado com todos os outros objetos… não apenas espacialmente, mas temporalmente… Como facto da experiência pura, não existe espaço sem tempo, nem tempo sem espaço; ambos se interpenetram.**[8]

Dificilmente se poderia encontrar uma forma melhor de descrever o conceito relativístico de espaço-tempo.

Ao comparar a afirmação de Suzuki com a anteriormente citada de Minkowski, é também interessante notar que tanto o físico como o budista enfatizam o facto de as suas noções de espaço-tempo se

---

* Ver página 164

basearem na experiência: em experiências científicas num caso e na experiência mística no outro.

Na minha opinião, a intuição do tempo característica do misticismo oriental constitui uma das principais razões pelas quais as suas perspetivas da natureza parecem corresponder, em geral, muito melhor às perspetivas científicas modernas do que as da maioria dos filósofos gregos.

A filosofia natural grega era, no seu conjunto, essencialmente estática e amplamente baseada em considerações geométricas.

Poder-se-ia dizer que era extremamente *«não relativística»*, e a sua forte influência sobre o pensamento ocidental poderá muito bem ser uma das razões pelas quais enfrentamos tão grandes dificuldades conceptuais com os modelos relativísticos da física moderna.

As filosofias orientais, por outro lado, são filosofias de *«espaço-tempo»*, e a sua intuição aproxima-se frequentemente muito das perspetivas da natureza implicadas pelas nossas modernas teorias relativísticas.

Devido à consciência de que espaço e tempo estão intimamente ligados e se interpenetram, tanto as visões do mundo da física moderna como as do misticismo oriental são intrinsecamente dinâmicas, contendo o tempo e a mudança como elementos essenciais.

Este ponto será discutido em detalhe no capítulo seguinte e constitui o segundo grande tema recorrente ao longo desta comparação entre a física e o misticismo oriental, sendo o primeiro a unidade de todas as coisas e acontecimentos.

Ao estudarmos os modelos e teorias relativísticos da física moderna, veremos que todos eles constituem ilustrações impressionantes dos dois elementos fundamentais da visão oriental do mundo: a unidade fundamental do universo e o seu caráter intrinsecamente dinâmico.

A teoria da relatividade discutida até aqui é conhecida como *«teoria da relatividade restrita»*.

Proporciona um enquadramento comum para a descrição dos fenómenos associados aos corpos em movimento e à eletricidade e magnetismo, sendo as características fundamentais desse enquadramento a relatividade do espaço e do tempo e a sua unificação num espaço-tempo quadridimensional.

Na *«teoria da relatividade geral»*, o enquadramento da teoria restrita é alargado de modo a incluir a gravidade.

Segundo a relatividade geral, o efeito da gravidade consiste em tornar curvo o espaço-tempo.

Isto, mais uma vez, é extremamente difícil de imaginar.

Podemos facilmente imaginar uma superfície curva bidimensional, como a superfície de um ovo, porque conseguimos ver essas superfícies curvas situadas no espaço tridimensional.

O significado da palavra curvatura para superfícies curvas bidimensionais é, portanto, bastante claro; mas, quando se trata do espaço tridimensional — para não falar do espaço-tempo quadridimensional —, a nossa imaginação abandona-nos.

Como não podemos observar o espaço tridimensional *«a partir do exterior»*, não conseguimos imaginar de que modo pode estar *«curvado numa determinada direção»*.

Para compreender o significado de espaço-tempo curvo, temos de utilizar superfícies curvas bidimensionais como analogias.

Imagine, por exemplo, a superfície de uma esfera.

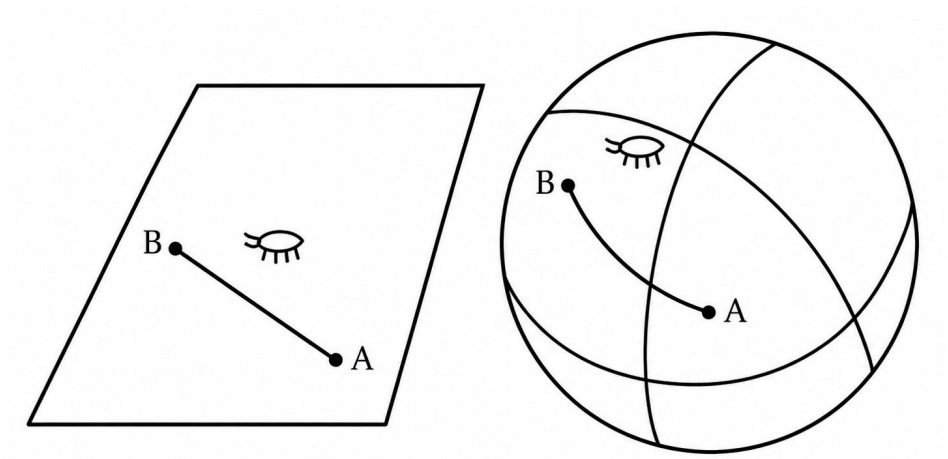
O facto crucial que torna possível a analogia com o espaço-tempo é que a curvatura constitui uma propriedade intrínseca dessa superfície e pode ser medida sem recorrer ao espaço tridimensional.

Um inseto bidimensional confinado à superfície da esfera e incapaz de experienciar o espaço tridimensional poderia, ainda assim, descobrir que a superfície onde vive é curva, desde que fosse capaz de realizar medições geométricas.

Para vermos como isto funciona, temos de comparar a geometria do nosso inseto sobre a esfera com a de um inseto semelhante que vive numa superfície plana.*

Suponha que os dois insetos começam o seu estudo da geometria desenhando uma linha reta, definida como a ligação mais curta entre dois pontos.

O resultado é mostrado na imagem seguinte.



desenhando uma linha reta num plano e numa esfera

Vemos que o inseto da superfície plana desenhou uma linha perfeitamente reta; mas o que fez o inseto sobre a esfera?

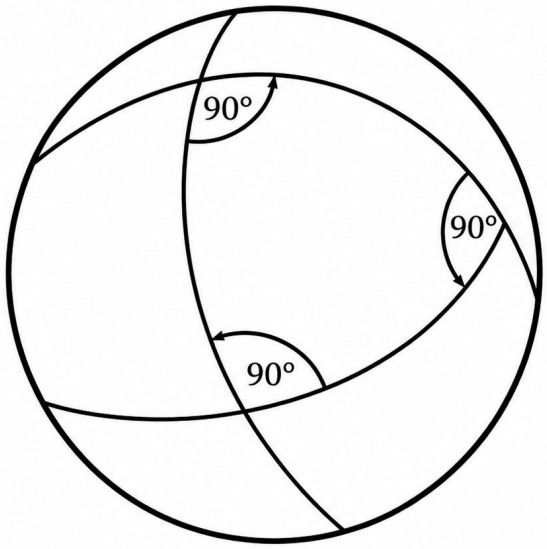
Para ele, a linha que desenhou constitui a ligação mais curta entre os pontos A e B, uma vez que qualquer outra linha que

* Os exemplos seguintes são retirados de R. P. Feynman, R. B. Leighton e M. Sands, The Feynman Lectures on Physics (Addison-Wesley, Reading, Mass., 1966), vol. II, cap. 42.

pudesse traçar seria mais longa; mas, do nosso ponto de vista, reconhecemo-la como uma curva — mais precisamente, o arco de um grande círculo.

Suponha agora que os dois insetos estudam triângulos.

O inseto no plano descobrirá que os três ângulos de qualquer triângulo somam dois ângulos retos, isto é, 180°; mas o inseto sobre a esfera descobrirá que a soma dos ângulos dos seus triângulos é sempre superior a 180°.



numa esfera um triângulo pode ter três ângulos retos

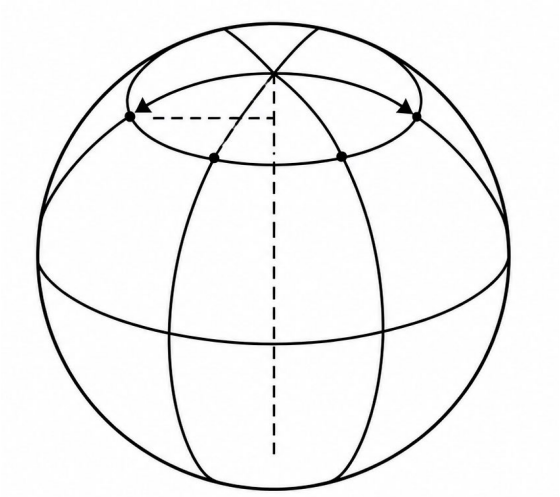
Para triângulos pequenos, o excesso é reduzido, mas aumenta à medida que os triângulos se tornam maiores; e, num caso extremo, o nosso inseto sobre a esfera conseguirá até desenhar triângulos com três ângulos retos.

Por fim, suponhamos que os dois insetos desenham círculos e medem as suas circunferências.

O inseto no plano descobrirá que a circunferência é sempre igual a 2π vezes o raio, independentemente da dimensão do círculo.

O inseto sobre a esfera, por outro lado, verificará que a circunferência é sempre inferior a 2π vezes o raio.

Como se pode observar na figura abaixo, o nosso ponto de vista tridimensional permite-nos ver que aquilo a que o inseto chama raio do seu círculo é, na realidade, uma curva sempre mais longa do que o verdadeiro raio do círculo.



desenhar um círculo numa esfera

À medida que os dois insetos prosseguem o estudo da geometria, o que vive no plano deverá descobrir os axiomas e as leis da geometria euclidiana, mas o seu colega sobre a esfera descobrirá leis diferentes.

A diferença será pequena para figuras geométricas de pequena dimensão, mas aumentará à medida que as figuras se tornam maiores.

O exemplo dos dois insetos mostra que podemos sempre determinar se uma superfície é curva ou não apenas através de medições geométricas realizadas sobre a própria superfície e comparando os resultados com aqueles previstos pela geometria euclidiana.

Se existir uma discrepância, a superfície é curva; e quanto maior for a discrepância — para figuras de uma determinada dimensão — , maior será a curvatura.

Do mesmo modo, podemos definir um espaço tridimensional curvo como aquele em que a geometria euclidiana deixa de ser válida.

As leis da geometria num espaço deste género serão de um tipo diferente, *«não euclidiano»*.

Uma geometria não euclidiana deste género foi introduzida no século XIX pelo matemático Georg Riemann como uma ideia matemática puramente abstrata e não foi considerada mais do que isso até Einstein apresentar a sugestão revolucionária de que o espaço tridimensional em que vivemos é realmente curvo.

Segundo a teoria de Einstein, a curvatura do espaço é provocada pelos campos gravitacionais dos corpos de grande massa.

Sempre que existe um objeto de grande massa, o espaço em seu redor é curvo, e o grau de curvatura — isto é, o grau em que a geometria se afasta da geometria de Euclides — depende da massa do objeto.

As equações que relacionam a curvatura do espaço com a distribuição da matéria nesse espaço são chamadas equações de campo de Einstein.

Podem ser aplicadas não apenas para determinar as variações locais da curvatura nas proximidades de estrelas e planetas, mas também para descobrir se existe uma curvatura global do espaço em grande escala.

Por outras palavras, as equações de Einstein podem ser utilizadas para determinar a estrutura do universo como um todo.

Infelizmente, não fornecem uma resposta única.

São possíveis várias soluções matemáticas das equações, e essas soluções constituem os diferentes modelos do universo estudados pela cosmologia, alguns dos quais serão discutidos no capítulo seguinte.

Determinar qual deles corresponde à estrutura efetiva do nosso universo constitui a principal tarefa da cosmologia atual.

Como o espaço nunca pode ser separado do tempo na teoria da relatividade, a curvatura provocada pela gravidade não pode limitar-se ao espaço tridimensional, mas tem de estender-se ao espaço-tempo quadridimensional, e é precisamente isto que a teoria da relatividade geral prevê.

Num espaço-tempo curvo, as distorções provocadas pela curvatura afetam não apenas as relações espaciais descritas pela geometria, mas também a duração dos intervalos de tempo.

O tempo não flui ao mesmo ritmo que no *«espaço-tempo plano»* e, como a curvatura varia de lugar para lugar de acordo com a distribuição dos corpos de grande massa, também o fluxo do tempo varia.

É importante compreender, contudo, que esta variação no fluxo do tempo só pode ser observada por alguém que permaneça num lugar diferente daquele onde se encontram os relógios utilizados para medir a variação.

Se o observador, por exemplo, se deslocasse para um lugar onde o tempo flui mais lentamente, todos os seus relógios abrandariam também e não disporia de qualquer meio para medir o efeito.

No nosso ambiente terrestre, os efeitos da gravidade sobre o espaço e o tempo são tão pequenos que se tornam insignificantes, mas, na astrofísica, que lida com corpos de massa extremamente elevada, como planetas, estrelas e galáxias, a curvatura do espaço-tempo constitui um fenómeno importante.

Todas as observações realizadas até agora confirmaram a teoria de Einstein e obrigam-nos, assim, a acreditar que o espaço-tempo é efetivamente curvo.

Os efeitos mais extremos da curvatura do espaço-tempo tornam-se evidentes durante o colapso gravitacional de uma estrela de grande massa.

Segundo as ideias atuais da astrofísica, todas as estrelas atingem uma fase da sua evolução em que colapsam devido à atração gravitacional mútua das suas partículas.

Como esta atração aumenta rapidamente à medida que diminui a distância entre as partículas, o colapso acelera e, se a estrela possuir massa suficiente — isto é, se tiver mais de duas vezes a massa do Sol —, nenhum processo conhecido consegue impedir que o colapso prossiga indefinidamente.

À medida que a estrela colapsa e se torna cada vez mais densa, a força da gravidade na sua superfície torna-se cada vez maior e, consequentemente, o espaço-tempo à sua volta fica cada vez mais curvado.

Devido ao aumento da força gravitacional na superfície da estrela, torna-se cada vez mais difícil afastar-se dela, até que a estrela atinge um estágio em que nada — nem sequer a luz — consegue escapar da sua superfície.

Nessa fase, dizemos que se forma um *«horizonte de acontecimentos»* em torno da estrela, porque nenhum sinal consegue afastar-se dela para comunicar qualquer acontecimento ao mundo exterior.

O espaço em torno da estrela encontra-se então tão fortemente curvado que toda a luz fica nele aprisionada e não consegue escapar.

Não conseguimos ver uma estrela desta natureza, porque a sua luz nunca pode chegar até nós e, por essa razão, chama-se buraco negro.

A existência de buracos negros foi prevista com base na teoria da relatividade já em 1916 e, recentemente, têm recebido muita atenção porque alguns fenómenos estelares recém-descobertos poderão indicar a existência de uma estrela pesada a mover-se em torno de um companheiro invisível que poderá ser um buraco negro.

Os buracos negros encontram-se entre os objetos mais misteriosos e fascinantes investigados pela astrofísica moderna e ilustram os efeitos da teoria da relatividade de forma particularmente espetacular.

A intensa curvatura do espaço-tempo em seu redor não impede apenas que toda a sua luz chegue até nós, mas exerce um efeito igualmente impressionante sobre o tempo.

Se um relógio que nos enviasse sinais luminosos estivesse fixado à superfície da estrela em colapso, observaríamos esses sinais a abrandar à medida que a estrela se aproximasse do horizonte de acontecimentos e, quando a estrela se transformasse num buraco negro, deixaria de nos chegar qualquer sinal do relógio.

Para um observador exterior, o fluxo do tempo na superfície da estrela abranda à medida que esta colapsa e acaba por parar completamente no horizonte de acontecimentos.

Por conseguinte, o colapso completo da estrela demora um tempo infinito.

A própria estrela, contudo, nada experiencia de invulgar ao colapsar para além do horizonte de acontecimentos.

O tempo continua a fluir normalmente e o colapso completa-se após um período finito, quando a estrela se contrai até um ponto de densidade infinita.

Quanto tempo demora, então, realmente o colapso: um tempo finito ou infinito?

No mundo da teoria da relatividade, uma pergunta deste género não faz sentido.

O tempo de vida de uma estrela em colapso, tal como todos os restantes intervalos de tempo, é relativo e depende do referencial do observador.

Na teoria da relatividade geral, os conceitos clássicos de espaço e tempo enquanto entidades absolutas e independentes são completamente abolidos.

Não só todas as medições envolvendo espaço e tempo são relativas, dependendo do estado de movimento do observador, como toda a estrutura do espaço-tempo está inextricavelmente ligada à distribuição da matéria.

O espaço é curvado em diferentes graus e o tempo flui a ritmos diferentes em diferentes regiões do universo.

Chegámos, assim, a compreender que as nossas noções de um espaço euclidiano tridimensional e de um tempo que flui linearmente estão limitadas à nossa experiência comum do mundo físico e têm de ser completamente abandonadas quando ampliamos essa experiência.

Também os sábios orientais falam de uma ampliação da sua experiência do mundo em estados superiores de consciência e

afirmam que esses estados envolvem uma experiência radicalmente diferente do espaço e do tempo.

Enfatizam não apenas que, através da meditação, vão além do espaço tridimensional comum, mas também — e de forma ainda mais vigorosa — que transcendem a consciência habitual do tempo.

Em vez de uma sucessão linear de instantes, experienciam — segundo afirmam — um presente infinito, intemporal e, contudo, dinâmico.

Nas passagens seguintes, três místicos orientais falam da experiência deste *«eterno agora»*: Chuang Tzu, o sábio taoista; Hui-neng, o Sexto Patriarca Zen; e D. T. Suzuki, o estudioso budista contemporâneo.

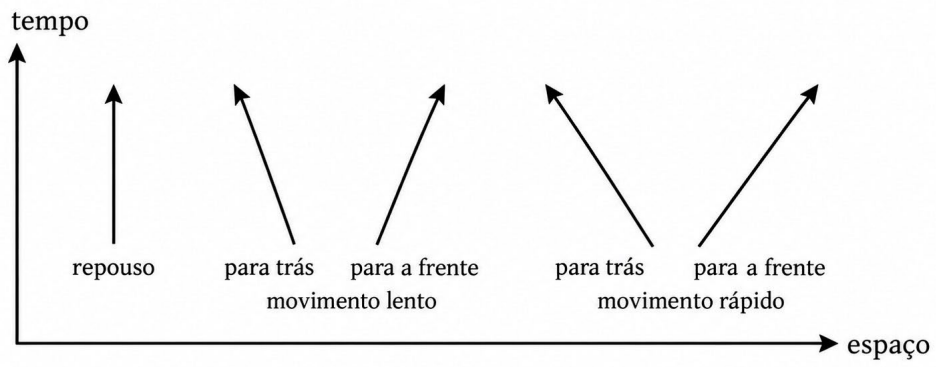
> **Esqueçamos o decorrer do tempo; esqueçamos o conflito das opiniões. Apelemos ao infinito e tomemos aí a nossa posição.**[9]
>
> **Chuang Tzu**
>
> **A tranquilidade absoluta é o momento presente. Embora esteja neste momento, não existe limite para este momento, e nele reside a alegria eterna.**[10]
>
> **Hui-neng**
>
> **Neste mundo espiritual não existem divisões temporais como passado, presente e futuro; pois contraíram-se num único momento presente, onde a vida vibra no seu verdadeiro sentido... O passado e o futuro estão ambos enrolados neste momento presente de iluminação, e este momento presente não é algo imóvel com todos os seus conteúdos, pois move-se incessantemente.**[11]

D. T. Suzuki

Falar acerca de uma experiência de presente intemporal é quase impossível, porque todas as palavras como *«intemporal», «presente», «passado», «momento»,* etc., remetem para as noções convencionais de tempo.

É, portanto, extremamente difícil compreender aquilo que os místicos querem dizer em passagens como as citadas; mas, também aqui, a física moderna poderá facilitar a compreensão, uma vez que pode ser utilizada para ilustrar graficamente de que modo as suas teorias transcendem as noções comuns de tempo.

Na física relativística, a história de um objeto, por exemplo uma partícula, pode ser representada num chamado *«diagrama de espaço-tempo»* (ver figura seguinte).



linhas de mundo das partículas

Nestes diagramas, a direção horizontal representa o espaço*, e a direção vertical, o tempo.

O percurso da partícula através do espaço-tempo chama-se a sua *«linha de universo»*.

Se a partícula estiver em repouso, continua, ainda assim, a mover-se através do tempo, e a sua linha de universo será, nesse caso, uma linha vertical reta.

Se a partícula se deslocar no espaço, a sua linha de universo ficará inclinada; quanto maior for a inclinação da linha de universo, mais depressa a partícula se desloca.

Note-se que as partículas só podem deslocar-se para cima no tempo, mas podem mover-se para trás ou para a frente no espaço.

As suas linhas de universo podem inclinar-se em direção à horizontal em diferentes graus, mas nunca podem tornar-se completamente horizontais, uma vez que isso significaria que uma partícula viajaria de um lugar para outro sem gastar qualquer tempo.

* O espaço, nestes diagramas, possui apenas uma dimensão; as outras duas dimensões têm de ser suprimidas para tornar possível um diagrama plano.

Os diagramas de espaço-tempo são utilizados na física relativística para representar as interações entre várias partículas.

Para cada processo, podemos desenhar um diagrama e associar-lhe uma expressão matemática definida que nos fornece a probabilidade de esse processo ocorrer.

O processo de colisão, ou *«dispersão»*, entre um eletrão e um fotão, por exemplo, pode ser representado por um diagrama como o da página seguinte.

Este diagrama lê-se da seguinte forma — de baixo para cima, de acordo com a direção do tempo: um eletrão — representado por e^- devido à sua carga negativa — colide com um fotão — representado por γ, *«gama»*; o fotão é absorvido pelo eletrão, que prossegue o seu percurso com uma velocidade diferente — diferente inclinação da linha de universo; passado algum tempo, o eletrão volta a emitir o fotão e inverte a direção do movimento.

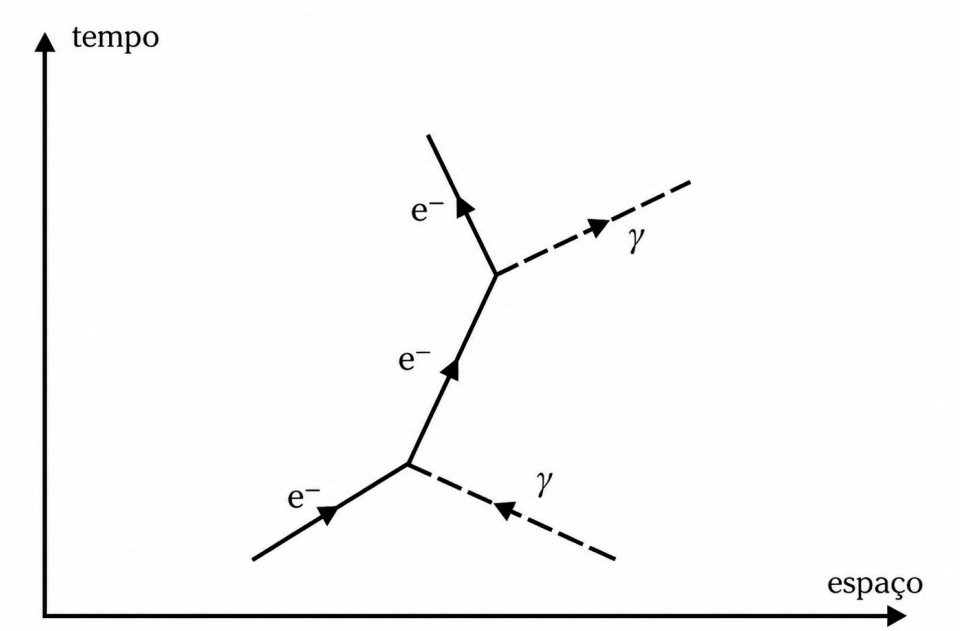
A teoria que constitui o enquadramento adequado para estes diagramas de espaço-tempo e para as expressões matemáticas a eles associadas chama-se *«teoria quântica de campos»*.

É uma das principais teorias relativísticas da física moderna, cujos conceitos fundamentais serão discutidos mais adiante.

Para a nossa discussão dos diagramas de espaço-tempo, será suficiente conhecer duas características fundamentais da teoria.

A primeira é o facto de todas as interações envolverem criação e destruição de partículas, como acontece com a absorção e emissão do fotão no nosso diagrama; e a segunda é uma simetria fundamental entre partículas e antipartículas.

Para cada partícula existe uma antipartícula com igual massa e carga oposta.



dispersão eletrão-fóton

A antipartícula do eletrão, por exemplo, chama-se positrão e é habitualmente representada por e^+.

O fotão, por não possuir carga, é a sua própria antipartícula.

Pares de eletrões e positrões podem ser criados espontaneamente por fotões e podem transformar-se em fotões através do processo inverso de aniquilação.

Os diagramas de espaço-tempo tornam-se agora muito mais simples se adotarmos o seguinte artifício.

A ponta da seta numa linha de universo deixa de ser utilizada para indicar a direção do movimento da partícula — o que, de qualquer modo, é desnecessário, uma vez que todas as partículas avançam no tempo, isto é, para cima no diagrama.

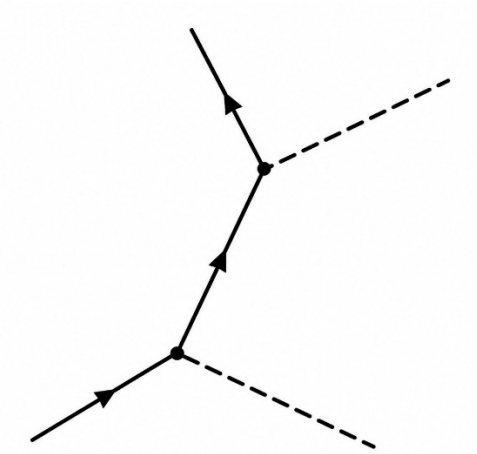
Em vez disso, a ponta da seta passa a distinguir partículas de antipartículas: se apontar para cima, indica uma partícula — por exemplo, um eletrão; se apontar para baixo, uma antipartícula — por exemplo, um positrão.

O fotão, sendo a sua própria antipartícula, é representado por uma linha de universo sem qualquer ponta de seta.

Com esta modificação, podemos agora eliminar todas as designações do diagrama sem provocar qualquer confusão: as linhas com setas representam eletrões; as linhas sem setas, fotões.

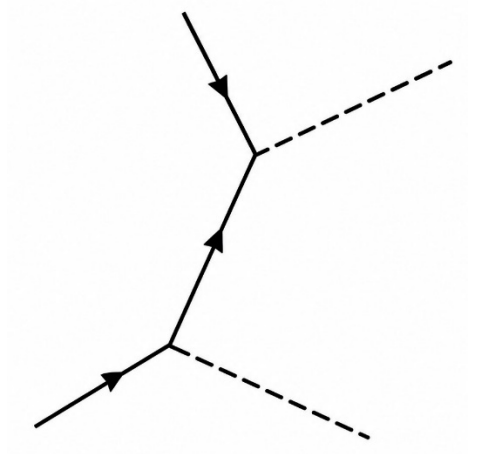
Para simplificar ainda mais o diagrama, podemos também omitir os eixos do espaço e do tempo, recordando que a direção do tempo é de baixo para cima e que a direção para a frente no espaço é da esquerda para a direita.

O diagrama de espaço-tempo resultante para o processo de dispersão eletrão-fotão terá então o seguinte aspeto.



dispersão eletrão-fóton

Se quisermos representar o processo de dispersão entre um fotão e um positrão, podemos desenhar o mesmo diagrama e simplesmente inverter a direção das setas:



dispersão positrão-fóton

Até aqui, nada houve de invulgar na nossa discussão dos diagramas de espaço-tempo.

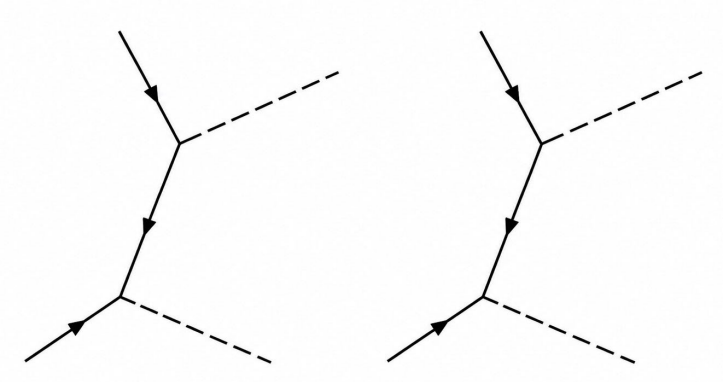
Lemo-los de baixo para cima, de acordo com a nossa noção convencional de um fluxo linear do tempo.

O aspeto invulgar está relacionado com os diagramas que contêm linhas de positrões, como aquele que representa a dispersão positrão-fotão.

O formalismo matemático da teoria de campos sugere que estas linhas podem ser interpretadas de duas maneiras: como positrões que avançam no tempo ou como eletrões que se deslocam para trás no tempo!

As interpretações são matematicamente idênticas; a mesma expressão descreve uma antipartícula que se desloca do passado para o futuro ou uma partícula que se desloca do futuro para o passado.

Os nossos dois diagramas podem, assim, ser vistos como representações do mesmo processo evoluindo em direções temporais diferentes.



dispersão eletrão-fóton e dispersão positrão-fóton

Ambos podem ser interpretados como dispersão de eletrões e fotões, mas num processo as partículas deslocam-se para a frente no tempo e no outro deslocam-se para trás.*

A teoria relativística das interações entre partículas revela, assim, uma simetria completa relativamente à direção do tempo.

Todos os diagramas de espaço-tempo podem ser lidos em ambas as direções.

Para cada processo existe um processo equivalente com a direção do tempo invertida e as partículas substituídas por antipartículas.**

Para vermos de que modo esta característica surpreendente do mundo das partículas subatómicas afeta as nossas conceções de espaço e tempo, consideremos o processo representado no diagrama da página seguinte.

Lendo o diagrama da forma convencional, de baixo para cima, interpretá-lo-emos do seguinte modo: um eletrão — representado por uma linha contínua — e um fotão — representado por uma linha tracejada — aproximam-se um do outro; o fotão cria um par

* As linhas tracejadas são sempre interpretadas como fotões, quer se desloquem para a frente quer para trás no tempo, porque a antipartícula de um fotão é novamente um fotão.

** Evidências experimentais recentes sugerem que isto poderá não ser verdadeiro para determinado processo envolvendo uma «interação superfraca». À exceção desse processo, para o qual o papel da simetria de inversão temporal ainda não está claro, todas as interações entre partículas parecem apresentar uma simetria fundamental relativamente à direção do tempo.

eletrão-positrão no ponto A, deslocando-se o eletrão para a direita e o positrão para a esquerda; o positrão colide depois com o eletrão inicial no ponto B e ambos se aniquilam, criando no processo um fotão que se afasta para a esquerda.

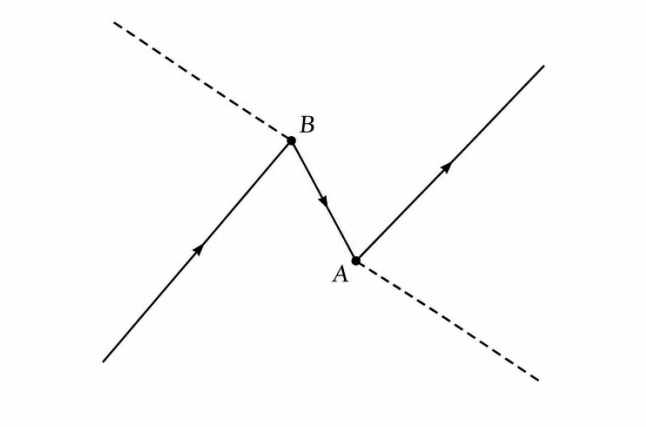
Em alternativa, podemos interpretar também o processo como a interação dos dois fotões com um único eletrão que se desloca primeiro para a frente no tempo, depois para trás e novamente para a frente.

Para esta interpretação, basta seguir as setas ao longo de toda a linha do eletrão: o eletrão desloca-se até ao ponto B, onde emite um fotão e inverte a direção para viajar para trás no tempo até ao ponto A; aí absorve o fotão inicial, volta a inverter a direção e afasta-se novamente para a frente no tempo.

De certo modo, a segunda interpretação é muito mais simples, porque basta seguir a linha de universo de uma única partícula.

Por outro lado, percebemos imediatamente que, ao fazê-lo, encontramos sérias dificuldades linguísticas.

O eletrão viaja *«primeiro»* até ao ponto B e *«depois»* até A; contudo, a absorção do fotão em A ocorre antes da emissão do outro fotão em B.



processo de dispersão envolvendo fotões, eletrões e um positrão

A melhor forma de evitar estas dificuldades consiste em encarar diagramas de espaço-tempo como o anterior não como registos cronológicos dos percursos das partículas através do tempo, mas antes como padrões quadridimensionais no espaço-tempo que representam uma rede de acontecimentos inter-relacionados à qual não está associada qualquer direção temporal definida.

Como todas as partículas podem deslocar-se para a frente e para trás no tempo, tal como podem mover-se para a esquerda e para a direita no espaço, não faz sentido impor aos diagramas um fluxo temporal unidirecional.

São simplesmente mapas quadridimensionais traçados no espaço-tempo de tal modo que não podemos falar de qualquer sequência temporal.

Nas palavras de Louis De Broglie:

> **No espaço-tempo, tudo aquilo que para cada um de nós constitui o passado, o presente e o futuro é dado *en bloc*... Cada observador, à**

> **medida que o seu tempo passa, descobre, por assim dizer, novas secções do espaço-tempo que lhe surgem como aspetos sucessivos do mundo material, embora, na realidade, o conjunto dos acontecimentos que constituem o espaço-tempo exista antes do seu conhecimento deles.**[12]

Este é, portanto, o significado pleno do espaço-tempo na física relativística.

Espaço e tempo são inteiramente equivalentes; encontram-se unificados num contínuo quadridimensional no qual as interações entre partículas podem estender-se em qualquer direção.

Se quisermos representar essas interações, temos de imaginá-las numa única *«fotografia instantânea quadridimensional»*, abrangendo tanto toda a extensão temporal como toda a região espacial.

Para adquirirmos a sensação correta do mundo relativístico das partículas, temos de *«esquecer o decorrer do tempo»*, como afirma Chuang Tzu, e é por isso que os diagramas de espaço-tempo da teoria de campos podem constituir uma analogia útil para a experiência espaço-temporal do místico oriental.

A pertinência da analogia torna-se evidente nas observações seguintes de Lama Govinda acerca da meditação budista:

> **Se falarmos da experiência do espaço na meditação, estamos a lidar com uma dimensão inteiramente diferente… Nesta experiência do espaço, a sequência temporal converte-se numa coexistência**

> **simultânea, na existência lado a lado das coisas... e isto, por sua vez, não permanece estático, mas transforma-se num contínuo vivo no qual tempo e espaço estão integrados.**[13]

Embora os físicos utilizem o seu formalismo matemático e os seus diagramas para representar as interações *en bloc* no espaço-tempo quadridimensional, afirmam que, no mundo efetivo, cada observador só consegue experienciar os fenómenos numa sucessão de secções do espaço-tempo, isto é, numa sequência temporal.

Os místicos, por outro lado, sustentam que conseguem efetivamente experienciar toda a extensão do espaço-tempo onde o tempo já não flui.

Assim afirma o mestre Zen Dogen:

> **A maioria acredita que o tempo passa; na realidade, permanece onde está. Esta ideia de passagem pode ser chamada tempo, mas é uma ideia incorreta, pois, como se vê o tempo apenas enquanto passagem, não se consegue compreender que ele permanece exatamente onde está.**[14]

Muitos mestres orientais enfatizam que o pensamento tem necessariamente de ocorrer no tempo, mas que a visão pode transcendê-lo.

> **«A visão»,**

afirma Govinda,

> **«está ligada a um espaço de dimensão superior e, por isso, é intemporal.»**[15]

O espaço-tempo da física relativística constitui um espaço intemporal semelhante, de dimensão superior.

Todos os acontecimentos nele estão interligados, mas as ligações não são causais.

As interações entre partículas só podem ser interpretadas em termos de causa e efeito quando os diagramas de espaço-tempo são lidos numa determinada direção, por exemplo, de baixo para cima.

Quando são considerados padrões quadridimensionais sem qualquer direção temporal definida, não existe *«antes»* nem *«depois»* e, portanto, também não existe causalidade.

Do mesmo modo, os místicos orientais afirmam que, ao transcenderem o tempo, transcendem também o mundo da causa e do efeito.

Tal como as nossas noções comuns de espaço e tempo, a causalidade é uma ideia limitada a determinada experiência do mundo e tem de ser abandonada quando essa experiência é ampliada.

Nas palavras de Swami Vivekananda:

> **Tempo, espaço e causalidade são como o vidro através do qual o Absoluto é visto… No Absoluto não existe tempo, espaço nem causalidade.**[16]

As tradições espirituais orientais mostram aos seus seguidores várias formas de ir além da experiência comum do tempo e de se libertarem da cadeia de causa e efeito — da escravidão do karma, como dizem hindus e budistas.

Por isso, já se afirmou que o misticismo oriental constitui uma libertação do tempo.

Em certo sentido, o mesmo poderá dizer-se da física relativística.

CAPÍTULO 13

O Universo Dinâmico



O objetivo central do misticismo oriental é experienciar todos os fenómenos do mundo como manifestações da mesma realidade última.

Essa realidade é vista como a essência do universo, subjacente à multiplicidade de coisas e acontecimentos que observamos e unificando-os.

Os hindus chamam-lhe Brahman; os budistas, Dharmakaya — o Corpo do Ser — ou Tathata — Talidade —; e os taoistas, Tao, afirmando todos que ela transcende os nossos conceitos intelectuais e desafia qualquer descrição adicional.

Contudo, esta essência última não pode ser separada das suas múltiplas manifestações.

Faz parte da sua própria natureza manifestar-se numa miríade de formas que surgem e se desintegram, transformando-se incessantemente umas nas outras.

No seu aspeto fenomenal, o Uno cósmico é, portanto, intrinsecamente dinâmico, e a apreensão dessa natureza dinâmica constitui um elemento fundamental de todas as escolas do misticismo oriental.

Assim escreve D. T. Suzuki acerca da escola Kegon do Budismo Mahayana:

> **A ideia central do Kegon consiste em apreender dinamicamente o universo, cuja característica é estar sempre a avançar, permanecer eternamente num estado de movimento, e isso é vida.**[1]

Esta ênfase no movimento, no fluxo e na mudança não é apenas característica das tradições místicas orientais; constitui também um aspeto essencial da visão do mundo dos místicos ao longo dos tempos.

Na Grécia antiga, Heraclito ensinava que *«tudo flui»* e comparava o mundo a um fogo eternamente vivo; e, no México, o místico yaqui Don Juan fala do *«mundo fugidio»* e afirma que

> **«para ser um homem de conhecimento é necessário ser leve e fluido».**[2]

Na filosofia indiana, os principais termos utilizados por hindus e budistas possuem conotações dinâmicas.

A palavra Brahman deriva da raiz sânscrita *brih* — crescer — e sugere, assim, uma realidade dinâmica e viva.

Nas palavras de S. Radhakrishnan:

> **«A palavra Brahman significa crescimento e sugere vida, movimento e progresso.»**[3]

Os Upanishads referem-se a Brahman como

> **«isto que não possui forma, imortal, em movimento»**[4]**,**

associando-o, assim, ao movimento, embora transcenda todas as formas.

O *Rig Veda* utiliza outro termo para exprimir a natureza dinâmica do universo: *Rita*.

Esta palavra deriva da raiz *ri* — mover-se — e, no *Rig Veda*, o seu significado original é *«o curso de todas as coisas», «a ordem da natureza»*.

Desempenha um papel importante nas lendas do Veda e está relacionada com todos os deuses védicos.

A ordem da natureza era concebida pelos videntes védicos não como uma lei divina estática, mas como um princípio dinâmico inerente ao universo.

Esta ideia não é muito diferente da conceção chinesa do Tao — *«o Caminho»* — enquanto modo como o universo funciona, isto é, enquanto ordem da natureza.

Tal como os videntes védicos, os sábios chineses viam o mundo em termos de fluxo e mudança e atribuíram, por isso, à ideia de uma ordem cósmica uma conotação essencialmente dinâmica.

Ambos os conceitos, Rita e Tao, foram mais tarde trazidos do seu nível cósmico original para o nível humano e interpretados num sentido moral: Rita como a lei universal à qual todos os deuses e seres humanos devem obedecer, e Tao como o modo correto de viver.

O conceito védico de Rita antecipa a ideia de karma, desenvolvida posteriormente para exprimir a interação dinâmica de todas as coisas e acontecimentos.

A palavra *karma* significa *«ação»* e designa a inter-relação *«ativa»*, ou dinâmica, de todos os fenómenos.

Nas palavras do *Bhagavad Gita*:

> **«Todas as ações têm lugar no tempo através do entrelaçamento das forças da natureza.»**[5]

Buda retomou o conceito tradicional de karma e atribuiu-lhe um novo significado, estendendo a ideia de interligações dinâmicas à esfera das situações humanas.

Karma passou, assim, a significar a cadeia interminável de causa e efeito na vida humana, cadeia que Buda rompeu ao alcançar o estado de iluminação.

O Hinduísmo encontrou também muitas formas de exprimir a natureza dinâmica do universo através da linguagem mítica.

Assim, Krishna afirma no *Gita*:

> **«Se eu não me envolvesse na ação, estes mundos pereceriam»**[6],

e Shiva, o Dançarino Cósmico, é talvez a personificação mais perfeita do universo dinâmico.

Através da sua dança, Shiva sustenta os múltiplos fenómenos do mundo, unificando todas as coisas ao mergulhá-las no seu ritmo e ao fazê-las participar na dança — uma magnífica imagem da unidade dinâmica do universo.

A imagem geral que emerge do Hinduísmo é a de um cosmos orgânico, em crescimento e movendo-se ritmicamente; um

universo em que tudo é fluido e está em permanente mudança, sendo todas as formas estáticas maya, isto é, existindo apenas enquanto conceitos ilusórios.

Esta última ideia — a impermanência de todas as formas — constitui o ponto de partida do Budismo.

Buda ensinou que

> **«todas as coisas compostas são impermanentes»**

e que todo o sofrimento do mundo surge da nossa tentativa de nos agarrarmos a formas fixas — objetos, pessoas ou ideias — em vez de aceitarmos o mundo tal como se move e muda.

A visão dinâmica do mundo encontra-se, assim, na própria raiz do Budismo.

Nas palavras de S. Radhakrishnan:

> **Uma maravilhosa filosofia do dinamismo foi formulada por Buda há 2500 anos... Impressionado pela transitoriedade dos objetos, pela mutação incessante e pela transformação das coisas, Buda formulou uma filosofia da mudança. Reduz substâncias, almas, mónadas e coisas a forças, movimentos, sequências e processos, adotando uma conceção dinâmica da realidade.**[7]

Os budistas chamam a este mundo de mudança incessante *samsara*, palavra que significa literalmente *«em movimento incessante»*, e afirmam que nada nele merece que nos agarremos.

Para os budistas, portanto, um ser iluminado é aquele que não resiste ao fluxo da vida, mas continua a mover-se com ele.

Quando perguntaram ao monge Ch'an Yün-men:

> **«O que é o Tao?»,**

ele respondeu simplesmente:

> **«Continue a andar!»**

Consequentemente, os budistas chamam também a Buda *Tathagata*, ou *«aquele que vem e vai assim»*.

Na filosofia chinesa, a realidade fluida e em permanente mudança chama-se Tao e é vista como um processo cósmico no qual todas as coisas estão envolvidas.

Tal como os budistas, os taoistas afirmam que não se deve resistir ao fluxo, mas adaptar as próprias ações a ele.

Isto, mais uma vez, é característico do sábio — o ser iluminado.

Se Buda é aquele que *«vem e vai assim»*, o sábio taoista é aquele que *«flui»*, como afirma Huai Nan Tzu*, *«na corrente do Tao»*.

Quanto mais se estudam os textos religiosos e filosóficos dos hindus, budistas e taoistas, mais evidente se torna que, em todos eles, o mundo é concebido em termos de movimento, fluxo e mudança.

Esta qualidade dinâmica da filosofia oriental parece constituir uma das suas características mais importantes.

Os místicos orientais veem o universo como uma teia inseparável, cujas interligações são dinâmicas e não estáticas.

A teia cósmica está viva; move-se, cresce e muda continuamente.

Também a física moderna passou a conceber o universo como uma teia de relações deste género e, tal como o misticismo oriental, reconheceu que essa teia é intrinsecamente dinâmica.

O aspeto dinâmico da matéria surge na teoria quântica como consequência da natureza ondulatória das partículas subatómicas e torna-se ainda mais essencial na teoria da relatividade, como

* Ver página 195.

veremos, onde a unificação do espaço e do tempo implica que o ser da matéria não pode ser separado da sua atividade.

As propriedades das partículas subatómicas só podem, portanto, ser compreendidas num contexto dinâmico; em termos de movimento, interação e transformação.

Segundo a teoria quântica, as partículas são também ondas, e isto implica que se comportem de uma forma muito peculiar.

Sempre que uma partícula subatómica é confinada a uma pequena região do espaço, reage a esse confinamento movendo-se no interior dessa região.

Quanto menor for a região de confinamento, mais rapidamente a partícula *«se agitará»* no seu interior.

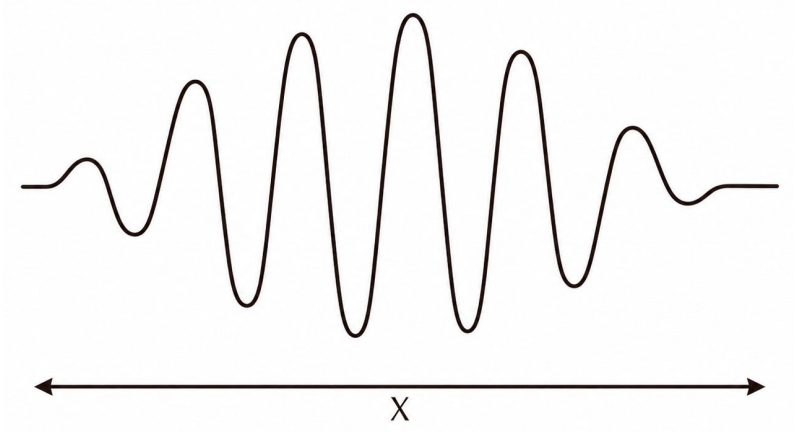
Este comportamento é um típico *«efeito quântico»*, uma característica do mundo subatómico sem equivalente macroscópico.

Para compreendermos como surge, temos de recordar que, na teoria quântica, as partículas são representadas por pacotes de ondas.

Como anteriormente discutido*, o comprimento de um pacote de ondas deste género representa a incerteza na localização da partícula.

O padrão ondulatório seguinte, por exemplo, corresponde a uma partícula localizada algures na região X; não podemos dizer com certeza onde exatamente.

Se quisermos localizar a partícula com maior precisão, isto é, se quisermos confiná-la a uma região menor, temos de comprimir o seu pacote de ondas dentro dessa região (ver diagrama abaixo).



um pacote de ondas

Isto, contudo, afetará o comprimento de onda do pacote e, consequentemente, a velocidade da partícula.

* Ver página 272.

Como resultado, a partícula deslocar-se-á no interior da região; quanto mais confinada estiver, mais depressa se moverá.



compressão do pacote de ondas numa região menor

A tendência das partículas para reagirem ao confinamento através do movimento implica uma *«inquietação»* fundamental da matéria, característica do mundo subatómico.

Neste mundo, a maioria das partículas materiais está ligada às estruturas moleculares, atómicas e nucleares e, por isso, não se encontra em repouso, mas possui uma tendência inerente para se mover — são intrinsecamente inquietas.

Segundo a teoria quântica, a matéria nunca está, portanto, em repouso, mas sempre num estado de movimento.

Macroscopicamente, os objetos materiais que nos rodeiam podem parecer passivos e inertes, mas, quando ampliamos um pedaço *«morto»* de pedra ou de metal, verificamos que está repleto de atividade.

Quanto mais de perto o observamos, mais vivo parece.

Todos os objetos materiais do nosso ambiente são constituídos por átomos que se ligam entre si de várias formas para formar uma enorme variedade de estruturas moleculares, que não são rígidas nem imóveis, mas oscilam de acordo com a sua temperatura e em harmonia com as vibrações térmicas do ambiente.

Nos átomos em vibração, os eletrões estão ligados aos núcleos atómicos por forças elétricas que procuram mantê-los tão próximos quanto possível, e respondem a esse confinamento rodopiando extremamente depressa.

Nos núcleos, por fim, os protões e neutrões são comprimidos num volume minúsculo pelas fortes forças nucleares e, consequentemente, deslocam-se a velocidades inimagináveis.

A física moderna representa, portanto, a matéria não como algo passivo e inerte, mas como estando num movimento contínuo de dança e vibração, cujos padrões rítmicos são determinados pelas estruturas moleculares, atómicas e nucleares.

É também desta forma que os místicos orientais veem o mundo material.

Todos enfatizam que o universo tem de ser apreendido dinamicamente, à medida que se move, vibra e dança; que a natureza não se encontra num equilíbrio estático, mas dinâmico.

Nas palavras de um texto taoista:

> **A quietude na quietude não é a verdadeira quietude. Só quando existe quietude no movimento pode surgir o ritmo espiritual que permeia o céu e a terra.**[8]

Na física, reconhecemos a natureza dinâmica do universo não apenas quando descemos às pequenas dimensões — ao mundo dos átomos e núcleos —, mas também quando nos voltamos para as grandes dimensões — para o mundo das estrelas e galáxias.

Através dos nossos poderosos telescópios, observamos um universo em movimento incessante.

Nuvens de gás de hidrogénio em rotação contraem-se para formar estrelas, aquecendo durante o processo até se transformarem em fogos ardentes no céu.

Quando atingem essa fase, continuam ainda a rodar, algumas delas expelindo matéria para o espaço, que se move em espiral para fora e condensa em planetas que orbitam a estrela.

Por fim, após milhões de anos, quando a maior parte do seu combustível de hidrogénio se esgota, a estrela expande-se e depois volta a contrair-se no colapso gravitacional final.

Esse colapso pode envolver explosões gigantescas e pode até transformar a estrela num buraco negro.

Todas estas atividades — a formação das estrelas a partir de nuvens de gás interestelar, a sua contração e posterior expansão e o colapso final — podem efetivamente ser observadas algures no céu.



As estrelas em rotação, contração, expansão ou explosão agrupam-se em galáxias de várias formas — discos planos, esferas, espirais, etc. — que, por sua vez, também não estão imóveis, mas giram.

A nossa galáxia, a Via Láctea, é um imenso disco de estrelas e gás que gira no espaço como uma enorme roda, de modo que todas as suas estrelas — incluindo o Sol e os seus planetas — se movem em torno do centro da galáxia.

O universo está, de facto, repleto de galáxias espalhadas por todo o espaço que conseguimos observar; todas em rotação, tal como a nossa.

Quando estudamos o universo como um todo, com os seus milhões de galáxias, alcançamos a maior escala de espaço e tempo;

e, mais uma vez, nesse nível cósmico, descobrimos que o universo não é estático — está em expansão!

Esta foi uma das descobertas mais importantes da astronomia moderna.

Uma análise detalhada da luz recebida das galáxias distantes mostrou que todo o conjunto de galáxias se expande e que o faz de forma bem coordenada; a velocidade de recessão de qualquer galáxia que observemos é proporcional à distância dessa galáxia.

Quanto mais distante estiver a galáxia, mais rapidamente se afasta de nós; ao dobro da distância, a velocidade de recessão será também o dobro.

Isto não é verdadeiro apenas para distâncias medidas a partir da nossa galáxia, mas aplica-se a qualquer ponto de referência.

Seja qual for a galáxia em que se encontre, observará todas as outras a afastarem-se de si; as galáxias próximas a vários milhares de milhas por segundo, as mais distantes a velocidades superiores e as mais afastadas a velocidades próximas da velocidade da luz.

A luz proveniente de galáxias para além dessa distância nunca nos alcançará, porque se afastam de nós mais depressa do que a velocidade da luz.

A sua luz é — nas palavras de Sir Arthur Eddington —

> **«como um corredor numa pista em expansão, com a meta a afastar-se mais depressa do que ele consegue correr».**

Para termos uma melhor ideia da forma como o universo se expande, devemos recordar que o enquadramento adequado para estudar as suas características em grande escala é a teoria da relatividade geral de Einstein.

Segundo esta teoria, o espaço não é *«plano»*, mas *«curvo»*, e a forma precisa dessa curvatura relaciona-se com a distribuição da matéria através das equações de campo de Einstein.

Essas equações podem ser utilizadas para determinar a estrutura do universo como um todo; constituem o ponto de partida da cosmologia moderna.

Quando falamos de um universo em expansão no enquadramento da relatividade geral, estamos a falar de uma expansão numa dimensão superior.

Tal como acontece com o conceito de espaço curvo, só conseguimos visualizar uma ideia desta natureza através de uma analogia bidimensional.

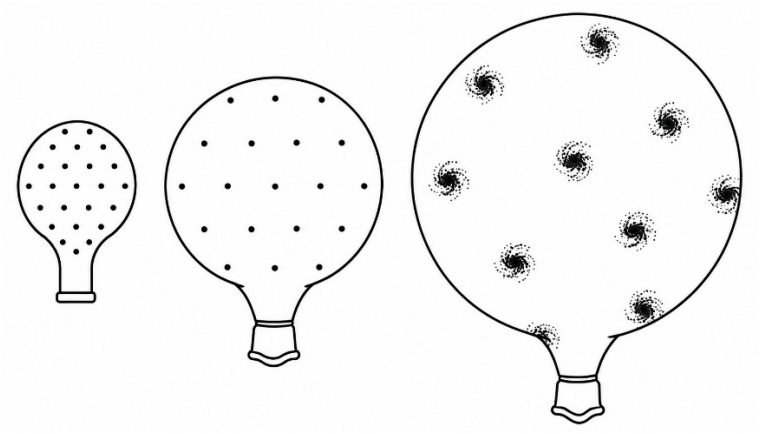
Imagine um balão com um grande número de pontos na superfície.

O balão representa o universo, a sua superfície curva bidimensional representa o espaço tridimensional curvo e os pontos na superfície representam as galáxias nesse espaço.

Quando o balão é insuflado, todas as distâncias entre os pontos aumentam.

Qualquer que seja o ponto em que decida colocar-se, todos os outros se afastarão de si.

O universo expande-se da mesma forma: qualquer que seja a galáxia em que um observador se encontre, todas as outras galáxias se afastarão dele.



Uma pergunta óbvia acerca do universo em expansão é: como começou tudo isto?

A partir da relação entre a distância de uma galáxia e a sua velocidade de recessão — conhecida como lei de Hubble — é

possível calcular o ponto de partida da expansão, ou seja, a idade do universo.

Pressupondo que não houve qualquer alteração na taxa de expansão — o que está longe de ser certo —, chega-se a uma idade da ordem dos 10 000 milhões de anos.

Esta seria, portanto, a idade do universo.

A maioria dos cosmólogos acredita hoje que o universo surgiu num acontecimento altamente dramático há cerca de 10 000 milhões de anos, quando toda a sua massa explodiu a partir de uma pequena bola de fogo primordial.

A atual expansão do universo é vista como o impulso remanescente dessa explosão inicial.

Segundo este modelo do *«big bang»*, o momento do big bang marcou o início do universo e o início do espaço e do tempo.

Se quisermos saber o que aconteceu antes desse momento, voltamos a encontrar — mais uma vez — sérias dificuldades de pensamento e linguagem.

Nas palavras de Sir Bernard Lovell:

> **Aí chegamos à grande barreira do pensamento, porque começamos a lutar com os conceitos de tempo e espaço antes de estes existirem**

> **nos termos da nossa experiência quotidiana. Sinto como se tivesse subitamente entrado numa enorme barreira de nevoeiro onde o mundo familiar desapareceu.**[9]

No que diz respeito ao futuro do universo em expansão, as equações de Einstein não fornecem uma resposta única.

Permitem várias soluções diferentes, correspondentes a diferentes modelos do universo.

Alguns modelos preveem que a expansão continuará para sempre; segundo outros, está a abrandar e acabará por transformar-se numa contração.

Estes modelos descrevem um universo oscilante, expandindo-se durante milhares de milhões de anos, contraindo-se depois até que toda a sua massa fique condensada numa pequena esfera de matéria, expandindo-se novamente e assim sucessivamente, sem fim.

Esta ideia de um universo que se expande e contrai periodicamente, envolvendo uma escala de tempo e espaço de proporções vastíssimas, não surgiu apenas na cosmologia moderna, mas também na antiga mitologia indiana.

Ao experienciarem o universo como um cosmos orgânico e ritmicamente móvel, os hindus conseguiram desenvolver cosmologias evolutivas que se aproximam muito dos nossos modelos científicos modernos.

Uma dessas cosmologias baseia-se no mito hindu de *lila* — o jogo divino — no qual Brahman se transforma no mundo.*

Lila é um jogo rítmico que prossegue em ciclos intermináveis, o Uno tornando-se os muitos e os muitos regressando ao Uno.

No *Bhagavad Gita*, o deus Krishna descreve este jogo rítmico da criação nas seguintes palavras:

> No fim da noite do tempo, todas as coisas regressam à minha natureza; e, quando começa o novo dia do tempo, trago-as novamente à luz.
> Assim, através da minha natureza, dou origem a toda a criação, e esta gira nos círculos do tempo.
>
> Mas não estou preso a esta vasta obra da criação. Eu sou, e observo o drama das obras.
>
> Observo, e, na sua obra de criação, a natureza produz tudo aquilo que se move e aquilo que não se move: e assim as revoluções do mundo continuam a girar.[10]

Os sábios hindus não recearam identificar este jogo divino rítmico com a evolução do cosmos como um todo.

---

* Ver página 142.

Conceberam o universo como expandindo-se e contraindo-se periodicamente e deram o nome de *kalpa* ao inimaginável intervalo de tempo entre o início e o fim de uma criação.

A escala deste antigo mito é verdadeiramente impressionante; foram necessários mais de dois mil anos para que a mente humana voltasse a conceber algo semelhante.

Do mundo do muito grande, do cosmos em expansão, regressemos agora ao mundo do infinitamente pequeno.

A física do século XX caracterizou-se por uma penetração cada vez mais profunda neste mundo de dimensões submicroscópicas, descendo aos domínios dos átomos, núcleos e respetivos constituintes.

Esta exploração do mundo submicroscópico foi motivada por uma questão fundamental que ocupou e estimulou o pensamento humano ao longo dos tempos: de que é constituída a matéria?

Desde os primórdios da filosofia natural, homens e mulheres especularam acerca desta questão, procurando encontrar a *«matéria fundamental»* de que toda a matéria seria feita; mas só no nosso século se tornou possível procurar uma resposta através da experimentação.

Com a ajuda de tecnologia altamente sofisticada, os físicos conseguiram explorar primeiro a estrutura dos átomos, descobrindo

que eram constituídos por núcleos e eletrões, e depois a estrutura dos núcleos atómicos, que se revelou constituída por protões e neutrões, normalmente chamados nucleões.

Nas duas últimas décadas, avançaram ainda mais um passo e começaram a investigar a estrutura dos nucleões — os constituintes dos núcleos atómicos —, que, mais uma vez, não parecem ser as partículas elementares últimas, mas parecem ser compostos por outras entidades.

O primeiro passo na penetração em camadas cada vez mais profundas da matéria — a exploração do mundo dos átomos — conduziu a várias modificações profundas da nossa visão da matéria, discutidas nos capítulos anteriores.

O segundo passo foi a penetração no mundo dos núcleos atómicos e dos seus constituintes, e obrigou-nos a alterar as nossas perspetivas de maneira não menos profunda.

Neste mundo, lidamos com dimensões cem mil vezes menores do que as dimensões atómicas e, consequentemente, as partículas confinadas a dimensões tão pequenas movem-se consideravelmente mais depressa do que aquelas confinadas a estruturas atómicas.

Na realidade, movem-se tão depressa que só podem ser adequadamente descritas no enquadramento da teoria da relatividade restrita.

Para compreender as propriedades e interações das partículas subatómicas, é, portanto, necessário utilizar um enquadramento que tenha em conta tanto a teoria quântica como a teoria da relatividade, e é precisamente a teoria da relatividade que nos obriga a modificar novamente a nossa visão da matéria.

A característica distintiva do enquadramento relativístico é, como já foi referido, a unificação de conceitos fundamentais que anteriormente pareciam totalmente independentes.

Um dos exemplos mais importantes é a equivalência entre massa e energia, expressa matematicamente pela célebre equação de Einstein:

$$E = mc^2$$

Para compreendermos o significado profundo desta equivalência, temos primeiro de compreender o significado de energia e o significado de massa.

A energia é um dos conceitos mais importantes utilizados na descrição dos fenómenos naturais.

Tal como na vida quotidiana, dizemos que um corpo possui energia quando tem capacidade para realizar trabalho.

Essa energia pode assumir uma enorme variedade de formas.

Pode ser energia de movimento, energia térmica, energia gravitacional, energia elétrica, energia química, e assim por diante.

Qualquer que seja a forma, pode ser utilizada para realizar trabalho.

Uma pedra, por exemplo, pode receber energia gravitacional ao ser elevada a determinada altura.

Quando é largada dessa altura, a sua energia gravitacional transforma-se em energia de movimento — *«energia cinética»* — e, quando a pedra atinge o solo, pode realizar trabalho ao partir alguma coisa.

Tomando um exemplo mais construtivo, a energia elétrica ou a energia química podem ser transformadas em energia térmica e utilizadas para fins domésticos.

Na física, a energia está sempre associada a algum processo ou a algum tipo de atividade, e a sua importância fundamental reside no facto de a energia total envolvida num processo ser sempre conservada.

Pode mudar de forma das maneiras mais complexas, mas nenhuma parte se perde.

A conservação da energia constitui uma das leis mais fundamentais da física.

Governa todos os fenómenos naturais conhecidos e, até hoje, nunca foi observada qualquer violação dessa lei.

A massa de um corpo, por outro lado, constitui uma medida do seu peso, isto é, da atração gravitacional exercida sobre esse corpo.

Além disso, a massa mede a inércia de um objeto, isto é, a sua resistência à aceleração.

Objetos pesados são mais difíceis de acelerar do que objetos leves, facto bem conhecido por qualquer pessoa que alguma vez tenha empurrado um automóvel.

Na física clássica, a massa estava ainda associada a uma substância material indestrutível, isto é, à *«matéria»* da qual se pensava que todas as coisas eram constituídas.

Tal como a energia, acreditava-se que a massa era rigorosamente conservada, de modo que nenhuma quantidade de massa poderia jamais perder-se.

A teoria da relatividade diz-nos agora que a massa nada mais é do que uma forma de energia.

A energia pode assumir não apenas as várias formas conhecidas na física clássica, mas pode também encontrar-se armazenada na massa de um objeto.

A quantidade de energia contida, por exemplo, numa partícula é igual à massa da partícula, **m**, multiplicada por **c²**, o quadrado da velocidade da luz:



Uma vez reconhecida como uma forma de energia, a massa deixa de ter de ser indestrutível e pode transformar-se noutras formas de energia.

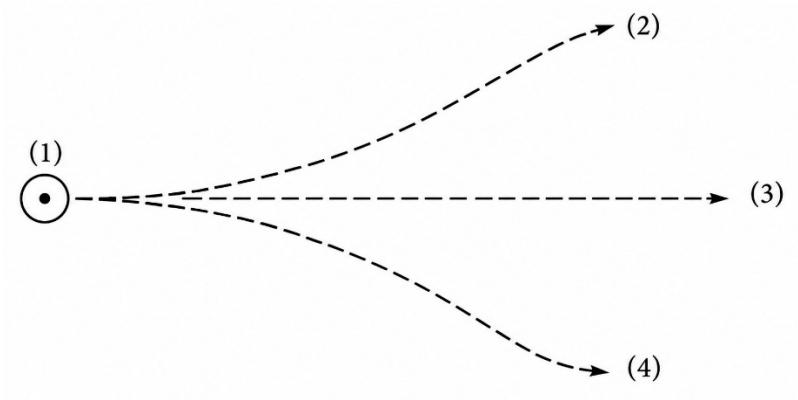
Isto pode ocorrer quando partículas subatómicas colidem umas com as outras.

Nessas colisões, as partículas podem ser destruídas e a energia contida nas suas massas pode transformar-se em energia cinética e distribuir-se pelas outras partículas envolvidas na colisão.

Inversamente, quando partículas colidem a velocidades muito elevadas, a sua energia cinética pode ser utilizada para formar as massas de novas partículas.

A fotografia abaixo mostra um exemplo extremo de uma colisão deste género: um protão entra na câmara de bolhas pela esquerda, expulsa um eletrão de um átomo — rasto em espiral — e depois

colide com outro protão, criando dezasseis novas partículas no processo de colisão.



A criação e destruição de partículas materiais constitui uma das consequências mais impressionantes da equivalência entre massa e energia.

Nos processos de colisão da física de altas energias, a massa deixa de ser conservada.

As partículas que colidem podem ser destruídas e as suas massas podem transformar-se parcialmente nas massas e parcialmente nas energias cinéticas das partículas recém-criadas.

Só a energia total envolvida num processo deste género — isto é, a energia cinética total mais a energia contida em todas as massas — é conservada.

As colisões de partículas subatómicas constituem o nosso principal instrumento para estudar as suas propriedades, e a relação entre massa e energia é essencial para a sua descrição.

Foi verificada inúmeras vezes e os físicos de partículas estão completamente familiarizados com a equivalência entre massa e energia; tão familiarizados, de facto, que medem as massas das partículas nas unidades de energia correspondentes.

A descoberta de que a massa nada mais é do que uma forma de energia obrigou-nos a modificar de forma essencial o nosso conceito de partícula.

Na física moderna, a massa já não está associada a uma substância material e, portanto, as partículas não são vistas como sendo constituídas por qualquer «*matéria fundamental*», mas como feixes de energia.

Como a energia, contudo, está associada à atividade, aos processos, isto implica que a natureza das partículas subatómicas é intrinsecamente dinâmica.

Para compreendermos melhor esta ideia, devemos recordar que estas partículas só podem ser concebidas em termos relativísticos, isto é, no contexto de um enquadramento em que espaço e tempo estão fundidos num contínuo quadridimensional.

As partículas não devem ser imaginadas como objetos tridimensionais estáticos, como bolas de bilhar ou grãos de areia, mas antes como entidades quadridimensionais no espaço-tempo.

As suas formas têm de ser compreendidas dinamicamente, enquanto formas no espaço e no tempo.

As partículas subatómicas são padrões dinâmicos que possuem um aspeto espacial e um aspeto temporal.

O seu aspeto espacial faz com que apareçam como objetos com determinada massa; o seu aspeto temporal, como processos envolvendo a energia equivalente.

Estes padrões dinâmicos, ou *«feixes de energia»*, formam as estruturas nucleares, atómicas e moleculares estáveis que constituem a matéria e lhe conferem o seu aspeto sólido macroscópico, fazendo-nos acreditar que é constituída por alguma substância material.

Ao nível macroscópico, esta noção de substância constitui uma aproximação útil, mas, ao nível atómico, deixa de fazer sentido.

Os átomos são constituídos por partículas, e essas partículas não são feitas de qualquer substância material.

Quando as observamos, nunca vemos qualquer substância; aquilo que observamos são padrões dinâmicos que se transformam continuamente uns nos outros — uma dança contínua de energia.

A teoria quântica mostrou que as partículas não são grãos isolados de matéria, mas padrões de probabilidade, interligações numa teia cósmica inseparável.

A teoria da relatividade, por assim dizer, deu vida a esses padrões ao revelar o seu caráter intrinsecamente dinâmico.

Mostrou que a atividade da matéria constitui a própria essência do seu ser.

As partículas do mundo subatómico não são apenas ativas no sentido de se moverem extremamente depressa; elas próprias são processos!

A existência da matéria e a sua atividade não podem ser separadas.

São apenas diferentes aspetos da mesma realidade espaço-temporal.

No capítulo anterior, argumentou-se que a consciência da *«interpenetração»* do espaço e do tempo conduziu os místicos orientais a uma visão do mundo intrinsecamente dinâmica.

Um estudo dos seus escritos revela que concebem o mundo não apenas em termos de movimento, fluxo e mudança, mas parecem também possuir uma forte intuição do caráter *«espaço-temporal»* dos objetos materiais, tão característico da física relativística.

Os físicos têm de ter em conta a unificação do espaço e do tempo quando estudam o mundo subatómico e, consequentemente, veem os objetos desse mundo — as partículas — não de forma estática, mas dinâmica, em termos de energia, atividade e processos.

Os místicos orientais, nos seus estados não comuns de consciência, parecem ter consciência da interpenetração do espaço e do tempo a um nível macroscópico e, assim, veem os objetos macroscópicos de uma forma muito semelhante à conceção que os físicos têm das partículas subatómicas.

Isto é particularmente impressionante no Budismo.

Um dos principais ensinamentos de Buda era que

> **«todas as coisas compostas são impermanentes».**

Na versão original em páli desta célebre afirmação[11], o termo utilizado para *«coisas»* é *sankhara* — em sânscrito, *samskara* —, palavra que significa, antes de mais, *«um acontecimento»* ou *«uma ocorrência»* — também *«um ato»*, *«uma ação»* — e apenas secundariamente *«uma coisa existente»*.

Isto mostra claramente que os budistas possuem uma conceção dinâmica das coisas enquanto processos em permanente mudança.

Nas palavras de D. T. Suzuki:

> **Os budistas conceberam um objeto como um acontecimento e não como uma coisa ou substância... A conceção budista das «coisas» enquanto samskara — ou sankhara —, isto é, enquanto «atos» ou «acontecimentos», mostra claramente que os budistas compreendem a nossa experiência em termos de tempo e movimento.**[12]

Tal como os físicos modernos, os budistas veem todos os objetos como processos num fluxo universal e negam a existência de qualquer substância material.

Esta negação constitui uma das características mais distintivas de todas as escolas da filosofia budista.

É também característica do pensamento chinês, que desenvolveu uma visão semelhante das coisas enquanto fases transitórias no Tao em fluxo permanente e se interessou mais pelas suas inter-relações do que pela sua redução a uma substância fundamental.

> **«Enquanto a filosofia europeia tendia a encontrar a realidade na substância»,**

escreve Joseph Needham,

> **«a filosofia chinesa tendia a encontrá-la na relação.»**[13]

Nas visões dinâmicas do mundo do misticismo oriental e da física moderna, portanto, não existe lugar para formas estáticas nem para qualquer substância material.

Os elementos fundamentais do universo são padrões dinâmicos; fases transitórias no

> **«fluxo constante de transformação e mudança»,**

como lhe chama Chuang Tzu.

Segundo o nosso conhecimento atual da matéria, os seus padrões fundamentais são as partículas subatómicas, e compreender as suas propriedades e interações constitui o principal objetivo da física fundamental moderna.

Conhecemos atualmente mais de duzentas partículas, a maioria das quais é criada artificialmente em processos de colisão e existe durante um período extremamente curto — muito menos de um milionésimo de segundo!

É, portanto, bastante evidente que essas partículas de vida breve representam apenas padrões transitórios de processos dinâmicos.

As principais questões relativas a esses padrões, ou partículas, são as seguintes:

Quais são as suas características distintivas?

São compostas e, em caso afirmativo, de que são constituídas — ou, melhor, que outros padrões envolvem?

Como interagem umas com as outras, isto é, quais são as forças entre elas?

Por fim, se as próprias partículas são processos, que tipo de processos são?

Tomámos consciência de que, na física de partículas, todas estas questões estão inseparavelmente ligadas.

Devido à natureza relativística das partículas subatómicas, não podemos compreender as suas propriedades sem compreender as suas interações mútuas e, devido à interligação fundamental do mundo subatómico, não compreenderemos nenhuma partícula antes de compreendermos todas as outras.

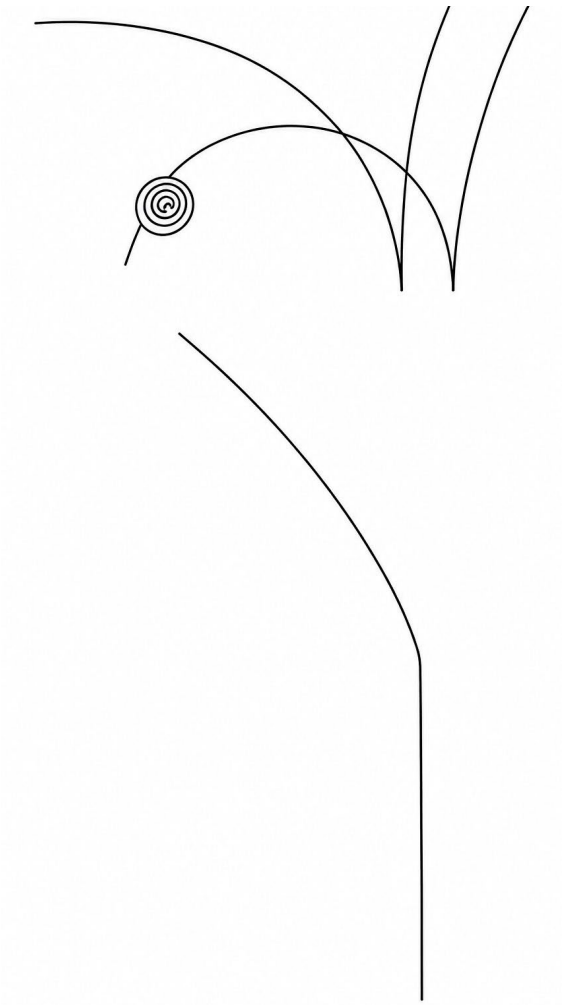
Os capítulos seguintes mostrarão até onde chegámos na compreensão das propriedades e interações das partículas.

Embora ainda não disponhamos de uma teoria quântico-relativística completa do mundo subatómico, foram desenvolvidas várias teorias e modelos parciais que descrevem alguns aspetos desse mundo com grande sucesso.

A discussão dos mais importantes desses modelos e teorias mostrará que todos eles envolvem conceções filosóficas que apresentam uma concordância impressionante com as do misticismo oriental.

CAPÍTULO 14

Vazio e Forma



A visão clássica e mecanicista do mundo baseava-se na noção de partículas sólidas e indestrutíveis movendo-se no vazio. A física moderna provocou uma revisão radical desta imagem. Não conduziu apenas a uma noção completamente nova de *«partículas»*, mas transformou também profundamente o conceito clássico de vazio.

Esta transformação ocorreu nas chamadas teorias de campo. Começou com a ideia de Einstein de associar o campo gravitacional à geometria do espaço e tornou-se ainda mais acentuada quando a teoria quântica e a teoria da relatividade foram combinadas para descrever os campos de força das partículas subatómicas.

Nestas *«teorias quânticas de campo»*, a distinção entre as partículas e o espaço que as rodeia perde a nitidez original e o vazio

passa a ser reconhecido como uma grandeza dinâmica de importância fundamental.

O conceito de campo foi introduzido no século XIX por Faraday e Maxwell na descrição das forças existentes entre cargas e correntes elétricas.

Um campo elétrico é uma condição existente no espaço em torno de um corpo carregado que produzirá uma força sobre qualquer outra carga presente nesse espaço.

Os campos elétricos são, assim, criados por corpos carregados e os seus efeitos só podem ser sentidos por outros corpos carregados.

Os campos magnéticos são produzidos por cargas em movimento, isto é, por correntes elétricas, e as forças magnéticas daí resultantes podem ser sentidas por outras cargas em movimento.

Na eletrodinâmica clássica, a teoria construída por Faraday e Maxwell, os campos são entidades físicas primárias que podem ser estudadas sem qualquer referência a corpos materiais.

Campos elétricos e magnéticos em vibração podem propagar-se através do espaço sob a forma de ondas de rádio, ondas luminosas ou outros tipos de radiação eletromagnética.

A teoria da relatividade tornou a estrutura da eletrodinâmica muito mais elegante ao unificar os conceitos de cargas e correntes, bem como os de campos elétricos e magnéticos.

Uma vez que todo o movimento é relativo, qualquer carga pode também surgir como uma corrente — num referencial em que se move relativamente ao observador — e, consequentemente, o seu campo elétrico pode também aparecer como campo magnético.

Na formulação relativística da eletrodinâmica, os dois campos encontram-se, assim, unificados num único campo eletromagnético.

O conceito de campo não foi associado apenas à força eletromagnética, mas também à outra grande força do mundo em grande escala: a gravidade.

Os campos gravitacionais são criados e sentidos por todos os corpos dotados de massa, e as forças daí resultantes são sempre forças de atração, ao contrário dos campos eletromagnéticos, que só são sentidos por corpos carregados e que dão origem tanto a forças atrativas como repulsivas.

A teoria de campo adequada para o campo gravitacional é a teoria da relatividade geral e, nesta teoria, a influência de um corpo de grande massa sobre o espaço circundante é mais profunda do que a influência correspondente de um corpo carregado na eletrodinâmica.

Mais uma vez, o espaço em torno do objeto é *«condicionado»* de tal forma que outro objeto sentirá uma força, mas, desta vez, esse condicionamento afeta a geometria e, portanto, a própria estrutura do espaço.

Matéria e espaço vazio — o cheio e o vazio — eram os dois conceitos fundamentalmente distintos sobre os quais se baseava o atomismo de Demócrito e de Newton.

Na relatividade geral, estes dois conceitos já não podem ser separados.

Sempre que existe um corpo dotado de massa, existe também um campo gravitacional, e esse campo manifesta-se como a curvatura do espaço em torno desse corpo.

Não devemos, contudo, imaginar que o campo preenche o espaço e o *«curva»*.

Os dois não podem ser distinguidos; *o campo é o próprio espaço curvo*.

Na relatividade geral, o campo gravitacional e a estrutura, ou geometria, do espaço são idênticos.

São representados nas equações de campo de Einstein pela mesma grandeza matemática.

Na teoria de Einstein, portanto, a matéria não pode ser separada do seu campo gravitacional, e o campo gravitacional não pode ser separado do espaço curvo.

Matéria e espaço surgem, assim, como partes inseparáveis e interdependentes de um único todo.

Os objetos materiais não só determinam a estrutura do espaço circundante como são, por sua vez, profundamente influenciados pelo seu ambiente.

Segundo o físico e filósofo Ernst Mach, a inércia de um objeto material — a resistência desse objeto à aceleração — não constitui uma propriedade intrínseca da matéria, mas uma medida da sua interação com todo o restante universo.

Na perspetiva de Mach, a matéria só possui inércia porque existe outra matéria no universo.

Quando um corpo roda, a sua inércia produz forças centrífugas — utilizadas, por exemplo, numa máquina de centrifugação para extrair água de roupa molhada —, mas essas forças surgem apenas porque o corpo roda *«relativamente às estrelas fixas»*, como afirmou Mach.

Se essas estrelas fixas desaparecessem subitamente, a inércia e as forças centrífugas do corpo em rotação desapareceriam com elas.

Esta conceção da inércia, que ficou conhecida como princípio de Mach, exerceu uma profunda influência sobre Albert Einstein e constituiu a sua motivação original para construir a teoria da relatividade geral.

Devido à considerável complexidade matemática da teoria de Einstein, os físicos ainda não chegaram a acordo quanto à questão de saber se ela incorpora efetivamente ou não o princípio de Mach.

A maioria dos físicos acredita, contudo, que este deverá ser incorporado, de uma forma ou de outra, numa teoria completa da gravidade.

A física moderna mostra-nos, assim, mais uma vez — e desta vez ao nível macroscópico — que os objetos materiais não são entidades distintas, mas estão inseparavelmente ligados ao seu ambiente; que as suas propriedades só podem ser compreendidas em termos da sua interação com o restante mundo.

Segundo o princípio de Mach, esta interação estende-se ao universo em grande escala, às estrelas e galáxias distantes.

A unidade fundamental do cosmos manifesta-se, portanto, não apenas no mundo do muito pequeno, mas também no mundo do muito grande; facto cada vez mais reconhecido pela astrofísica e cosmologia modernas.

Nas palavras do astrónomo Fred Hoyle:

> **Os desenvolvimentos atuais da cosmologia começam a sugerir, de forma bastante insistente, que as condições quotidianas não poderiam persistir sem as regiões distantes do Universo, que todas as nossas ideias acerca do espaço e da geometria se tornariam inteiramente inválidas se as partes distantes do Universo fossem removidas. A nossa experiência quotidiana, até aos seus mais pequenos pormenores, parece estar tão intimamente integrada nas características de grande escala do Universo que é quase impossível conceber ambas separadamente.**[1]

A unidade e inter-relação entre um objeto material e o seu ambiente, que se manifesta em escala macroscópica na teoria da relatividade geral, surge de forma ainda mais impressionante ao nível subatómico.

Aqui, as ideias da teoria clássica de campos são combinadas com as da teoria quântica para descrever as interações entre partículas subatómicas.

Essa combinação ainda não foi possível para a interação gravitacional devido à complexa forma matemática da teoria da gravidade de Einstein; mas a outra teoria clássica de campo, a eletrodinâmica, foi fundida com a teoria quântica numa teoria chamada *«eletrodinâmica quântica»*, que descreve todas as interações eletromagnéticas entre partículas subatómicas.

Esta teoria incorpora tanto a teoria quântica como a teoria da relatividade.

Foi o primeiro modelo *«quântico-relativístico»* da física moderna e continua a ser o mais bem-sucedido.

A nova característica extraordinária da eletrodinâmica quântica surge da combinação de dois conceitos: o do campo eletromagnético e o dos fotões enquanto manifestações corpusculares das ondas eletromagnéticas.

Uma vez que os fotões são também ondas eletromagnéticas e estas ondas são campos em vibração, os fotões têm de ser manifestações de campos eletromagnéticos.

Daí o conceito de *«campo quântico»*, isto é, de um campo que pode assumir a forma de quanta, ou partículas.

Trata-se, de facto, de um conceito inteiramente novo, que foi alargado de modo a descrever todas as partículas subatómicas e as suas interações, correspondendo cada tipo de partícula a um campo diferente.

Nestas *«teorias quânticas de campo»*, o contraste clássico entre partículas sólidas e o espaço que as rodeia é completamente ultrapassado.

O campo quântico é visto como a entidade física fundamental; um meio contínuo presente em todo o espaço.

As partículas são apenas condensações locais do campo; concentrações de energia que surgem e desaparecem, perdendo assim o seu caráter individual e dissolvendo-se no campo subjacente.

Nas palavras de Albert Einstein:

> **Podemos, portanto, considerar que a matéria é constituída pelas regiões do espaço em que o campo é extremamente intenso... Nesta nova espécie de física não existe lugar simultaneamente para o campo e para a matéria, pois o campo é a única realidade.**[2]

A conceção das coisas e fenómenos físicos como manifestações transitórias de uma entidade fundamental subjacente não constitui apenas um elemento básico da teoria quântica de campos, mas também um elemento fundamental da visão oriental do mundo.

Tal como Einstein, os místicos orientais consideram essa entidade subjacente como a única realidade; todas as suas manifestações fenomenais são vistas como transitórias e ilusórias.

Esta realidade do místico oriental não pode ser identificada com o campo quântico do físico, porque é entendida como a essência de todos os fenómenos deste mundo e, consequentemente, encontra-se para além de todos os conceitos e ideias.

O campo quântico, por outro lado, é um conceito claramente definido que explica apenas alguns fenómenos físicos.

Ainda assim, a intuição subjacente à interpretação do mundo subatómico pelo físico em termos do campo quântico encontra um paralelo estreito na do místico oriental, que interpreta a sua experiência do mundo em termos de uma realidade última subjacente.

Após o surgimento do conceito de campo, os físicos procuraram unificar os vários campos num único campo fundamental que incorporasse todos os fenómenos físicos.

Einstein, em particular, passou os últimos anos da sua vida à procura de um campo unificado deste género.

O Brahman dos hindus, tal como o Dharmakaya dos budistas e o Tao dos taoistas, pode talvez ser visto como o campo unificado último do qual emergem não apenas os fenómenos estudados pela física, mas também todos os outros fenómenos.

Na perspetiva oriental, a realidade subjacente a todos os fenómenos encontra-se para além de todas as formas e desafia qualquer descrição ou especificação.

Por isso, é frequentemente descrita como sem forma, vazia ou vácua.

Mas este vazio não deve ser entendido como mero nada.

Pelo contrário, é a essência de todas as formas e a fonte de toda a vida.

Assim dizem os Upanishads:

> **Brahman é vida. Brahman é alegria. Brahman é o Vazio... A alegria, verdadeiramente, é o mesmo que o Vazio. O Vazio, verdadeiramente, é o mesmo que a alegria.**[3]

Os budistas exprimem a mesma ideia quando chamam à realidade última *Sunyata — «Vacuidade»*, ou *«o Vazio»* — e afirmam que se trata de um Vazio vivo que dá origem a todas as formas do mundo fenomenal.

Os taoistas atribuem ao Tao uma criatividade infinita e inesgotável semelhante e, mais uma vez, chamam-lhe vazio.

> **«O Tao do Céu é vazio e sem forma»,**

afirma o *Kuan-tzu*[4], e Lao-Tsé utiliza várias metáforas para ilustrar este vazio.

Compara frequentemente o Tao a um vale oco ou a um recipiente eternamente vazio e que, por isso, possui o potencial de conter uma infinidade de coisas.

Apesar de utilizarem termos como vazio e vacuidade, os sábios orientais deixam claro que não se referem ao vazio comum quando falam de Brahman, Sunyata ou Tao, mas, pelo contrário, a um Vazio dotado de um potencial criativo infinito.

Assim, o Vazio dos místicos orientais pode ser facilmente comparado ao campo quântico da física subatómica.

Tal como o campo quântico, dá origem a uma variedade infinita de formas que sustenta e, por fim, reabsorve.

Como afirmam os Upanishads:

> Serenamente, adore-se Aquilo
> De onde se veio,
> Aquilo em que se dissolverá,
> Aquilo em que se respira.[5]

As manifestações fenomenais do Vazio místico, tal como as partículas subatómicas, não são estáticas nem permanentes, mas dinâmicas e transitórias, surgindo e desaparecendo numa dança incessante de movimento e energia.

Tal como o mundo subatómico do físico, o mundo fenomenal do místico oriental é um mundo de **samsara** — de nascimento e morte contínuos.

Sendo manifestações transitórias do Vazio, as coisas deste mundo não possuem qualquer identidade fundamental.

Isto é particularmente enfatizado na filosofia budista, que nega a existência de qualquer substância material e sustenta também que a ideia de um *«self»* constante submetido a experiências sucessivas constitui uma ilusão.

Os budistas compararam frequentemente esta ilusão de uma substância material e de um self individual ao fenómeno de uma onda na água, em que o movimento para cima e para baixo das partículas de água nos leva a acreditar que um *«pedaço»* de água se desloca sobre a superfície.*

É interessante notar que os físicos utilizaram a mesma analogia no contexto da teoria de campos para salientar a ilusão de uma substância material criada por uma partícula em movimento.

Assim escreve Hermann Weyl:

> **Segundo a [teoria de campo da matéria], uma partícula material como um eletrão é apenas uma pequena região do campo elétrico na qual a intensidade do campo assume valores enormemente elevados, indicando que uma quantidade comparativamente enorme de energia de campo está concentrada num espaço muito pequeno. Um nó de energia deste género, que de modo algum se encontra claramente delimitado relativamente ao restante campo, propaga-se através do espaço vazio como uma onda de água sobre a superfície de um lago; não existe tal coisa como uma mesma substância da qual o eletrão seja constituído em todos os momentos.**[6]

Na filosofia chinesa, a ideia de campo não está apenas implícita na noção de Tao enquanto vazio e sem forma e, contudo, produtor de todas as formas, mas é também expressa explicitamente no conceito de *ch'i*.

---

* Ver página 252.

Este termo desempenhou um papel importante em quase todas as escolas chinesas de filosofia natural e foi particularmente importante no Neoconfucionismo, a escola que procurou realizar uma síntese entre Confucionismo, Budismo e Taoismo.*

A palavra *ch'i* significa literalmente *«gás»* ou *«éter»* e era utilizada na China antiga para designar o sopro vital ou a energia que anima o cosmos.

No corpo humano, os *«canais do ch'i»* constituem a base da medicina tradicional chinesa.

O objetivo da acupuntura consiste em estimular o fluxo de ch'i através desses canais.

O fluxo de ch'i encontra-se também na base dos movimentos fluidos do *T'ai Chi Ch'uan*, a dança taoista do guerreiro.

Os neoconfucionistas desenvolveram uma noção de ch'i que apresenta uma extraordinária semelhança com o conceito de campo quântico da física moderna.

---

* Ver página 167.

Tal como o campo quântico, o ch'i é concebido como uma forma subtil e impercetível de matéria presente em todo o espaço e capaz de se condensar em objetos materiais sólidos.

Nas palavras de Chang Tsai:

> **Quando o ch'i se condensa, a sua visibilidade torna-se evidente e surgem então as formas [das coisas individuais]. Quando se dispersa, a sua visibilidade deixa de ser evidente e já não existem formas. No momento da sua condensação, poderá dizer-se outra coisa senão que isto é apenas temporário? Mas, no momento da sua dispersão, poder-se-á afirmar apressadamente que deixou de existir?**[7]

Assim, o ch'i condensa-se e dispersa-se ritmicamente, dando origem a todas as formas, que acabam por se dissolver no Vazio.

Como afirma novamente Chang Tsai:

> **O Grande Vazio não pode deixar de consistir em ch'i; este ch'i não pode deixar de se condensar para formar todas as coisas; e essas coisas não podem deixar de se dispersar para formar [novamente] o Grande Vazio.**[8]

Tal como na teoria quântica de campos, o campo — ou o ch'i — não constitui apenas a essência subjacente de todos os objetos materiais, mas transporta também as suas interações mútuas sob a forma de ondas.

As descrições seguintes do conceito de campo na física moderna, por Walter Thirring, e da perspetiva chinesa do mundo físico, por Joseph Needham, tornam evidente a forte semelhança:

> **A física teórica moderna... colocou o nosso pensamento acerca da essência da matéria num contexto diferente. Desviou o nosso olhar do visível — das partículas — para a entidade subjacente, o campo. A presença da matéria é apenas uma perturbação do estado perfeito do campo naquele lugar; algo acidental, poder-se-ia quase dizer, apenas uma *«imperfeição»*. Consequentemente, não existem leis simples que descrevam as forças entre partículas elementares... A ordem e a simetria têm de ser procuradas no campo subjacente.**[9]
>
> **O universo físico chinês da Antiguidade e da Idade Média constituía um todo perfeitamente contínuo. O ch'i condensado em matéria palpável não era particulado em qualquer sentido importante, mas os objetos individuais agiam e reagiam com todos os outros objetos do mundo... de uma forma ondulatória ou vibratória, dependente, em última análise, da alternância rítmica, em todos os níveis, das duas forças fundamentais, yin e yang. Os objetos individuais possuíam, assim, os seus ritmos intrínsecos. E estes integravam-se... no padrão geral da harmonia do mundo.**[10]

Com o conceito de campo quântico, a física moderna encontrou uma resposta inesperada à antiga questão de saber se a matéria é constituída por átomos indivisíveis ou por um contínuo subjacente.

O campo é um contínuo presente em todo o espaço e, contudo, no seu aspeto corpuscular possui uma estrutura descontínua, *«granular»*.

Os dois conceitos aparentemente contraditórios são, assim, unificados e vistos como diferentes aspetos da mesma realidade.

Como sempre acontece numa teoria relativística, a unificação dos dois conceitos opostos ocorre de forma dinâmica: os dois aspetos da matéria transformam-se incessantemente um no outro.

O misticismo oriental enfatiza uma unidade dinâmica semelhante entre o Vazio e as formas que este cria.

Nas palavras de Lama Govinda:

> **A relação entre forma e vacuidade não pode ser concebida como um estado de opostos mutuamente exclusivos, mas apenas como dois aspetos da mesma realidade, que coexistem e se encontram em cooperação contínua.**[11]

A fusão destes conceitos opostos num único todo foi expressa num sutra budista através das célebres palavras:

> **A forma é vacuidade, e a vacuidade é, de facto, forma. A vacuidade não é diferente da forma, a forma não é diferente da vacuidade. Aquilo que é forma é vacuidade, aquilo que é vacuidade é forma.**[12]

As teorias de campo da física moderna conduziram não apenas a uma nova visão das partículas subatómicas, mas modificaram também de forma decisiva as nossas noções acerca das forças existentes entre essas partículas.

O conceito de campo esteve originalmente ligado ao conceito de força e, mesmo na teoria quântica de campos, continua associado às forças entre partículas.

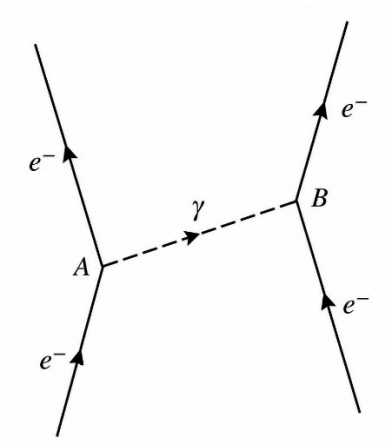
O campo eletromagnético, por exemplo, pode manifestar-se como um *«campo livre»* sob a forma de ondas/fotões em propagação, ou pode desempenhar o papel de campo de força entre partículas carregadas.

Neste último caso, a força manifesta-se como troca de fotões entre as partículas em interação.

A repulsão elétrica entre dois eletrões, por exemplo, é mediada por essas trocas de fotões.

Esta nova noção de força pode parecer difícil de compreender, mas torna-se muito mais clara quando o processo de troca de um fotão é representado num diagrama de espaço-tempo.

O diagrama abaixo mostra dois eletrões a aproximarem-se um do outro; um deles emite o fotão — representado por γ — no ponto A, e o outro absorve-o no ponto B.



repulsão mútua de dois eletrões
através da troca de um fotão

Quando o primeiro eletrão emite o fotão, inverte a direção e altera a velocidade — como se pode verificar pela diferente direção e inclinação da sua linha de universo —, e o mesmo acontece com o segundo eletrão quando absorve o fotão.

No final, os dois eletrões afastam-se um do outro, tendo-se repelido através da troca do fotão.

A interação completa entre os eletrões envolverá uma série de trocas de fotões e, como resultado, os eletrões parecerão desviar-se mutuamente ao longo de curvas suaves.

Nos termos da física clássica, dir-se-ia que os eletrões exercem uma força repulsiva um sobre o outro.

Contudo, isto é agora entendido como uma forma muito imprecisa de descrever a situação.

Nenhum dos dois eletrões *«sente»* uma força quando se aproximam.

Tudo o que fazem é interagir com os fotões trocados.

A força não é mais do que o efeito macroscópico coletivo destas múltiplas trocas de fotões.

O conceito de força deixa, portanto, de ser útil na física subatómica.

É um conceito clássico que associamos — ainda que apenas subconscientemente — à ideia newtoniana de uma força sentida à distância.

No mundo subatómico não existem forças desse género, mas apenas interações entre partículas, mediadas através de campos, isto é, através de outras partículas.

Por isso, os físicos preferem falar de *interações*, em vez de forças.

Segundo a teoria quântica de campos, todas as interações ocorrem através da troca de partículas.

No caso das interações eletromagnéticas, as partículas trocadas são fotões; os nucleões, por outro lado, interagem através da força nuclear, muito mais intensa — ou *«interação forte»* —, que se manifesta como troca de um novo tipo de partículas chamadas *«mesões»*.

Existem muitos tipos diferentes de mesões que podem ser trocados entre protões e neutrões.

Quanto mais próximos estiverem os nucleões uns dos outros, mais numerosos e mais pesados serão os mesões que trocam.

As interações entre nucleões estão, assim, ligadas às propriedades dos mesões trocados, e estes, por sua vez, interagem mutuamente através da troca de outras partículas.

Por esta razão, não conseguiremos compreender a força nuclear a um nível fundamental sem compreender todo o espetro de partículas subatómicas.

Na teoria quântica de campos, todas as interações entre partículas podem ser representadas em diagramas de espaço-tempo, estando cada diagrama associado a uma expressão matemática que permite calcular a probabilidade de ocorrência do processo correspondente.

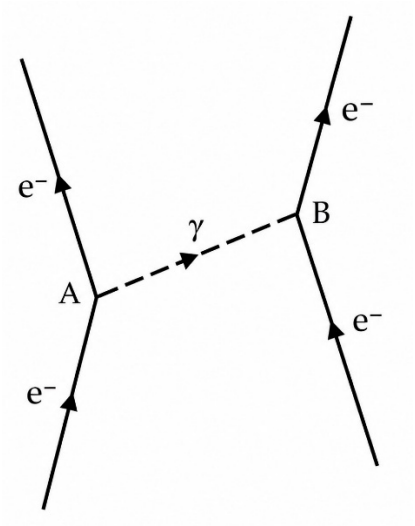
A correspondência exata entre os diagramas e as expressões matemáticas foi estabelecida em 1949 por Richard Feynman, e desde então esses diagramas são conhecidos como *diagramas de Feynman*.

Uma característica crucial da teoria é a criação e destruição de partículas.

Por exemplo, o fotão do nosso diagrama é criado no processo de emissão no ponto A e destruído quando é absorvido no ponto B.

Um processo desta natureza só pode ser concebido numa teoria relativística em que as partículas não sejam vistas como objetos indestrutíveis, mas antes como padrões dinâmicos que envolvem

determinada quantidade de energia, a qual pode ser redistribuída quando se formam novos padrões.



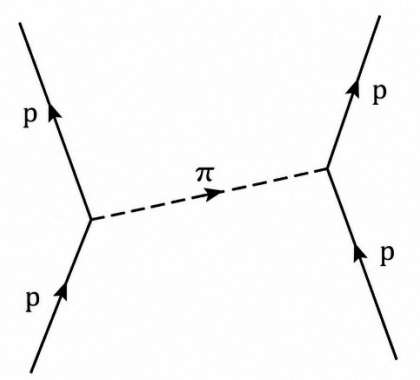
A criação de uma partícula dotada de massa só é possível quando é fornecida a energia correspondente à sua massa, por exemplo, num processo de colisão.

No caso das interações fortes, esta energia nem sempre está disponível, como acontece quando dois nucleões interagem entre si num núcleo atómico.

Nesses casos, a troca de mesões dotados de massa não deveria, portanto, ser possível.

Contudo, essas trocas ocorrem.

Dois protões, por exemplo, podem trocar um *«mesão pi»*, ou *«pião»*, cuja massa é cerca de um sétimo da massa do protão.



troca de um píon (π) entre dois protões (p)

A razão pela qual processos de troca deste género podem ocorrer, apesar da aparente falta de energia necessária à criação do mesão, encontra-se num *«efeito quântico»* relacionado com o princípio da incerteza.

Como anteriormente discutido*, acontecimentos subatómicos que ocorrem durante intervalos de tempo muito curtos envolvem uma grande incerteza de energia.

A troca de mesões — isto é, a sua criação e subsequente destruição — constitui um acontecimento deste género.

Ocorrem durante um período tão curto que a incerteza de energia é suficiente para permitir a criação dos mesões.

Estes mesões são chamados partículas *«virtuais»*.

* Ver página 267.

Diferem dos mesões *«reais»* criados em processos de colisão porque só podem existir durante o período permitido pelo princípio da incerteza.

Quanto mais pesados forem os mesões — isto é, quanto maior for a energia necessária para os criar —, menor será o tempo permitido para o processo de troca.

É por isso que os nucleões só conseguem trocar mesões pesados quando estão muito próximos uns dos outros.

A troca de fotões virtuais, por outro lado, pode ocorrer ao longo de distâncias indefinidas porque os fotões, não possuindo massa, podem ser criados com quantidades indefinidamente pequenas de energia.

Esta análise das forças nucleares e eletromagnéticas permitiu a Hideki Yukawa, em 1935, não apenas prever a existência do pião, doze anos antes de este ser observado, mas também estimar aproximadamente a sua massa a partir do alcance da força nuclear.

Na teoria quântica de campos, portanto, todas as interações são representadas como trocas de partículas virtuais.

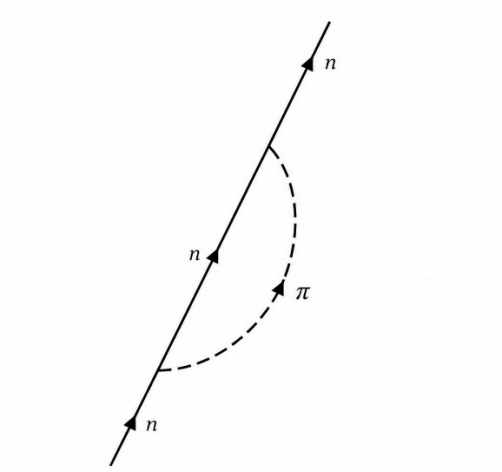
Quanto mais intensa for a interação — isto é, quanto mais forte for a *«força»* resultante entre as partículas —, maior será a probabilidade desses processos de troca; partículas virtuais serão trocadas com maior frequência.

O papel das partículas virtuais, contudo, não se limita a essas interações.

Um único nucleão, por exemplo, pode perfeitamente emitir uma partícula virtual e reabsorvê-la pouco depois.

Desde que o mesão criado desapareça dentro do intervalo permitido pelo princípio da incerteza, nada impede que esse processo ocorra.

O diagrama de Feynman correspondente a um neutrão que emite e reabsorve um pião encontra-se reproduzido a seguir.



um neutrão (n) emitindo e reabsorvendo um píon

A probabilidade destes processos de «*auto-interação*» é muito elevada nos nucleões devido à intensidade da interação forte.

Isto significa que, na realidade, os nucleões estão constantemente a emitir e absorver partículas virtuais.

Segundo a teoria de campos, devem ser vistos como centros de atividade contínua rodeados por nuvens de partículas virtuais.

Os mesões virtuais têm de desaparecer muito pouco tempo depois de serem criados, o que significa que não conseguem afastar-se muito do nucleão.

A nuvem de mesões é, portanto, muito pequena.

As suas regiões exteriores são povoadas por mesões leves — sobretudo piões —, enquanto os mesões mais pesados têm de ser absorvidos após um intervalo muito mais curto e ficam, por isso, confinados às regiões interiores da nuvem.

Cada nucleão encontra-se rodeado por uma nuvem deste género de mesões virtuais, que existem apenas durante períodos extraordinariamente curtos.

Contudo, em circunstâncias especiais, os mesões virtuais podem transformar-se em mesões reais.

Quando um nucleão é atingido por outra partícula que se desloca a grande velocidade, parte da energia de movimento dessa partícula pode ser transferida para um mesão virtual, libertando-o da nuvem.

É desta forma que são criados mesões reais nas colisões de altas energias.

Por outro lado, quando dois nucleões se aproximam tanto que as suas nuvens de mesões se sobrepõem, algumas das partículas virtuais podem não regressar para serem absorvidas pelo nucleão que originalmente as criou, mas podem *«saltar»* para serem absorvidas pelo outro nucleão.

É desta forma que surgem os processos de troca que constituem as interações fortes.

Esta imagem mostra claramente que as interações entre partículas e, portanto, as *«forças»* entre elas são determinadas pela composição das suas nuvens virtuais.

O alcance de uma interação — isto é, a distância entre as partículas à qual a interação começa a atuar — depende da extensão das nuvens virtuais, e a forma detalhada da interação dependerá das propriedades das partículas presentes nessas nuvens.

Assim, as forças eletromagnéticas resultam da presença de fotões virtuais *«no interior»* das partículas carregadas, enquanto as interações fortes entre nucleões surgem da presença de piões virtuais e outros mesões *«no interior»* dos nucleões.

Na teoria de campos, as forças entre partículas surgem como propriedades intrínsecas das próprias partículas.

Força e matéria, os dois conceitos tão nitidamente separados no atomismo grego e newtoniano, passam agora a ser vistos como tendo uma origem comum nos padrões dinâmicos a que chamamos partículas.

Uma visão das forças deste género é também característica do misticismo oriental, que considera o movimento e a mudança propriedades essenciais e intrínsecas de todas as coisas.

> **«Todas as coisas que rodam»,**

afirma Chang Tsai referindo-se aos céus,

> **«possuem uma força espontânea e, portanto, o seu movimento não lhes é imposto do exterior»**[13];

e no *I Ching* lemos:

> **As leis [naturais] não são forças exteriores às coisas, mas representam a harmonia do movimento que lhes é imanente.**[14]

Esta antiga descrição chinesa das forças enquanto expressão da harmonia do movimento no interior das coisas parece particularmente adequada à luz da teoria quântica de campos, na qual as forças entre partículas são vistas como reflexos de padrões dinâmicos — as nuvens virtuais — inerentes às próprias partículas.

As teorias de campo da física moderna obrigam-nos a abandonar a distinção clássica entre partículas materiais e vazio.

Tanto a teoria de campo gravitacional de Einstein como a teoria quântica de campos mostram que as partículas não podem ser separadas do espaço que as rodeia.

Por um lado, determinam a estrutura desse espaço; por outro, não podem ser consideradas entidades isoladas, mas têm de ser vistas como condensações de um campo contínuo presente em todo o espaço.

Na teoria quântica de campos, este campo é visto como a base de todas as partículas e das suas interações mútuas.

> **O campo existe sempre e em toda a parte; nunca pode ser removido. É o suporte de todos os fenómenos materiais. É o *«vazio»* do qual o protão cria os mesões pi. O surgimento e desaparecimento das partículas são apenas formas de movimento do campo.**[15]

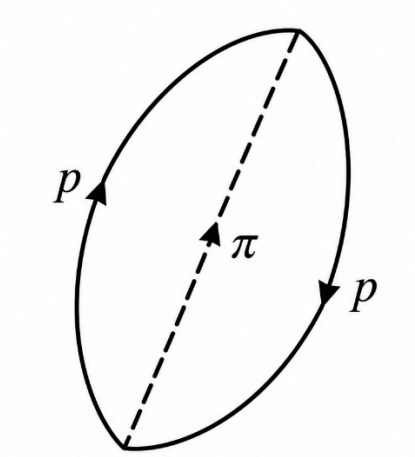
A distinção entre matéria e espaço vazio teve finalmente de ser abandonada quando se tornou evidente que partículas virtuais podem surgir espontaneamente do vazio e voltar a desaparecer no Vazio, sem que esteja presente qualquer nucleão ou outra partícula sujeita à interação forte.

Eis um *«diagrama de vácuo»* para um processo deste género: três partículas — um protão *(p)*, um antiprotão e um pião *(π)* — formam-se a partir do nada e voltam a desaparecer no vácuo.

Segundo a teoria de campos, acontecimentos deste género ocorrem constantemente.

O vácuo está longe de estar vazio.

Pelo contrário, contém um número ilimitado de partículas que surgem e desaparecem sem fim.



um diagrama de vácuo

Encontramos aqui, portanto, o paralelo mais próximo, na física moderna, com o Vazio do misticismo oriental.

Tal como o Vazio oriental, o *«vácuo físico»* — como é chamado na teoria de campos — não constitui um estado de mero nada, mas contém a potencialidade de todas as formas do mundo das partículas.

Essas formas, por sua vez, não são entidades físicas independentes, mas apenas manifestações transitórias do Vazio subjacente.

Como afirma o sutra:

> **«A forma é vacuidade, e a vacuidade é, de facto, forma.»**

A relação entre as partículas virtuais e o vácuo é uma relação essencialmente dinâmica; o vácuo é verdadeiramente um *«Vazio vivo»*, pulsando em ritmos intermináveis de criação e destruição.

A descoberta da qualidade dinâmica do vácuo é considerada por muitos físicos uma das descobertas mais importantes da física moderna.

Do seu papel enquanto recipiente vazio dos fenómenos físicos, o vazio emergiu como uma grandeza dinâmica de importância extrema.

Os resultados da física moderna parecem, assim, confirmar as palavras do sábio chinês Chang Tsai:

> **Quando se sabe que o Grande Vazio está cheio de ch'i, compreende-se que não existe tal coisa como o nada.**[16]

CAPÍTULO 15

A Dança Cósmica

a 

A exploração do mundo subatómico no século XX revelou uma natureza intrinsecamente dinâmica da matéria. Mostrou que os constituintes dos átomos, as partículas subatómicas, são padrões dinâmicos que não existem como entidades isoladas, mas como partes integrantes de uma rede inseparável de interações.

Estas interações envolvem um fluxo incessante de energia que se manifesta na troca de partículas: uma ação recíproca dinâmica em que as partículas são criadas e destruídas sem cessar, numa variação contínua dos padrões de energia. As interações entre partículas dão origem às estruturas estáveis que constituem o mundo material; estas, por sua vez, não permanecem estáticas, mas oscilam em movimentos rítmicos. Todo o universo está, assim, envolvido num movimento e numa atividade intermináveis, numa dança cósmica contínua de energia.

Esta dança abrange uma enorme variedade de padrões, mas, surpreendentemente, estes distribuem-se por algumas categorias distintas. O estudo das partículas subatómicas e das suas interações revela, portanto, um elevado grau de ordem. Todos os átomos e, consequentemente, todas as formas de matéria que nos rodeiam são constituídos por apenas três partículas com massa: o protão, o neutrão e o eletrão. Uma quarta partícula, o fotão, não tem massa e representa a unidade da radiação eletromagnética.

O protão, o eletrão e o fotão são partículas estáveis, o que significa que vivem para sempre, a menos que participem num processo de colisão em que possam ser aniquilados. O neutrão, pelo contrário, pode desintegrar-se espontaneamente. Esta desintegração chama-se «decaimento beta» e é o processo fundamental de um determinado tipo de radioatividade. Envolve a transformação do neutrão num protão, acompanhada pela criação de um eletrão e de um novo tipo de partícula sem massa, chamada neutrino. Tal como o protão e o eletrão, o neutrino também é estável. É habitualmente representado pela letra grega $\boldsymbol{\nu}$ («nu»), escrevendo-se simbolicamente o processo de decaimento beta da seguinte forma:

$$n \rightarrow p + e^{-} + \nu$$

A transformação de neutrões em protões nos átomos de uma substância radioativa implica a transformação desses átomos em átomos de uma espécie inteiramente diferente. Os eletrões criados neste processo são emitidos sob a forma de uma radiação intensa,

amplamente utilizada na biologia, na medicina e na indústria. Os neutrinos, por outro lado, embora emitidos em igual número, são muito difíceis de detetar, pois não possuem massa nem carga elétrica.

Como já foi referido, a cada partícula corresponde uma antipartícula, com a mesma massa, mas carga oposta. O fotão é a sua própria antipartícula; a antipartícula do eletrão chama-se positrão; existem ainda um antiprotão, um antineutrão e um antineutrino. A partícula sem massa criada no decaimento beta não é, na realidade, o neutrino, mas o antineutrino, representado por $\bar{\nu}$. Assim, o processo escreve-se corretamente:

$$n \rightarrow p + e^{-} + \bar{\nu}$$

As partículas mencionadas até agora representam apenas uma fração das partículas subatómicas atualmente conhecidas. Todas as restantes são instáveis e, ao fim de um período muito curto, decaem noutras partículas, algumas das quais podem voltar a decair até restar uma combinação de partículas estáveis. O estudo das partículas instáveis é muito dispendioso, pois, para cada investigação, é necessário criá-las de novo em processos de colisão, o que exige enormes aceleradores de partículas, câmaras de bolhas e outros dispositivos de deteção extremamente sofisticados.

A maioria das partículas instáveis vive apenas durante um período extremamente curto à escala humana: menos de um milionésimo de segundo. Contudo, o seu tempo de vida tem de ser

considerado em relação às suas dimensões, que também são diminutas. Vista desta perspetiva, a situação mostra que muitas delas vivem durante um período relativamente longo e que um milionésimo de segundo é, na verdade, um intervalo enorme no mundo das partículas.

Um ser humano consegue percorrer, num segundo, uma distância algumas vezes superior à sua própria dimensão. Para uma partícula, o intervalo equivalente seria, portanto, o tempo de que necessita para percorrer uma distância algumas vezes superior ao seu próprio tamanho: uma unidade de tempo a que poderíamos chamar «segundo de partícula».*

Para atravessar um núcleo atómico de dimensão média, uma partícula necessita de cerca de dez desses «segundos de partícula», se viajar a uma velocidade próxima da, da luz, como acontece nas experiências de colisão. Entre o grande número de partículas instáveis, existem cerca de duas dezenas que conseguem atravessar pelo menos vários átomos antes de decair. Trata-se de uma distância cerca de cem mil vezes superior às suas dimensões, correspondente a algumas centenas de «horas de partícula». Estas partículas figuram na tabela, juntamente com as partículas estáveis já mencionadas.

* Os físicos representam esta unidade de tempo por 10^{-23} segundos, notação abreviada de um número decimal com 23 zeros antes do algarismo 1, incluindo o zero anterior à vírgula: 0,00000000000000000000001 segundos.

NOME			SÍMBOLO	
			PARTÍCULA	ANTIPARTÍCULA
fotão			γ	
leptões		neutrino	$\nu_e,\ \nu_\mu$	$\bar{\nu}_e,\ \bar{\nu}_\mu$
		eletrão	e^-	e^+
		muão	μ^-	μ^+
hadrões	mesões	pião	$\pi^+,\ \pi^0$	π^-
		caão	$K^+,\ K^0$	$\bar{K}^0,\ K^-$
		eta	η	
	bariões	protão	p	$\bar{p}$
		neutrão	n	$\bar{n}$
		lambda	Λ	$\bar{\Lambda}$
		sigma	$\Sigma^+,\ \Sigma^0,\ \Sigma^-$	$\bar{\Sigma}^+,\ \bar{\Sigma}^0,\ \bar{\Sigma}^-$
		cascata	$\Xi^0,\ \Xi^-$	$\bar{\Xi}^0,\ \bar{\Xi}^+$
		ómega	Ω^-	$\bar{\Omega}^+$

Tabela de partículas e antipartículas.

Partículas estáveis e de vida relativamente longa. A tabela apresenta treze tipos de partículas, muitos dos quais surgem em diferentes «estados de carga». Os piões, por exemplo, podem ter carga positiva (π^+), carga negativa (π^-) ou ser eletricamente neutros (π^0). Existem dois tipos de neutrinos: um interage apenas com eletrões (ν_e), o outro apenas com muões (ν_μ). Também se apresentam as antipartículas; três das partículas (γ, π^0 e η) são as suas próprias antipartículas. A ordem é a de massa crescente: o fotão e os neutrinos não têm massa; o eletrão é a partícula com massa mais leve; os muões, piões e caões são algumas centenas de vezes mais pesados do que o eletrão; as restantes partículas são entre mil e três mil vezes mais pesadas.

A maioria das partículas instáveis da tabela percorre, de facto, um centímetro inteiro, ou mesmo vários centímetros, antes de decair. As que vivem mais tempo, um milionésimo de segundo, podem percorrer várias centenas de metros antes de se desintegrarem: uma distância enorme em comparação com as suas dimensões.

Todas as outras partículas até agora conhecidas pertencem a uma categoria chamada «ressonâncias», que será analisada com maior pormenor no capítulo seguinte. Vivem durante um período consideravelmente mais curto, decaindo ao fim de alguns «segundos de partícula», pelo que nunca conseguem percorrer mais do que algumas vezes o seu próprio tamanho. Isto significa que não podem ser vistas na câmara de bolhas; a sua existência só pode ser inferida indiretamente. Os rastos visíveis nas fotografias de câmaras de bolhas só podem ser produzidos pelas partículas enumeradas na tabela.

Todas estas partículas podem ser criadas e aniquiladas em processos de colisão; cada uma delas pode também ser trocada como partícula virtual e, desse modo, contribuir para a interação entre outras partículas. Isto pareceria dar origem a um número imenso de interações diferentes. Felizmente, porém, embora ainda não saibamos porquê, todas essas interações parecem distribuir-se por quatro categorias, com intensidades marcadamente distintas:

As interações fortes
As interações eletromagnéticas
As interações fracas
As interações gravitacionais

Destas, as interações eletromagnéticas e gravitacionais são as mais familiares, pois fazem parte da nossa experiência do mundo macroscópico. A interação gravitacional atua entre todas as partículas, mas é tão fraca que não pode ser detetada experimentalmente. No domínio macroscópico, contudo, o enorme

número de partículas que constituem os corpos de grande massa combina as suas interações gravitacionais, produzindo a força da gravidade, que é a força dominante no universo em grandes escalas.

As interações eletromagnéticas ocorrem entre todas as partículas com carga. São responsáveis pelos processos químicos e pela formação de todas as estruturas atómicas e moleculares. As interações fortes mantêm os protões e os neutrões unidos no núcleo atómico. Constituem a força nuclear, de longe a mais intensa de todas as forças da natureza. Os eletrões, por exemplo, estão ligados aos núcleos atómicos pela força eletromagnética com energias de cerca de dez unidades, chamadas eletrões-volt; a força nuclear, por sua vez, mantém protões e neutrões unidos com energias de cerca de dez milhões dessas unidades!

Os nucleões não são as únicas partículas que participam nas interações fortes. Na realidade, a esmagadora maioria das partículas interage fortemente. De todas as partículas atualmente conhecidas, apenas cinco, juntamente com as suas antipartículas, não participam nas interações fortes: o fotão e os quatro «leptões» apresentados na parte superior da tabela.*

As partículas distribuem-se, assim, por dois grandes grupos: os leptões e os «hadrões», ou partículas que interagem fortemente.

* Foi recentemente descoberto um quinto leptão, representado pela letra grega τ («tau»). Tal como o eletrão e o muão, apresenta-se em dois estados de carga, τ^- e τ^+. Como a sua massa é quase 3500 vezes superior à do eletrão, é conhecido como «leptão pesado». Foi postulada a existência de um neutrino correspondente, que interagiria apenas com o tau, mas essa existência ainda não foi confirmada.

Os hadrões subdividem-se em «mesões» e «bariões», que diferem em vários aspetos, entre eles o facto de todos os bariões terem antipartículas distintas, enquanto um mesão pode ser a sua própria antipartícula.

Os leptões participam nas interações fracas. Estas são tão débeis e têm um alcance tão curto que não conseguem manter coisa alguma unida, ao contrário das outras três, que dão origem a forças de ligação: as interações fortes mantêm unidos os núcleos atómicos; as eletromagnéticas, os átomos e as moléculas; e as gravitacionais, os planetas, as estrelas e as galáxias. As interações fracas manifestam-se apenas em certos tipos de colisões e de decaimentos de partículas, como o decaimento beta anteriormente mencionado.

Todas as interações entre hadrões são mediadas pela troca de outros hadrões. É esta troca de partículas com massa que dá às interações fortes um alcance tão curto.** Estas estendem-se apenas por distâncias equivalentes a algumas dimensões de partícula e, por isso, nunca podem dar origem a uma força macroscópica. Não temos, portanto, experiência direta das interações fortes na vida quotidiana.

As interações eletromagnéticas, pelo contrário, são mediadas pela troca de fotões sem massa, pelo que o seu alcance é

** Ver a discussão do alcance das interações no Capítulo 14, p. 379.

indefinidamente longo.* É por isso que encontramos forças elétricas e magnéticas no mundo macroscópico. Também se pensa que as interações gravitacionais sejam mediadas por uma partícula sem massa, chamada «gravitão». Porém, são tão fracas que ainda não foi possível observar o gravitão, embora não exista nenhuma razão séria para duvidar da sua existência.

As interações fracas, por fim, têm um alcance extremamente curto, muito inferior ao das interações fortes. Supõe-se, por isso, que sejam produzidas pela troca de partículas muito pesadas. Acredita-se que estas partículas hipotéticas, que deverão existir em três tipos, chamados W^+, W^- e Z, desempenhem um papel análogo ao do fotão nas interações eletromagnéticas, excetuando as suas grandes massas. Esta analogia está, de facto, na base do desenvolvimento recente de um novo tipo de teorias quânticas de campos, conhecidas como teorias de gauge, que permitiram construir uma teoria de campo unificada das interações eletromagnéticas e fracas.**

Em muitos processos de colisão da física de altas energias, as interações fortes, eletromagnéticas e fracas combinam-se para produzir uma sequência complexa de acontecimentos. As partículas que colidem inicialmente são muitas vezes destruídas, dando origem a várias partículas novas, que sofrem outras colisões ou

* Ver Capítulo 14, p. 379.

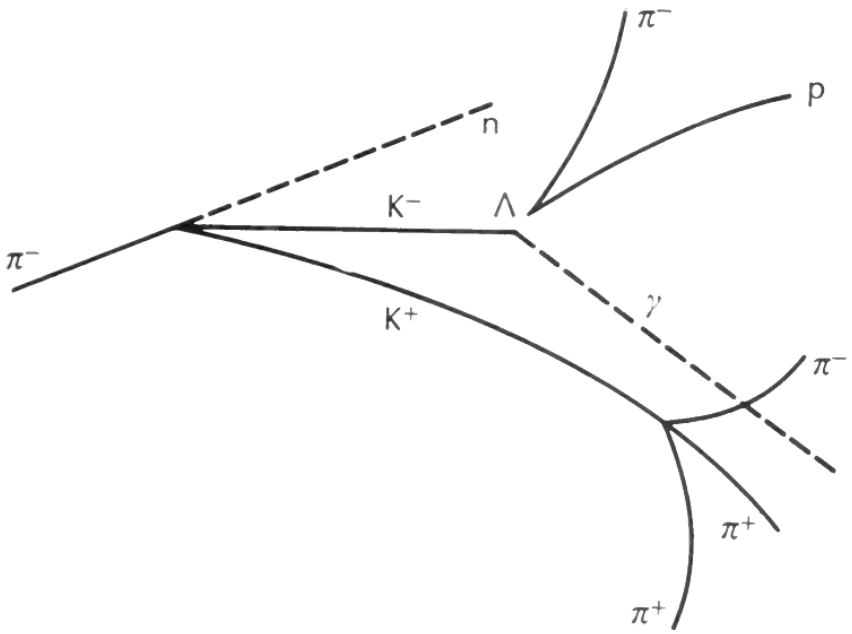
** Ver o posfácio «A Nova Física Revisitada», na discussão das teorias de gauge, p. 511 e seguintes.

decaem, por vezes em várias etapas, até restarem partículas estáveis.

A fotografia seguinte, obtida numa câmara de bolhas, mostra uma dessas sequências de criação e destruição.* É uma ilustração impressionante da mutabilidade da matéria ao nível das partículas, revelando uma cascata de energia em que diversos padrões, ou partículas, se formam e se dissolvem.

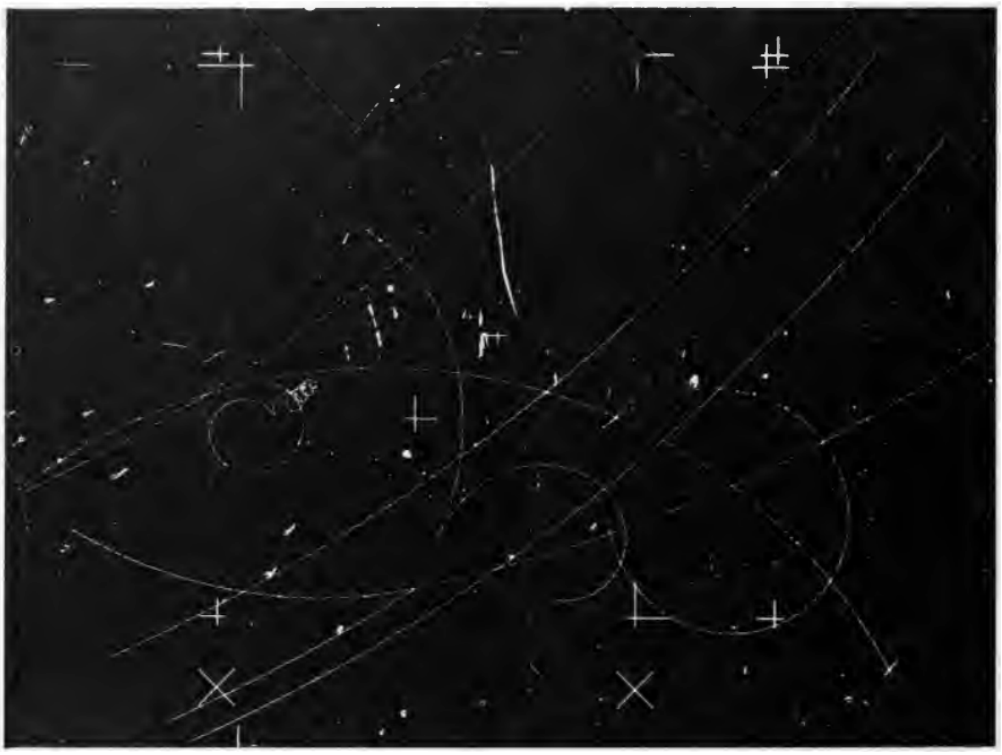


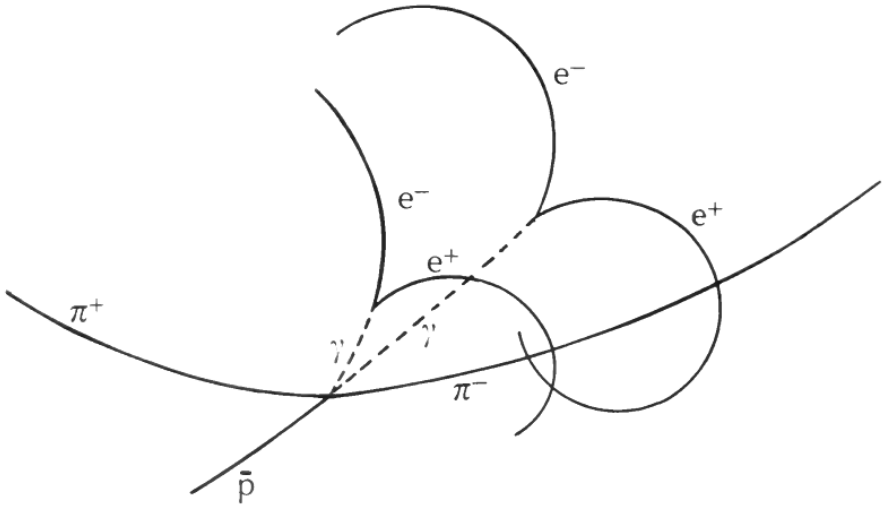
* Note-se que apenas as partículas com carga deixam rastos na câmara de bolhas. Os campos magnéticos curvam-nos no sentido dos ponteiros do relógio para as partículas de carga positiva e no sentido contrário para as de carga negativa.



Uma sequência complexa de colisões e decaimentos de partículas. Um pião negativo (π^-), vindo da esquerda, colide com um protão — isto é, com o núcleo de um átomo de hidrogénio — em repouso na câmara de bolhas. Ambas as partículas são aniquiladas e criam-se um neutrão (n) e dois caões (K^- e K^+). O neutrão afasta-se sem deixar rasto. O K^- colide com outro protão da câmara; as duas partículas aniquilam-se, criando uma partícula lambda (Λ) e um fotão (γ). Nenhuma destas duas partículas neutras é visível, mas a Λ decai, ao fim de um intervalo muito curto, num protão (p) e num π^-, ambos produtores de rastos. A pequena distância entre a criação da Λ e o seu decaimento distingue-se muito claramente na fotografia. Por fim, o K^+, criado na colisão inicial, percorre alguma distância antes de decair em três piões.

Nesta sucessão de acontecimentos, a criação de matéria é particularmente impressionante quando um fotão sem massa, mas altamente energético, invisível na câmara de bolhas, se transforma subitamente num par de partículas com carga — um eletrão e um positrão — que se afastam descrevendo curvas divergentes. Eis um belo exemplo de um processo que envolve duas dessas criações de pares.

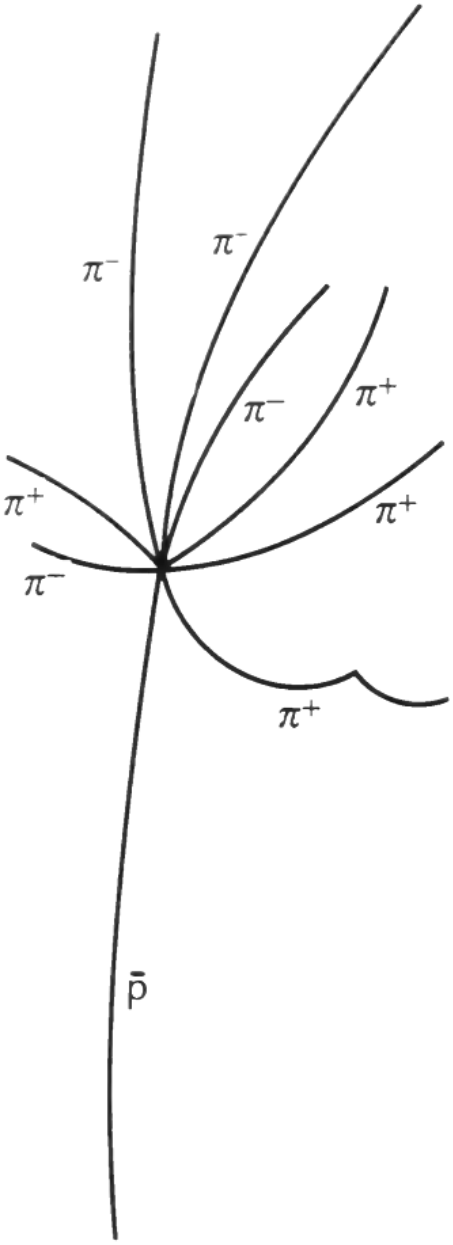




Sequência de acontecimentos que envolve duas criações de pares. Um antiprotão ($\bar{p}$), vindo de baixo, colide com um dos protões da câmara de bolhas, criando um π^+, que se afasta para a esquerda, um π^-, que se afasta para a direita, e dois fotões (γ). Cada fotão cria um par eletrão-positrão; os positrões (e^+) curvam-se para a direita e os eletrões (e^-) para a esquerda.

Quanto maior for a energia inicial destes processos de colisão, mais partículas poderão ser criadas. A fotografia seguinte mostra a criação de oito piões numa colisão entre um antiprotão e um protão; a imagem subsequente apresenta um caso extremo: a criação de dezasseis partículas numa única colisão entre um pião e um protão.





Criação de oito piões numa colisão entre um antiprotão (p̄) e um protão em repouso na câmara de bolhas. O diagrama corresponde à fotografia anterior.



Criação de dezasseis partículas numa colisão pião-protão.

Todas estas colisões foram produzidas artificialmente em laboratório, recorrendo a enormes máquinas que aceleram as partículas até às energias necessárias. Na maioria dos fenómenos naturais que ocorrem aqui na Terra, as energias não são suficientemente elevadas para criar partículas com massa. No espaço exterior, porém, a situação é inteiramente diferente.

Existem partículas subatómicas em grande número no centro das estrelas, onde processos de colisão semelhantes aos estudados nos laboratórios de aceleradores ocorrem naturalmente a todo o momento. Em algumas estrelas, estes processos produzem uma radiação eletromagnética extremamente intensa, sob a forma de ondas de rádio, ondas luminosas ou raios X, que constitui a principal fonte de informação dos astrónomos sobre o universo.

O espaço interestelar, tal como o espaço entre as galáxias, encontra-se, assim, preenchido por radiação eletromagnética de várias frequências, isto é, por fotões de diversas energias. Contudo,

estas não são as únicas partículas que atravessam o cosmos. A «radiação cósmica» contém não só fotões, mas também partículas com massa de todos os tipos, cuja origem continua a ser um mistério. A maioria são protões, alguns dos quais podem ter energias extremamente elevadas, muito superiores às obtidas nos aceleradores de partículas mais potentes.

Quando estes «raios cósmicos» altamente energéticos atingem a atmosfera terrestre, colidem com os núcleos das moléculas do ar e produzem uma grande variedade de partículas secundárias. Estas decaem ou sofrem novas colisões, criando mais partículas que, por sua vez, colidem e decaem, e assim sucessivamente, até as últimas atingirem a Terra.

Deste modo, um único protão que penetre na atmosfera terrestre pode dar origem a uma verdadeira cascata de acontecimentos, em que a sua energia cinética inicial se transforma numa chuva de partículas diversas. Essa energia vai sendo gradualmente absorvida à medida que as partículas atravessam o ar e sofrem múltiplas colisões.

O mesmo fenómeno que se observa nas experiências de colisão da física de altas energias ocorre, portanto, naturalmente, mas de forma mais intensa e contínua, na atmosfera terrestre: um fluxo incessante de energia que atravessa uma grande variedade de padrões de partículas, numa dança rítmica de criação e destruição. A imagem seguinte é um magnífico retrato dessa dança de energia, obtido por acaso quando uma chuva inesperada de raios cósmicos

atingiu uma câmara de bolhas durante uma experiência no centro europeu de investigação CERN.

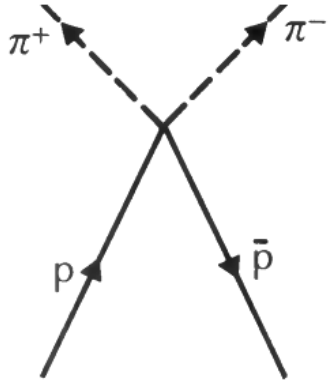


Chuva de cerca de cem partículas produzida por um raio cósmico que entrou acidentalmente numa câmara de bolhas. Os rastos aproximadamente horizontais pertencem às partículas provenientes do acelerador.

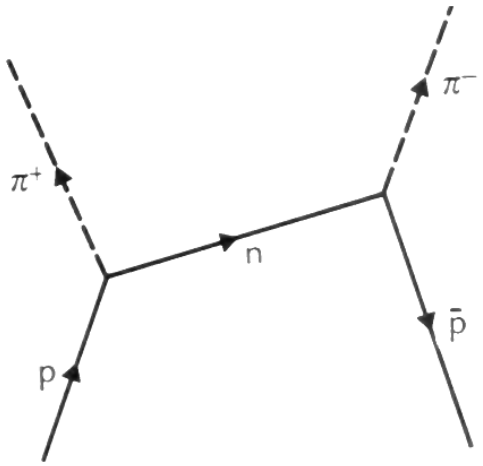
Os processos de criação e destruição que ocorrem no mundo das partículas não se limitam aos que podemos ver nas fotografias de câmaras de bolhas. Incluem também a criação e a destruição de partículas virtuais, trocadas nas interações entre partículas, cujo tempo de vida é demasiado curto para permitir a sua observação.

Consideremos, por exemplo, a criação de dois piões numa colisão entre um protão e um antiprotão. Um diagrama de espaço-tempo

desse acontecimento teria o aspeto seguinte — recordemos que, nestes diagramas, o tempo decorre de baixo para cima:

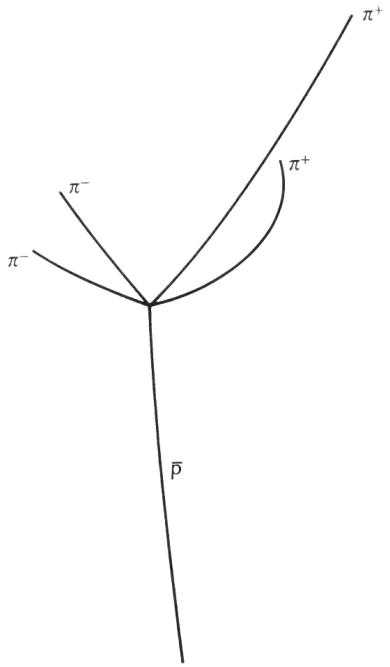


O diagrama mostra as linhas de universo do protão ($\boldsymbol{p}$) e do antiprotão ($\overline{\boldsymbol{p}}$), que colidem num ponto do espaço e do tempo, aniquilando-se e criando os dois piões, π^+ e π^-. Contudo, esta representação não fornece a imagem completa. A interação entre o protão e o antiprotão pode ser descrita como a troca de um neutrão virtual, tal como mostra o diagrama seguinte.

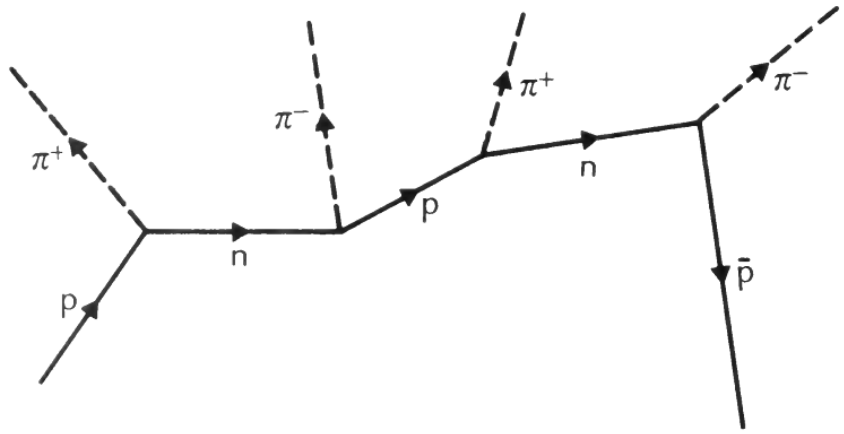


Do mesmo modo, o processo apresentado na fotografia seguinte, em que quatro piões são criados numa colisão protão-antiprotão, pode ser descrito como um processo de troca mais complexo, que envolve a criação e a destruição de três partículas virtuais: dois neutrões e um protão.





O diagrama de Feynman correspondente tem o seguinte aspeto*:

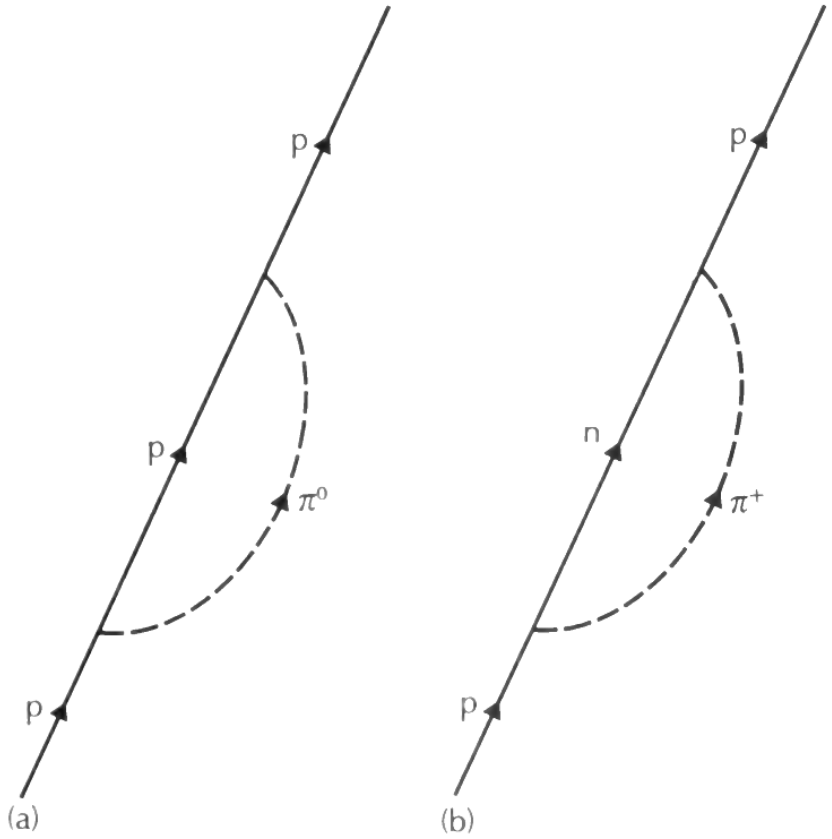


Estes exemplos ilustram como as linhas das fotografias de câmaras de bolhas fornecem apenas uma imagem aproximada das interações entre partículas. Os processos efetivos envolvem redes de trocas de partículas muito mais complexas. A situação torna-se, na verdade, infinitamente mais complexa quando recordamos que cada partícula envolvida nas interações emite e reabsorve incessantemente partículas virtuais.

Um protão, por exemplo, emite e reabsorve de tempos a tempos um pião neutro; noutras ocasiões, pode emitir um π^+ e transformar-se num neutrão, que absorverá o π^+ pouco depois, voltando a transformar-se no protão. Nestes casos, as linhas do protão nos

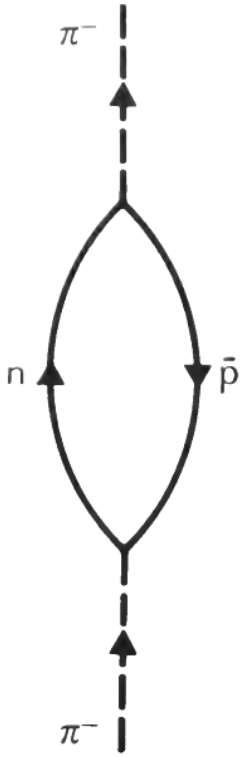
* Estes diagramas são meramente esquemáticos e não reproduzem os ângulos corretos das linhas das partículas. Note-se também que o protão inicial, em repouso na câmara de bolhas, não aparece na fotografia, mas tem uma linha de universo no diagrama de espaço-tempo, porque se move no tempo.

diagramas de Feynman terão de ser substituídas pelas seguintes representações:



Diagramas de Feynman que mostram um protão a emitir e a reabsorver piões virtuais.

Nestes processos virtuais, a partícula inicial pode desaparecer completamente durante um breve intervalo, como sucede no diagrama (b). Um pião negativo, para dar outro exemplo, pode criar um neutrão (n) e um antiprotão ($\bar{p}$), que depois se aniquilam mutuamente, restabelecendo o pião original:



Criação de um par virtual neutrão-antiprotão.

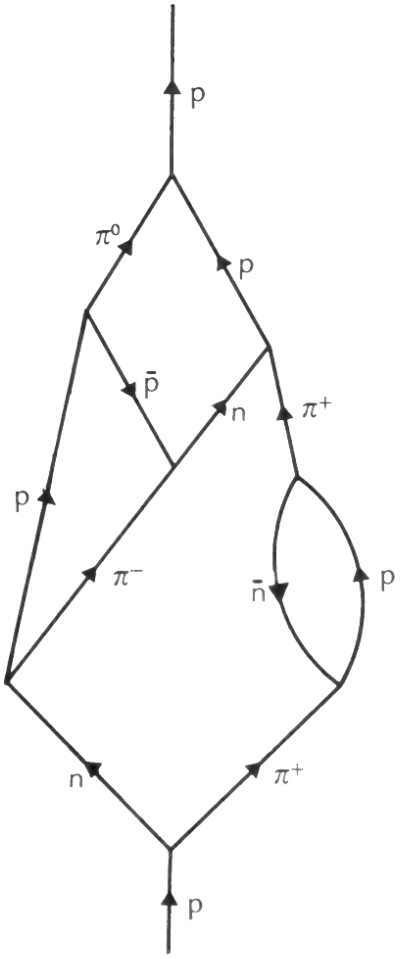
É importante compreender que todos estes processos obedecem às leis da teoria quântica, pelo que constituem tendências, ou probabilidades, e não acontecimentos efetivamente realizados. Cada protão existe potencialmente, isto é, com uma determinada probabilidade, como um protão acompanhado de um π^0, como um neutrão acompanhado de um π^+ e de muitas outras maneiras.

Os exemplos apresentados são apenas os processos virtuais mais simples. Surgem padrões muito mais complexos quando as partículas virtuais criam outras partículas virtuais, gerando assim uma rede inteira de interações virtuais.* No seu livro The World of

* Importa notar que estas possibilidades não são inteiramente arbitrárias: encontram-se limitadas por várias leis gerais, que serão discutidas no capítulo seguinte.

Elementary Particles, Kenneth Ford construiu um exemplo complexo de uma dessas redes, que envolve a criação e a destruição de onze partículas virtuais. A seu respeito, comenta:

> **«[O diagrama] representa uma dessas sequências de acontecimentos, de aspeto verdadeiramente assustador, mas perfeitamente real. Todos os protões passam ocasionalmente por esta mesma dança de criação e destruição.»**[1]



Rede de interações virtuais; de Ford, obra citada.

Ford não é o único físico a utilizar expressões como «dança de criação e destruição» e «dança de energia». As ideias de ritmo e de dança surgem naturalmente quando tentamos imaginar o fluxo de

energia que atravessa os padrões constitutivos do mundo das partículas. A física moderna mostrou-nos que o movimento e o ritmo são propriedades essenciais da matéria: toda a matéria, quer aqui na Terra quer no espaço exterior, participa numa dança cósmica contínua.

Os místicos orientais têm uma visão dinâmica do universo semelhante à da física moderna. Não surpreende, portanto, que também eles tenham recorrido à imagem da dança para comunicar a sua intuição da natureza. Um belo exemplo desta imagem de ritmo e de dança é dado por Alexandra David-Neel no seu livro Tibetan Journey. A autora relata aí o encontro com um lama que se apresentava como «mestre do som» e lhe expôs a sua conceção da matéria nos seguintes termos:

> **Todas as coisas […] são agregados de átomos que dançam e, pelos seus movimentos, produzem sons. Quando o ritmo da dança muda, também muda o som que ela produz […]. Cada átomo canta perpetuamente a sua canção e o som, a cada instante, cria formas densas e subtis.**[2]

A semelhança desta perspetiva com a da física moderna torna-se particularmente impressionante quando recordamos que o som é uma onda com uma determinada frequência, que se altera quando o som muda, e que as partículas, equivalentes modernos do antigo conceito de átomos, são também ondas, com frequências proporcionais às suas energias. Segundo a teoria de campos, cada partícula «canta perpetuamente a sua canção», produzindo padrões rítmicos de energia — as partículas virtuais — sob «formas densas e subtis».

A metáfora da dança cósmica encontrou a sua expressão mais profunda e bela no hinduísmo, na imagem do deus Shiva a dançar. Entre as suas muitas encarnações, Shiva, um dos deuses indianos mais antigos e populares*, surge como o Rei dos Dançarinos. Segundo a crença hindu, toda a vida faz parte de um grande processo rítmico de criação e destruição, de morte e renascimento; a dança de Shiva simboliza esse ritmo eterno de vida e morte, que prossegue em ciclos intermináveis. Nas palavras de Ananda Coomaraswamy:

> **Na noite de Brahman, a Natureza permanece inerte e não pode dançar até que Shiva o deseje: Ele emerge do Seu arrebatamento e, dançando, envia através da matéria inerte ondas pulsantes de som que a despertam; e eis que também a matéria dança, surgindo como uma glória em Seu redor. Dançando, Ele sustenta a multiplicidade dos seus fenómenos. Quando chega o tempo, ainda a dançar, destrói pelo fogo todas as formas e todos os nomes e concede um novo repouso. Isto é poesia, mas nem por isso deixa de ser ciência.**[3]

A Dança de Shiva simboliza não só os ciclos cósmicos de criação e destruição, mas também o ritmo quotidiano do nascimento e da morte, considerado no misticismo indiano a base de toda a existência. Ao mesmo tempo, Shiva recorda-nos que as múltiplas formas do mundo são maya: não são fundamentais, mas ilusórias e incessantemente mutáveis, pois ele continua a criá-las e a dissolvê-las no fluxo ininterrupto da sua dança. Como escreveu Heinrich Zimmer:

---

* Ver a apresentação de Shiva no Capítulo 5, p. 145.

> Os Seus gestos, impetuosos e cheios de graça, precipitam a ilusão cósmica; os Seus braços e pernas em movimento e o balançar do Seu tronco produzem — na verdade, são — a criação e destruição contínuas do universo, a morte equilibrando exatamente o nascimento, a aniquilação sendo o termo de tudo o que vem à existência.[4]



Shiva Nataraja. Bronze bramânico do sul da Índia, século XII.

Artistas indianos dos séculos X e XII representaram a dança cósmica de Shiva em magníficas esculturas de bronze: figuras dançantes de quatro braços, cujos gestos, soberbamente equilibrados e, no entanto, dinâmicos, exprimem o ritmo e a

unidade da Vida. Os vários significados da dança são transmitidos pelos pormenores dessas figuras, numa complexa alegoria visual.

A mão direita superior do deus segura um tambor, símbolo do som primordial da criação; a mão esquerda superior sustém uma língua de fogo, o elemento da destruição. O equilíbrio das duas mãos representa o equilíbrio dinâmico entre criação e destruição no mundo. Esse equilíbrio é ainda acentuado pelo rosto sereno e impassível do Dançarino, ao centro, entre as duas mãos, no qual a polaridade da criação e da destruição se dissolve e é transcendida.

A segunda mão direita ergue-se no gesto de «não temas», simbolizando a preservação, a proteção e a paz, enquanto a outra mão esquerda aponta para baixo, em direção ao pé levantado, que simboliza a libertação do encantamento de maya. O deus é representado a dançar sobre o corpo de um demónio, símbolo da ignorância humana, que tem de ser vencida antes de se alcançar a libertação.

A dança de Shiva é, nas palavras de Coomaraswamy,

> **«a imagem mais clara da atividade de Deus de que qualquer arte ou religião se pode orgulhar».**[5]

Como o deus é uma personificação de Brahman, a sua atividade é a das inúmeras manifestações de Brahman no mundo. A dança de Shiva é o universo a dançar: o fluxo incessante de energia através de uma variedade infinita de padrões que se fundem uns nos outros.

A física moderna mostrou que o ritmo da criação e da destruição não se manifesta apenas na sucessão das estações e no nascimento e na morte de todos os seres vivos, mas constitui também a própria essência da matéria inorgânica. Segundo a teoria quântica de campos, todas as interações entre os constituintes da matéria se efetuam através da emissão e da absorção de partículas virtuais.

Mais ainda: a dança de criação e destruição é a base da própria existência da matéria, uma vez que todas as partículas materiais «interagem consigo mesmas», emitindo e reabsorvendo partículas virtuais. A física moderna revelou, assim, que cada partícula subatómica não só executa uma dança de energia, como é, ela própria, uma dança de energia: um processo pulsante de criação e destruição.

Os padrões desta dança são um aspeto essencial da natureza de cada partícula e determinam muitas das suas propriedades. Por exemplo, a energia envolvida na emissão e na absorção de partículas virtuais equivale a uma determinada quantidade de massa, que contribui para a massa da partícula que interage consigo mesma. Partículas diferentes desenvolvem padrões diferentes na sua dança, requerendo quantidades distintas de energia e possuindo, por isso, massas diferentes.

Por fim, as partículas virtuais não são apenas uma parte essencial de todas as interações entre partículas e da maioria das suas propriedades: são também criadas e destruídas pelo vácuo. Assim, não só a matéria, mas também o vazio, participa na dança cósmica, criando e destruindo padrões de energia sem cessar.

Para os físicos modernos, portanto, a dança de Shiva é a dança da matéria subatómica. Tal como na mitologia hindu, é uma dança contínua de criação e destruição que envolve todo o cosmos: a base de toda a existência e de todos os fenómenos naturais.

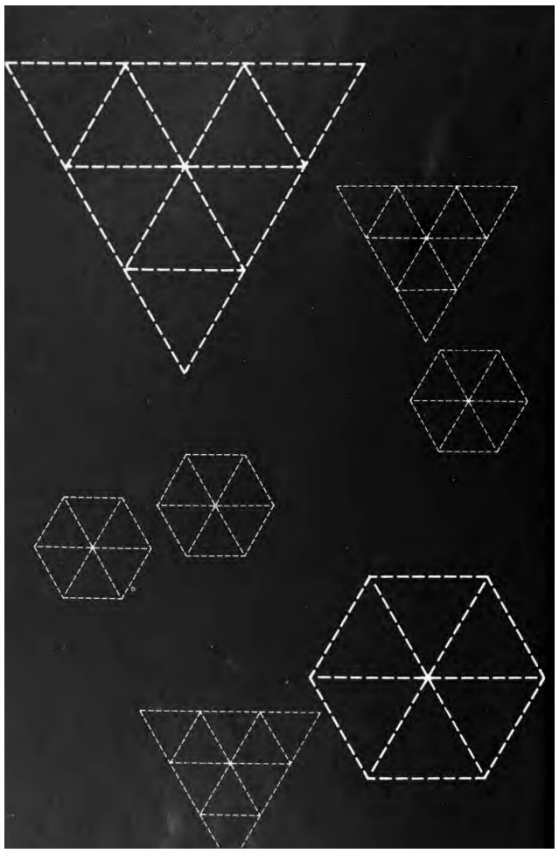
Há centenas de anos, artistas indianos criaram imagens de Shivas dançantes numa bela série de bronzes. No nosso tempo, os físicos utilizaram a tecnologia mais avançada para retratar os padrões da dança cósmica. As fotografias de câmaras de bolhas que mostram partículas em interação, testemunhos do ritmo contínuo de criação e destruição no universo, são imagens visuais da dança de Shiva que igualam as dos artistas indianos em beleza e profundidade de significado.

A metáfora da dança cósmica une, assim, a mitologia antiga, a arte religiosa e a física moderna. É, de facto, como disse Coomaraswamy,

> **«poesia, mas nem por isso deixa de ser ciência».**

CAPÍTULO 16

As Simetrias dos Quarks
Um Novo Koan?



O mundo subatómico é um mundo de ritmo, movimento e mudança contínua. Não é, porém, arbitrário nem caótico: obedece a padrões muito definidos e claros. Desde logo, todas as partículas de um determinado tipo são completamente idênticas: têm exatamente a mesma massa, a mesma carga elétrica e as mesmas propriedades características. Além disso, todas as partículas com carga transportam cargas elétricas exatamente iguais à do eletrão, ou de sinal oposto, ou cargas cujo valor é precisamente o dobro.

O mesmo se passa com outras grandezas características das partículas: não assumem valores arbitrários, mas restringem-se a um conjunto limitado de valores, o que nos permite organizar as partículas em alguns grupos distintos, ou «famílias». Isto suscita a

questão de saber como surgem estes padrões definidos no mundo dinâmico e incessantemente mutável das partículas.

O aparecimento de padrões claros na estrutura da matéria não é um fenómeno novo: já tinha sido observado no mundo dos átomos. Tal como as partículas subatómicas, os átomos de um determinado tipo são completamente idênticos, e os diferentes tipos de átomos, ou elementos químicos, foram organizados em vários grupos na tabela periódica. Esta classificação encontra-se hoje bem compreendida: baseia-se no número de protões e neutrões presentes nos núcleos atómicos e na distribuição dos eletrões por órbitas esféricas, ou «camadas», em redor dos núcleos.

Como foi anteriormente explicado*, a natureza ondulatória dos eletrões restringe a distância entre as suas órbitas e a quantidade de rotação que um eletrão pode ter numa dada órbita a alguns valores definidos, correspondentes a vibrações específicas das ondas eletrónicas. Surgem, por conseguinte, padrões definidos na estrutura atómica, caracterizados por um conjunto de «números quânticos» inteiros que refletem os padrões de vibração das ondas eletrónicas nas suas órbitas atómicas.

Estas vibrações determinam os «estados quânticos» de um átomo e garantem que dois átomos sejam completamente idênticos

* Ver a discussão das ondas eletrónicas no Capítulo 4, p. 111/12.

quando ambos se encontram no seu «estado fundamental» ou no mesmo «estado excitado».

Os padrões do mundo das partículas apresentam grandes semelhanças com os do mundo dos átomos. A maioria das partículas, por exemplo, roda em torno de um eixo, como um pião. Os seus spins estão limitados a valores definidos, múltiplos inteiros de uma unidade fundamental. Assim, os bariões só podem ter spins de 1/2, 3/2, 5/2, etc., enquanto os mesões têm spins de 0, 1, 2, etc. Isto faz lembrar fortemente as quantidades de rotação que sabemos serem apresentadas pelos eletrões nas suas órbitas atómicas, também elas limitadas a valores definidos, especificados por números inteiros.

A analogia com os padrões atómicos é reforçada pelo facto de todas as partículas que interagem fortemente, ou hadrões, parecerem distribuir-se por sequências cujos membros têm propriedades idênticas, à exceção das massas e dos spins. Os membros superiores dessas sequências são as partículas de vida extremamente curta chamadas «ressonâncias», descobertas em grande número ao longo da última década.

As massas e os spins das ressonâncias aumentam de forma bem definida no interior de cada sequência, que parece prolongar-se indefinidamente. Estas regularidades sugerem uma analogia com os estados excitados dos átomos e levaram os físicos a considerar os membros superiores de uma sequência de hadrões, não como partículas diferentes, mas apenas como estados excitados do membro de menor massa. Tal como um átomo, um hadrão pode,

assim, existir em vários estados excitados de curta duração, que envolvem maiores quantidades de rotação, ou spin, e de energia, ou massa.

As semelhanças entre os estados quânticos dos átomos e dos hadrões sugerem que também os hadrões são objetos compostos, com estruturas internas suscetíveis de serem «excitadas», isto é, capazes de absorver energia e formar uma variedade de padrões. Atualmente, porém, não compreendemos como se formam esses padrões. Na física atómica, podem explicar-se pelas propriedades e pelas interações mútuas dos constituintes do átomo — os protões, os neutrões e os eletrões —, mas, na física de partículas, ainda não foi possível dar uma explicação desse género. Os padrões encontrados no mundo das partículas foram determinados e classificados de forma puramente empírica e ainda não podem ser deduzidos dos pormenores da estrutura das partículas.

A dificuldade essencial com que os físicos de partículas se confrontam reside no facto de a noção clássica de «objetos» compostos por um conjunto definido de «partes constituintes» não poder aplicar-se às partículas subatómicas. A única forma de descobrir quais são os seus «constituintes» é fragmentá-las, fazendo-as colidir em processos que envolvem altas energias. Quando isso acontece, porém, os fragmentos resultantes nunca são «pedaços mais pequenos» das partículas originais.

Dois protões, por exemplo, podem desintegrar-se numa grande variedade de fragmentos quando colidem a velocidades elevadas, mas nunca encontraremos entre eles «frações de um protão». Os

fragmentos serão sempre hadrões inteiros, formados a partir das energias cinéticas e das massas dos protões em colisão. A decomposição de uma partícula nos seus «constituintes» está, assim, longe de ser unívoca, pois depende da energia envolvida no processo de colisão.

Estamos perante uma situação em que a relatividade é decisiva: padrões dinâmicos de energia dissolvem-se e reorganizam-se, e os conceitos estáticos de objetos compostos e de partes constituintes não podem aplicar-se a esses padrões. A «estrutura» de uma partícula subatómica só pode ser compreendida num sentido dinâmico, em termos de processos e interações.

A maneira como as partículas se fragmentam nos processos de colisão é determinada por certas regras e, como os fragmentos são novamente partículas do mesmo tipo, essas regras podem também ser usadas para descrever as regularidades observadas no mundo das partículas. Na década de 1960, quando se descobriu a maioria das partículas atualmente conhecidas e começaram a surgir «famílias» de partículas, a maior parte dos físicos concentrou, muito naturalmente, os seus esforços em mapear as regularidades emergentes, em vez de enfrentar o árduo problema de descobrir as causas dinâmicas dos padrões. E, nessa tarefa, alcançaram grande êxito.

A noção de simetria desempenhou um papel importante nesta investigação. Generalizando o conceito habitual de simetria e atribuindo-lhe um significado mais abstrato, os físicos

transformaram-no num instrumento poderoso, que se revelou extremamente útil na classificação das partículas.

Na vida quotidiana, o caso mais comum de simetria está associado à reflexão num espelho: diz-se que uma figura é simétrica quando podemos traçar uma linha através dela, dividindo-a em duas partes que são imagens especulares exatas uma da outra. Graus de simetria mais elevados encontram-se em padrões que permitem traçar várias linhas de simetria, como o padrão seguinte, utilizado na simbologia budista.





A reflexão, contudo, não é a única operação associada à simetria. Também se diz que uma figura é simétrica quando mantém o mesmo aspeto depois de uma rotação de um determinado ângulo. A forma do diagrama chinês yin-yang, por exemplo, baseia-se numa simetria de rotação desse tipo.



Na física de partículas, as simetrias estão associadas a muitas outras operações, além das reflexões e das rotações. Estas operações podem ocorrer não só no espaço e no tempo habituais, mas também em espaços matemáticos abstratos. Aplicam-se a partículas ou a grupos de partículas e, como as propriedades das partículas estão inseparavelmente ligadas às suas interações mútuas, as simetrias aplicam-se também às interações, isto é, aos processos em que as partículas participam.

A utilidade destas operações de simetria resulta da sua ligação estreita às «leis de conservação». Sempre que um processo no mundo das partículas apresenta uma determinada simetria, existe uma grandeza mensurável que se «conserva», isto é, que permanece constante ao longo do processo. Estas grandezas fornecem elementos de constância na complexa dança da matéria subatómica e são, por isso, ideais para descrever as interações entre partículas.

Algumas grandezas conservam-se em todas as interações; outras, apenas em certas interações. Cada processo está, assim, associado a um conjunto de grandezas conservadas. As simetrias das propriedades das partículas surgem, portanto, como leis de conservação nas suas interações. Os físicos utilizam os dois conceitos de forma intercambiável, referindo-se ora à simetria de um processo, ora à lei de conservação correspondente, consoante o que for mais conveniente em cada caso.

Existem quatro leis de conservação fundamentais que parecem ser respeitadas em todos os processos; três delas estão

relacionadas com operações de simetria simples no espaço e no tempo habituais. Todas as interações entre partículas são simétricas em relação a deslocações no espaço: apresentam exatamente o mesmo aspeto, quer ocorram em Londres quer em Nova Iorque. São igualmente simétricas em relação a deslocações no tempo, o que significa que ocorrem da mesma maneira à segunda-feira ou à quarta-feira.

A primeira destas simetrias está relacionada com a conservação da quantidade de movimento; a segunda, com a conservação da energia. Isto significa que a quantidade de movimento total de todas as partículas envolvidas numa interação, bem como a sua energia total, incluindo todas as suas massas, será exatamente a mesma antes e depois da interação.

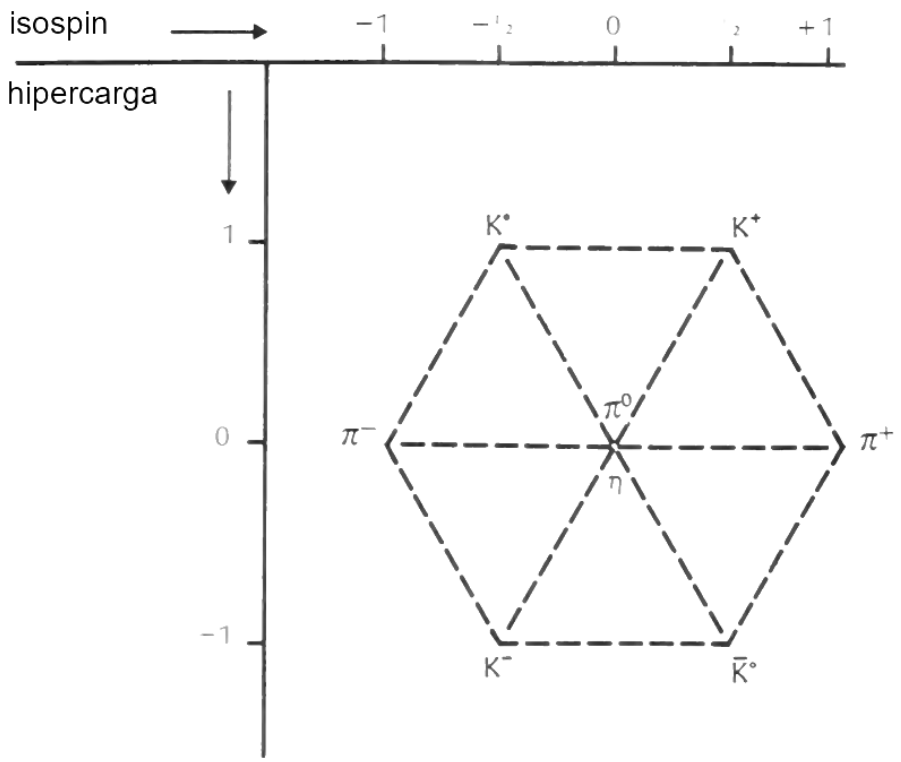
A terceira simetria fundamental diz respeito à orientação no espaço. Numa colisão entre partículas, por exemplo, é indiferente que as partículas se aproximem segundo um eixo orientado de norte para sul ou de leste para oeste. Em consequência desta simetria, a quantidade total de rotação envolvida num processo, que inclui os spins das partículas individuais, conserva-se sempre.

Por fim, existe a conservação da carga elétrica. Está relacionada com uma operação de simetria mais complexa, mas a sua formulação como lei de conservação é muito simples: a carga total transportada por todas as partículas envolvidas numa interação permanece constante.

Existem várias outras leis de conservação que correspondem a operações de simetria em espaços matemáticos abstratos, como sucede com a conservação da carga. Tanto quanto sabemos, algumas são válidas para todas as interações; outras, apenas para certas interações — por exemplo, para as fortes e as eletromagnéticas, mas não para as fracas.

As grandezas conservadas correspondentes podem ser vistas como «cargas abstratas» transportadas pelas partículas. Como assumem sempre valores inteiros, ±1, ±2, etc., ou «semi-inteiros», ±1/2, ±3/2, ±5/2, etc., recebem o nome de números quânticos, por analogia com os números quânticos da física atómica. Cada partícula é, portanto, caracterizada por um conjunto de números quânticos que, juntamente com a sua massa, especificam completamente as suas propriedades.

Os hadrões, por exemplo, possuem valores definidos de «isospin» e de «hipercarga», dois números quânticos que se conservam em todas as interações fortes. Se os oito mesões apresentados na tabela do capítulo anterior forem organizados segundo os valores destes dois números quânticos, verifica-se que formam um padrão hexagonal bem definido, conhecido como «octeto dos mesões».

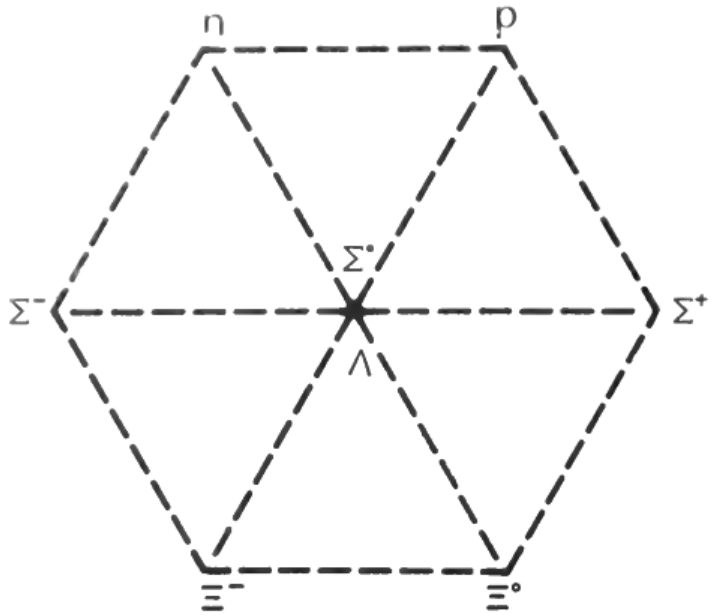


O octeto dos mesões. Eixo horizontal: isospin. Eixo vertical: hipercarga.

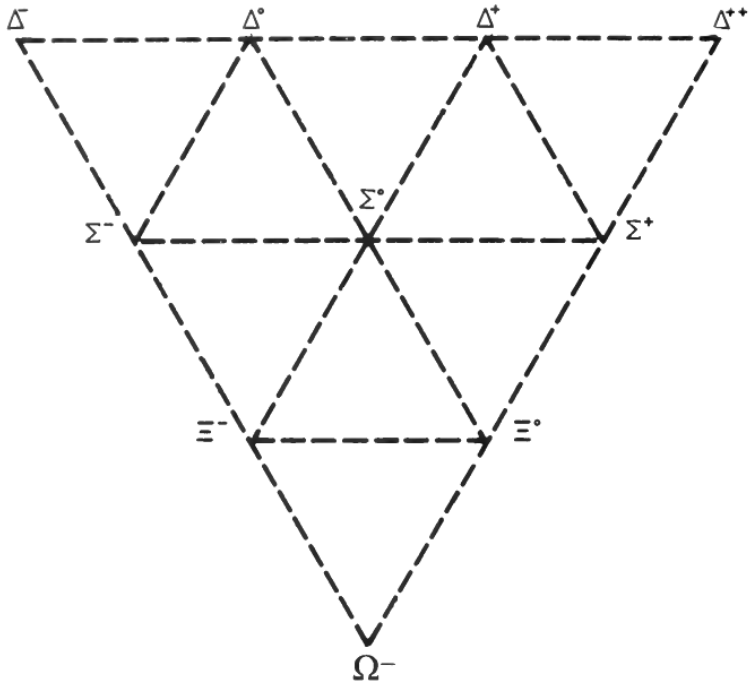
Esta disposição apresenta um elevado grau de simetria: por exemplo, as partículas e as antipartículas ocupam posições opostas no hexágono, sendo as duas partículas centrais as suas próprias antipartículas. Os oito bariões mais leves formam exatamente o mesmo padrão, chamado «octeto dos bariões». Desta vez, porém, as antipartículas não estão contidas no octeto: formam um «anti-octeto» idêntico.

O barião restante da nossa tabela, o ómega, pertence, juntamente com nove ressonâncias, a um padrão diferente, chamado «decupleto dos bariões». Todas as partículas de um dado padrão de simetria têm números quânticos idênticos, à exceção do isospin e da hipercarga, que determinam as suas posições no padrão. Por exemplo, todos os mesões do octeto têm spin nulo, isto

é, não rodam; os bariões do octeto têm spin 1/2 e os do decupleto têm spin 3/2.



O octeto dos bariões.



O decupleto dos bariões.

Os números quânticos são, assim, utilizados para organizar as partículas em famílias que formam padrões simétricos bem definidos, para especificar a posição de cada partícula em cada padrão e, ao mesmo tempo, para classificar as diversas interações segundo as leis de conservação que respeitam. Os dois conceitos relacionados de simetria e conservação revelam-se, portanto, extremamente úteis para exprimir as regularidades do mundo das partículas.

É surpreendente que a maioria destas regularidades possa ser representada de maneira muito simples se admitirmos que todos os hadrões são constituídos por um pequeno número de entidades elementares que, até agora, escaparam à observação direta. Murray Gell-Mann atribuiu a estas entidades o nome fantasioso de «quarks». Quando postulou a sua existência, remeteu os seus colegas físicos para a frase de Finnegans Wake, de James Joyce:

> **«Three quarks for Muster Mark».**

Gell-Mann conseguiu explicar um grande número de padrões de hadrões, como os octetos e o decupleto anteriormente analisados, atribuindo números quânticos adequados aos seus três quarks e aos respetivos antiquarks. Combinando depois estes elementos de construção de várias maneiras, obtinha bariões e mesões cujos números quânticos resultavam simplesmente da soma dos números quânticos dos quarks constituintes. Neste sentido, pode dizer-se que os bariões «consistem» em três quarks, as suas antipartículas nos antiquarks correspondentes e os mesões num quark acompanhado de um antiquark.

A simplicidade e a eficácia deste modelo são impressionantes, mas surgem dificuldades graves quando se levam os quarks a sério como constituintes físicos efetivos dos hadrões. Até agora, nunca foi possível decompor hadrões nos seus quarks constituintes, apesar de os bombardearmos com as energias mais elevadas disponíveis. Isto significa que os quarks teriam de ser mantidos unidos por forças de ligação extremamente intensas.

Segundo a nossa compreensão atual das partículas e das suas interações, essas forças devem envolver outras partículas e, consequentemente, os quarks devem apresentar algum tipo de «estrutura», tal como todas as outras partículas que interagem fortemente. Contudo, é essencial para o modelo dos quarks que estes sejam pontuais e desprovidos de estrutura. Devido a esta dificuldade fundamental, ainda não foi possível formular o modelo dos quarks de maneira dinamicamente coerente, que explique simultaneamente as simetrias e as forças de ligação.

No plano experimental, a última década assistiu a uma intensa, mas até agora infrutífera, «caça ao quark». Se existirem quarks isolados, deverão ser facilmente reconhecíveis, pois o modelo de Gell-Mann exige que possuam propriedades muito invulgares, como cargas elétricas de 1/3 e 2/3 da carga do eletrão, que não se encontram em nenhuma outra parte do mundo das partículas. Até agora, apesar das buscas mais intensas, não foram observadas partículas com essas propriedades. Esta persistente incapacidade de os detetar experimentalmente, juntamente com as sérias objeções teóricas à sua existência, tornou extremamente duvidosa a realidade dos quarks.

Por outro lado, o modelo dos quarks continua a explicar com grande êxito as regularidades encontradas no mundo das partículas, embora já não seja utilizado na sua forma simples original. No modelo inicial de Gell-Mann, todos os hadrões podiam ser construídos a partir de três tipos de quarks e dos seus antiquarks. Entretanto, porém, os físicos tiveram de postular quarks adicionais para explicar a grande variedade de padrões de hadrões.

Os três quarks originais foram designados, de forma algo arbitrária, por u, d e s, correspondentes a up, down e strange. A primeira extensão do modelo, resultante da aplicação pormenorizada da hipótese dos quarks ao conjunto dos dados sobre partículas, foi a exigência de que cada quark se apresentasse em três variedades diferentes, ou «cores». A utilização do termo «cor» é, naturalmente, inteiramente arbitrária e nada tem a ver com o significado habitual da palavra. Segundo o modelo dos quarks com cor, os bariões consistem em três quarks de cores diferentes, enquanto os mesões consistem num quark e num antiquark da mesma cor.

A introdução da cor elevou o número total de quarks para nove. Mais recentemente, postulou-se um quark adicional, também ele apresentado em três cores. Com a habitual inclinação dos físicos para nomes fantasiosos, este novo quark foi designado por c, de charm, ou «encanto». O número total de quarks passou, assim, a doze: quatro tipos, cada um deles em três cores. Para distinguir os diferentes tipos de quarks das diferentes cores, os físicos introduziram rapidamente o termo «sabor», falando agora de quarks de diversas cores e sabores.

O grande número de regularidades que podem ser descritas em termos destes doze quarks é verdadeiramente impressionante.* Não pode haver dúvida de que os hadrões apresentam «simetrias de quarks». Embora a nossa compreensão atual das partículas e das interações exclua a existência de quarks físicos, os hadrões comportam-se frequentemente como se consistissem em constituintes elementares pontuais.

A situação paradoxal que rodeia o modelo dos quarks faz lembrar fortemente os primeiros tempos da física atómica, quando paradoxos igualmente impressionantes conduziram os físicos a um avanço decisivo na compreensão das partículas subatómicas. Na verdade, esse avanço já está em curso, como veremos nos capítulos seguintes. Um pequeno grupo de físicos encontra-se atualmente à beira de resolver o koan dos quarks e, ao fazê-lo, chegou a novas e estimulantes ideias sobre a natureza da realidade física.

A descoberta de padrões simétricos no mundo das partículas levou muitos físicos a acreditar que esses padrões refletem as leis fundamentais da natureza. Ao longo dos últimos quinze anos, dedicou-se um enorme esforço à procura de uma «simetria fundamental» última que englobasse todas as partículas conhecidas e, desse modo, «explicasse» a estrutura da matéria.

Este objetivo reflete uma atitude filosófica herdada dos gregos antigos e cultivada ao longo de muitos séculos. A simetria,

* Para uma análise dos desenvolvimentos mais recentes do modelo dos quarks, ver o posfácio «A Nova Física Revisitada», p. 508.

juntamente com a geometria, desempenhava um papel importante na ciência, na filosofia e na arte gregas, onde era identificada com a beleza, a harmonia e a perfeição. Assim, os pitagóricos consideravam os padrões numéricos simétricos a essência de todas as coisas; Platão acreditava que os átomos dos quatro elementos tinham a forma de sólidos regulares; e a maioria dos astrónomos gregos pensava que os corpos celestes se moviam em círculos, porque o círculo era a figura geométrica com o mais elevado grau de simetria.

A atitude da filosofia oriental perante a simetria contrasta de forma marcante com a dos gregos antigos. As tradições místicas do Extremo Oriente utilizam frequentemente padrões simétricos como símbolos ou instrumentos de meditação, mas o conceito de simetria não parece desempenhar um papel importante na sua filosofia. Tal como a geometria, é considerado uma construção da mente, e não uma propriedade da natureza, pelo que não possui importância fundamental.

Em conformidade com esta perspetiva, muitas formas de arte orientais mostram uma notável predileção pela assimetria, evitando frequentemente todas as formas regulares ou geométricas. As pinturas chinesas e japonesas de inspiração zen, muitas vezes executadas no chamado estilo «de um só canto», ou a disposição irregular das pedras nos jardins japoneses ilustram claramente este aspeto da cultura do Extremo Oriente.



Lajes nos jardins do Palácio de Katsura, Quioto, Japão.

Pareceria, portanto, que a procura de simetrias fundamentais na física de partículas é parte da nossa herança helénica, de algum modo incompatível com a visão geral do mundo que começa a emergir da ciência moderna. A ênfase na simetria, contudo, não é o único aspeto da física de partículas.

Em contraste com a abordagem «estática» da simetria, sempre existiu uma escola de pensamento «dinâmica», que não considera os padrões das partículas características fundamentais da natureza,

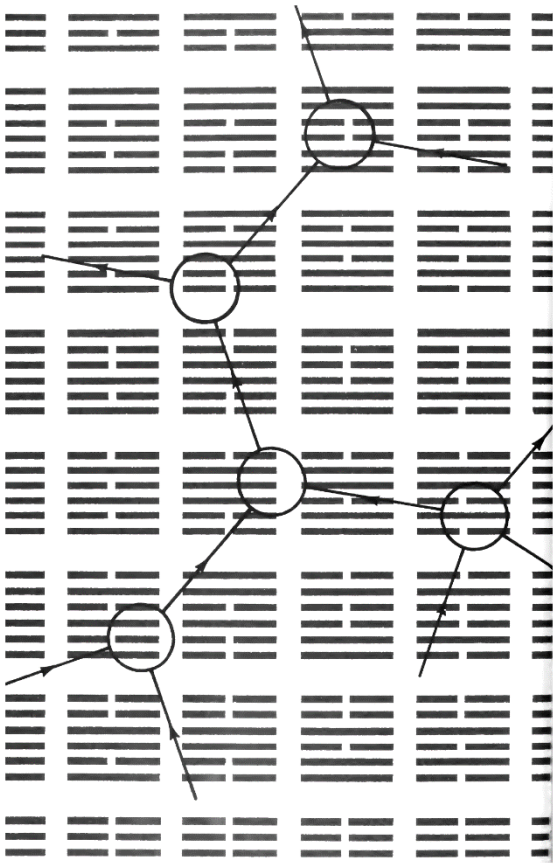
mas procura compreendê-los como consequência do caráter dinâmico e da inter-relação essencial do mundo subatómico. Os dois capítulos restantes mostram como esta escola de pensamento deu origem, na última década, a uma visão radicalmente diferente das simetrias e das leis da natureza: uma visão em harmonia com a conceção do mundo da física moderna até aqui descrita e em perfeito acordo com a filosofia oriental.



«Aves junto ao lago», de Liang K'ai, dinastia Song do Sul.

CAPÍTULO 17

Padrões de Mudança



Explicar as simetrias do mundo das partículas através de um modelo dinâmico, isto é, de um modelo que descreva as interações entre partículas, constitui um dos grandes desafios da física atual. O problema consiste, em última análise, em ter simultaneamente em conta a teoria quântica e a teoria da relatividade. Os padrões das partículas parecem refletir a sua «natureza quântica», uma vez que encontramos padrões semelhantes no mundo dos átomos. Na física de partículas, porém, não podem ser explicados como padrões ondulatórios no âmbito da teoria quântica, pois as energias envolvidas são tão elevadas que é necessário aplicar a teoria da relatividade. Só uma teoria «quântico-relativista» das partículas poderá, portanto, explicar as simetrias observadas.

A teoria quântica de campos foi o primeiro modelo desse género. Proporcionou uma excelente descrição das interações

eletromagnéticas entre eletrões e fotões, mas é muito menos adequada à descrição das partículas que interagem fortemente.* À medida que se descobriam cada vez mais destas partículas, os físicos depressa compreenderam que era profundamente insatisfatório associar cada uma delas a um campo fundamental. Quando o mundo das partículas se revelou como uma teia cada vez mais complexa de processos interligados, tiveram de procurar outros modelos capazes de representar essa realidade dinâmica e em constante mudança.

Era necessário um formalismo matemático que pudesse descrever dinamicamente a grande variedade de padrões de hadrões: a sua transformação contínua uns nos outros, as suas interações mútuas através da troca de outras partículas, a formação de «estados ligados» de dois ou mais hadrões e o seu decaimento em diversas combinações de partículas. Todos estes processos, muitas vezes designados genericamente por «reações de partículas», são características essenciais das interações fortes e têm de ser contemplados num modelo quântico-relativista dos hadrões.

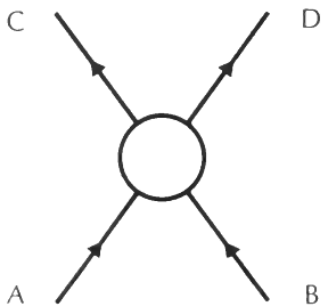
O enquadramento que parece mais adequado à descrição dos hadrões e das suas interações chama-se «teoria da matriz S». O seu conceito central, a «matriz S», foi originalmente proposto por Heisenberg em 1943 e, ao longo das últimas duas décadas,

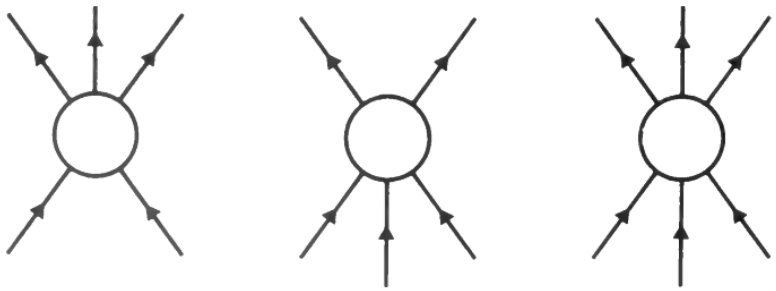
* Para uma discussão mais pormenorizada, ver o posfácio «A Nova Física Revisitada», p. 507.

desenvolveu-se numa estrutura matemática complexa que parece particularmente apropriada para descrever as interações fortes.

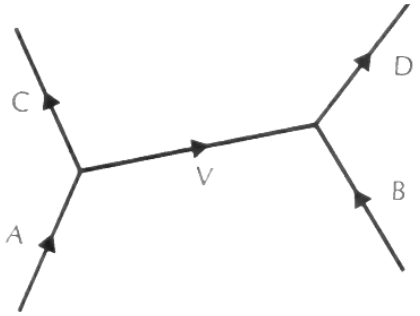
A matriz S é um conjunto de probabilidades de todas as reações possíveis que envolvem hadrões. O seu nome resulta de podermos imaginar o conjunto de todas essas reações disposto numa tabela infinita do tipo a que os matemáticos chamam matriz. A letra S conserva a inicial da designação original scattering matrix, «matriz de dispersão», que se refere aos processos de colisão, ou «dispersão», responsáveis pela maioria das reações de partículas.

Na prática, naturalmente, nunca estamos interessados no conjunto completo dos processos hadrónicos, mas apenas em algumas reações específicas. Por isso, nunca trabalhamos com a matriz S inteira, mas somente com as suas partes, ou «elementos», que dizem respeito aos processos em análise. Estes são representados simbolicamente por diagramas como o seguinte, que mostra uma das reações mais simples e gerais: duas partículas, A e B, colidem e emergem como duas partículas diferentes, C e D. Processos mais complexos envolvem um maior número de partículas e são representados pelos diagramas subsequentes.





Importa salientar que estes diagramas da matriz S são muito diferentes dos diagramas de Feynman da teoria de campos. Não representam o mecanismo pormenorizado da reação: limitam-se a especificar as partículas iniciais e finais. O processo habitual A + B → C + D, por exemplo, poderia ser representado na teoria de campos como a troca de uma partícula virtual V; na teoria da matriz S, desenha-se simplesmente um círculo, sem especificar o que se passa no seu interior.



Além disso, os diagramas da matriz S não são diagramas de espaço-tempo, mas representações simbólicas mais gerais das reações de partículas. Não se pressupõe que estas reações ocorram em pontos definidos do espaço e do tempo; são descritas em termos das velocidades — ou, mais precisamente, das quantidades de movimento — das partículas incidentes e emergentes.

Isto significa, naturalmente, que um diagrama da matriz S contém muito menos informação do que um diagrama de Feynman. Por outro lado, a teoria da matriz S evita uma dificuldade característica da teoria de campos. Os efeitos combinados da teoria quântica e da teoria da relatividade tornam impossível localizar com precisão uma interação entre partículas determinadas.

Devido ao princípio da incerteza, a incerteza da velocidade de uma partícula aumenta à medida que a sua região de interação é localizada com maior precisão;* consequentemente, a quantidade da sua energia cinética torna-se cada vez mais incerta. Por fim, essa energia torna-se suficientemente elevada para que se possam criar novas partículas, de acordo com a teoria da relatividade. A partir daí, já não podemos ter a certeza de estar a lidar com a reação original.

Numa teoria que combine a teoria quântica e a teoria da relatividade, não é, portanto, possível especificar com precisão a posição de partículas individuais. Se o fizermos, como sucede na teoria de campos, temos de aceitar inconsistências matemáticas, que constituem, de facto, o principal problema de todas as teorias quânticas de campos. A teoria da matriz S contorna esta dificuldade especificando as quantidades de movimento das partículas e

* Ver a discussão do princípio da incerteza no Capítulo 11, p. 262.

mantendo uma indeterminação suficiente quanto à região em que a reação ocorre.

O conceito novo e importante da teoria da matriz S é a deslocação da ênfase dos objetos para os acontecimentos: o seu interesse fundamental não são as partículas, mas as suas reações. Esta passagem dos objetos aos acontecimentos é exigida tanto pela teoria quântica como pela teoria da relatividade.

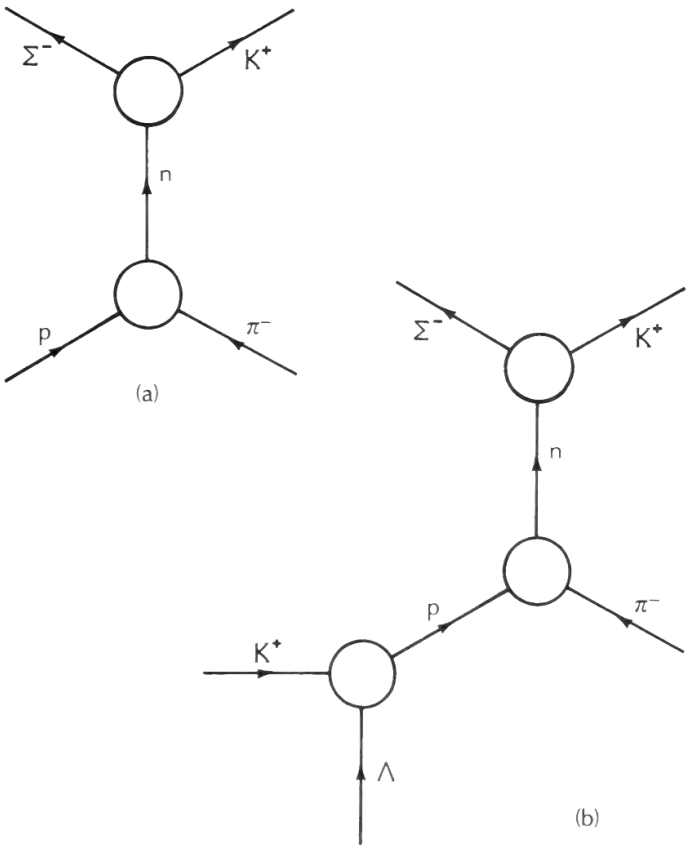
Por um lado, a teoria quântica tornou claro que uma partícula subatómica só pode ser compreendida como manifestação da interação entre diversos processos de medição. Não é um objeto isolado, mas uma ocorrência, ou um acontecimento, que interliga outros acontecimentos de uma determinada maneira. Nas palavras de Heisenberg:

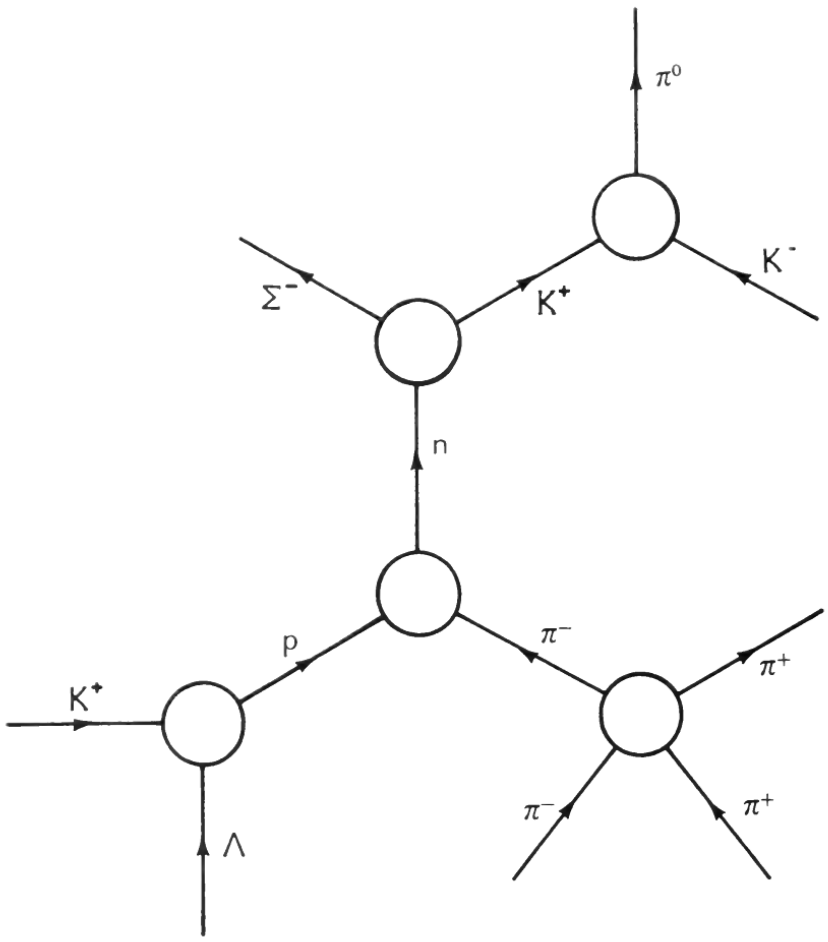
> **[Na física moderna], o mundo passou a ser dividido, não em diferentes grupos de objetos, mas em diferentes grupos de ligações […]. O que podemos distinguir é o tipo de ligação que assume importância primordial num determinado fenómeno […]. O mundo surge, assim, como uma teia complexa de acontecimentos, na qual ligações de diferentes tipos se alternam, se sobrepõem ou se combinam, determinando desse modo a textura do todo.**[1]

Por outro lado, a teoria da relatividade obrigou-nos a conceber as partículas em termos de espaço-tempo: como padrões quadridimensionais, como processos e não como objetos. A abordagem da matriz S combina estas duas perspetivas. Utilizando o formalismo matemático quadridimensional da teoria da relatividade, descreve todas as propriedades dos hadrões em

termos de reações — ou, mais precisamente, de probabilidades de reação —, estabelecendo, assim, uma ligação íntima entre partículas e processos. Cada reação envolve partículas que a ligam a outras reações, construindo uma rede inteira de processos.

Um neutrão, por exemplo, pode participar em duas reações sucessivas que envolvam partículas diferentes: a primeira, digamos, um protão e um π^-; a segunda, um Σ^- e um K^+. O neutrão interliga, assim, as duas reações e integra-as num processo mais amplo, como mostra o diagrama (a). Cada partícula inicial ou final deste processo participará noutras reações: o protão, por exemplo, pode resultar de uma interação entre um K^+ e uma Λ, como mostra o diagrama (b); o K^+ da reação original pode estar ligado a um K^- e a um π^0; o π^-, a mais três piões.





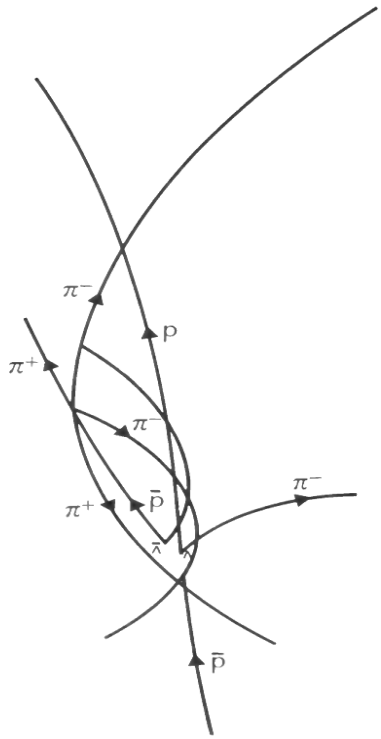
O neutrão original surge, assim, como parte de uma rede inteira de interações, de uma «teia de acontecimentos», todos descritos pela matriz S. As interligações desta rede não podem ser determinadas com certeza, estando antes associadas a probabilidades. Cada reação ocorre com uma determinada probabilidade, que depende da energia disponível e das características da reação; essas probabilidades são dadas pelos diversos elementos da matriz S.

Esta abordagem permite definir a estrutura de um hadrão de maneira inteiramente dinâmica. O neutrão da nossa rede, por exemplo, pode ser visto como um «estado ligado» do protão e do

π^- que lhe dão origem, mas também como um estado ligado do Σ^- e do K^+ em que se desintegra. Qualquer destas combinações de hadrões, e muitas outras, pode formar um neutrão; por isso, pode dizer-se que integram a sua «estrutura».

A estrutura de um hadrão não é, portanto, entendida como uma disposição definida de partes constituintes: é dada por todos os conjuntos de partículas que podem interagir para formar o hadrão em causa. Assim, um protão existe potencialmente como um par neutrão-pião, como um par caão-lambda, e assim por diante. O protão também tem a possibilidade de se desintegrar em qualquer dessas combinações de partículas, se houver energia suficiente. As tendências de um hadrão para existir em diversas manifestações exprimem-se nas probabilidades das reações correspondentes, que podem todas ser consideradas aspetos da sua estrutura interna.





Rede de reações que envolve protões, antiprotões, um par lambda-antilambda e vários piões.

Ao definir a estrutura de um hadrão como a sua tendência para participar em diversas reações, a teoria da matriz S atribui ao conceito de estrutura um sentido essencialmente dinâmico. Ao mesmo tempo, esta noção está em perfeito acordo com os factos experimentais. Sempre que os hadrões são fragmentados em experiências de colisão de altas energias, desintegram-se em combinações de outros hadrões; podemos, por isso, dizer que «consistem» potencialmente nessas combinações.

Cada partícula que emerge de uma dessas colisões participa, por sua vez, em várias reações, construindo uma rede inteira de acontecimentos que pode ser fotografada na câmara de bolhas. A

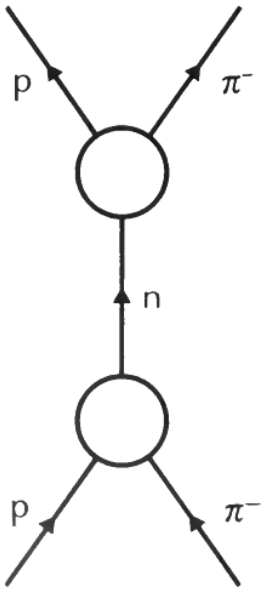
fotografia anterior e as do Capítulo 15 são exemplos dessas redes de reações.

Embora a rede que surge numa determinada experiência dependa do acaso, cada rede estrutura-se segundo regras definidas. São as leis de conservação anteriormente mencionadas: só podem ocorrer reações em que se conserve um conjunto bem definido de números quânticos. Desde logo, a energia total tem de permanecer constante em cada reação. Isto significa que uma determinada combinação de partículas só pode resultar de uma reação se a energia que nela entra for suficientemente elevada para fornecer as massas necessárias.

Além disso, o grupo de partículas emergentes tem de transportar, no seu conjunto, exatamente os mesmos números quânticos que as partículas iniciais introduziram na reação. Por exemplo, um protão e um π^-, cuja carga elétrica total é nula, podem dissolver-se numa colisão e reorganizar-se, dando origem a um neutrão e a um π^0; mas não podem originar um neutrão e um π^+, pois este par teria uma carga total de +1.

As reações hadrónicas representam, assim, um fluxo de energia no qual as partículas são criadas e dissolvidas; contudo, a energia só pode fluir através de certos «canais», caracterizados pelos números quânticos que se conservam nas interações fortes. Na teoria da matriz S, o conceito de canal de reação é mais fundamental do que o de partícula. Define-se como um conjunto de números quânticos que podem ser transportados por várias

combinações de hadrões e, muitas vezes, também por um único hadrão.



A combinação de hadrões que flui por um determinado canal é uma questão de probabilidade, mas depende, antes de mais, da energia disponível. O diagrama, por exemplo, mostra uma interação entre um protão e um π^- na qual se forma um neutrão como estado intermédio. O canal de reação é, portanto, constituído primeiro por dois hadrões, depois por um único hadrão e, finalmente, pelo par inicial. Se houver mais energia disponível, o mesmo canal pode ser constituído por um par Λ–K^0, por um par Σ^-–K^+ e por várias outras combinações.

A noção de canal de reação é particularmente adequada ao estudo das ressonâncias, os estados hadrónicos de vida extremamente curta que caracterizam todas as interações fortes.

São fenómenos tão efémeros que, inicialmente, os físicos hesitaram em classificá-los como partículas. Ainda hoje, o esclarecimento das suas propriedades constitui uma das principais tarefas da física experimental de altas energias.

As ressonâncias formam-se em colisões de hadrões e desintegram-se quase no instante em que surgem. Não podem ser vistas na câmara de bolhas, mas podem ser detetadas devido a um comportamento muito particular das probabilidades de reação. A probabilidade de dois hadrões em colisão participarem numa reação, isto é, de interagirem, depende da energia envolvida. Se essa energia for modificada, a probabilidade também se altera: pode aumentar ou diminuir com o aumento da energia, consoante os pormenores da reação.

Contudo, para certos valores da energia, observa-se um aumento acentuado da probabilidade de reação: a reação torna-se muito mais provável nesses valores do que para qualquer outra energia. Este aumento brusco está associado à formação de um hadrão intermédio de curta duração, cuja massa corresponde à energia em que se observa esse aumento.

A designação «ressonâncias», atribuída a estes estados hadrónicos de curta duração, prende-se com uma analogia com o conhecido fenómeno de ressonância associado às vibrações. No caso do som, por exemplo, o ar contido numa cavidade responde, em geral, apenas fracamente a uma onda sonora proveniente do exterior. Porém, começa a «ressoar», ou a vibrar com grande

intensidade, quando a onda sonora atinge uma determinada frequência, chamada frequência de ressonância.

O canal de uma reação hadrónica pode comparar-se a uma dessas cavidades ressonantes, pois a energia dos hadrões em colisão está relacionada com a frequência da onda de probabilidade correspondente. Quando essa energia, ou frequência, atinge um determinado valor, o canal começa a ressoar: as vibrações da onda de probabilidade tornam-se subitamente muito intensas, provocando um aumento acentuado da probabilidade de reação.

A maioria dos canais de reação tem várias energias de ressonância. Cada uma corresponde à massa de um estado hadrónico intermédio e efémero, que se forma quando a energia das partículas em colisão atinge o valor de ressonância.

No âmbito da teoria da matriz S, não existe o problema de saber se devemos ou não chamar «partículas» às ressonâncias. Todas as partículas são consideradas estados intermédios de uma rede de reações, e o facto de as ressonâncias viverem durante um período muito mais curto do que outros hadrões não as torna fundamentalmente diferentes.

Na verdade, «ressonância» é um termo muito apropriado. Aplica-se tanto ao fenómeno no canal de reação como ao hadrão que se forma durante esse fenómeno, mostrando assim a ligação íntima entre partículas e reações. Uma ressonância é uma partícula, mas

não um objeto. É muito melhor descrita como um acontecimento, uma ocorrência, algo que sucede.

Esta descrição dos hadrões na física de partículas evoca as palavras de D. T. Suzuki anteriormente citadas:*

> **«Os budistas conceberam um objeto como um acontecimento e não como uma coisa ou substância.»**

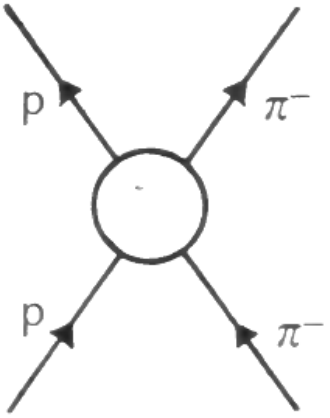
Aquilo que os budistas compreenderam através da sua experiência mística da natureza foi agora redescoberto através das experiências e das teorias matemáticas da ciência moderna.

Para descrever todos os hadrões como estados intermédios de uma rede de reações, é necessário explicar as forças através das quais interagem. São as forças da interação forte que desviam, ou «dispersam», os hadrões em colisão, que os dissolvem e reorganizam em padrões diferentes e que os ligam em grupos para formar estados ligados intermédios.

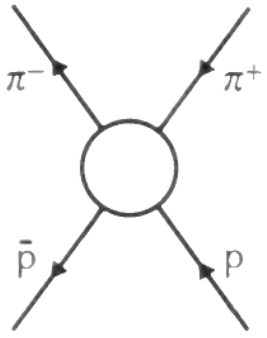
Na teoria da matriz S, tal como na teoria de campos, as forças de interação estão associadas a partículas, mas não se utiliza o conceito de partículas virtuais. Em vez disso, a relação entre forças e partículas baseia-se numa propriedade especial da matriz S, conhecida como «cruzamento» (crossing). Para ilustrar esta

* Ver o Capítulo 13, p. 354.

propriedade, consideremos o diagrama seguinte, que representa a interação entre um protão e um π^-.



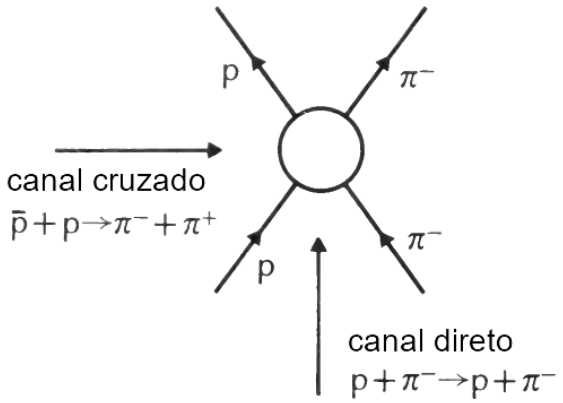
Se rodarmos este diagrama 90° e mantivermos a convenção anteriormente adotada,* segundo a qual as setas voltadas para baixo indicam antipartículas, o novo diagrama representará uma reação entre um antiprotão ($\bar{p}$) e um protão (p), que emergem como um par de piões. O π^+ é a antipartícula do π^- da reação original.



* Ver a convenção sobre antipartículas no Capítulo 12, p. 312.

A propriedade de «cruzamento» da matriz S refere-se ao facto de ambos os processos serem descritos pelo mesmo elemento da matriz S. Isto significa que os dois diagramas representam apenas dois aspetos, ou «canais», diferentes da mesma reação.* Os físicos de partículas estão habituados a passar de um canal para o outro nos seus cálculos. Em vez de rodarem os diagramas, leem-nos simplesmente de baixo para cima ou da esquerda para a direita, falando de «canal direto» e de «canal cruzado».

Assim, a reação do nosso exemplo lê-se $p + \pi^- \rightarrow p + \pi^-$ no canal direto e $\bar{p} + p \rightarrow \pi^- + \pi^+$ no canal cruzado.

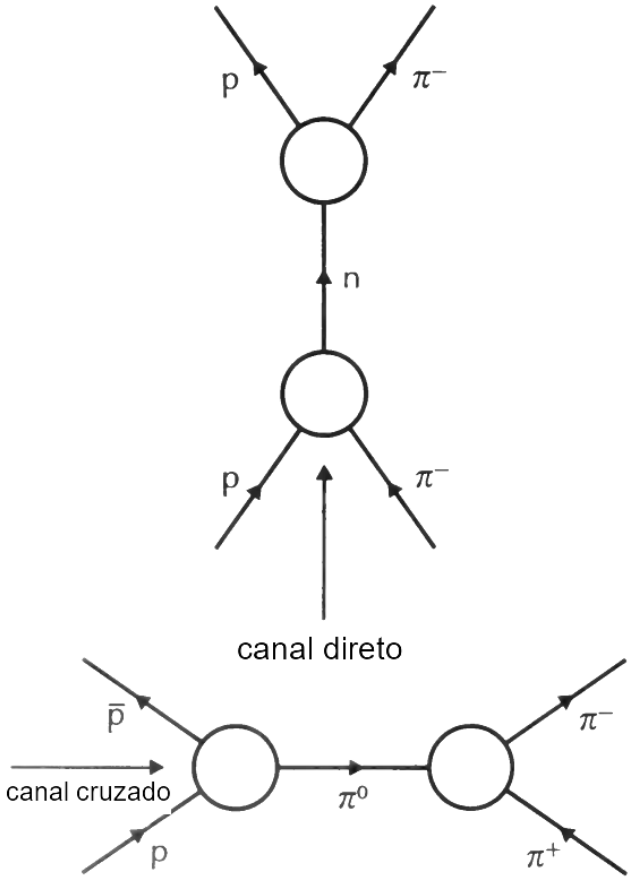


Canal cruzado: $\bar{p} + p \rightarrow \pi^- + \pi^+$. Canal direto: $p + \pi^- \rightarrow p + \pi^-$.

A ligação entre forças e partículas estabelece-se através dos estados intermédios dos dois canais. No canal direto do nosso exemplo, o protão e o π^- podem formar um neutrão intermédio,

* Na realidade, o diagrama pode continuar a ser rodado, e linhas individuais podem ser «cruzadas» para obter processos diferentes ainda descritos pelo mesmo elemento da matriz S. Cada elemento representa, ao todo, seis processos diferentes; contudo, apenas os dois aqui mencionados são relevantes para a nossa discussão das forças de interação.

enquanto o canal cruzado pode ser constituído por um pião neutro intermédio, π^0.



Este pião, o estado intermédio no canal cruzado, é interpretado como a manifestação da força que atua no canal direto, ligando o protão e o π^- para formar o neutrão. São, portanto, necessários ambos os canais para associar forças a partículas: aquilo que surge como uma força num canal manifesta-se como uma partícula intermédia no outro.

Embora seja relativamente fácil passar matematicamente de um canal para o outro, é extremamente difícil, se não impossível, construir uma imagem intuitiva da situação. Isto acontece porque o

«cruzamento» é um conceito essencialmente relativista, que surge no contexto do formalismo quadridimensional da teoria da relatividade e, por isso, é muito difícil de visualizar.

Uma situação semelhante ocorre na teoria de campos, onde as forças de interação são representadas como trocas de partículas virtuais. Na verdade, o diagrama que mostra o pião intermédio no canal cruzado faz lembrar os diagramas de Feynman que representam essas trocas.* Poderíamos dizer, em termos aproximados, que o protão e o π^- interagem «através da troca de um π^0». Os físicos utilizam frequentemente expressões deste género, mas elas não descrevem integralmente a situação. Uma descrição adequada só pode ser dada em termos de canais diretos e cruzados, isto é, de conceitos abstratos quase impossíveis de visualizar.

Apesar da diferença de formalismo, a noção geral de força de interação na teoria da matriz S é bastante semelhante à da teoria de campos. Em ambas, as forças manifestam-se como partículas cuja massa determina o alcance da força;** e, em ambas, são reconhecidas como propriedades intrínsecas das partículas que interagem. Na teoria de campos, refletem a estrutura das nuvens virtuais das partículas; na teoria da matriz S, são geradas por estados ligados das partículas em interação.

* Importa recordar que os diagramas da matriz S não são diagramas de espaço-tempo, mas representações simbólicas de reações de partículas. A passagem de um canal para o outro ocorre num espaço matemático abstrato.

** Ver o Capítulo 14, p. 379.

O paralelo com a conceção oriental das forças, anteriormente discutido,* aplica-se, assim, às duas teorias. Esta conceção das forças de interação implica, além disso, uma conclusão importante: todas as partículas conhecidas devem possuir alguma estrutura interna, porque só desse modo podem interagir com o observador e ser detetadas. Nas palavras de Geoffrey Chew, um dos principais arquitetos da teoria da matriz S:

> **Uma partícula verdadeiramente elementar, completamente desprovida de estrutura interna, não poderia estar sujeita a quaisquer forças que nos permitissem detetar a sua existência. Por outras palavras, o simples conhecimento da existência de uma partícula implica que ela possui estrutura interna![2]**

Uma vantagem particular do formalismo da matriz S é a sua capacidade de descrever a «troca» de uma família inteira de hadrões. Como foi referido no capítulo anterior, todos os hadrões parecem distribuir-se por sequências cujos membros têm propriedades idênticas, à exceção das massas e dos spins. Um formalismo originalmente proposto por Tullio Regge permite tratar cada uma dessas sequências como um único hadrão que existe em vários estados excitados.

Nos últimos anos, foi possível incorporar o formalismo de Regge no enquadramento da matriz S, onde tem sido utilizado com grande êxito na descrição das reações hadrónicas. Este foi um dos desenvolvimentos mais importantes da teoria da matriz S e pode

---

* Ver o Capítulo 14, p. 383.

considerar-se um primeiro passo para uma explicação dinâmica dos padrões das partículas.

O enquadramento da matriz S consegue, portanto, descrever a estrutura dos hadrões, as forças através das quais interagem e alguns dos padrões que formam de maneira inteiramente dinâmica. Cada hadrão é entendido como parte integrante de uma rede inseparável de reações.

O principal desafio da teoria da matriz S é utilizar esta descrição dinâmica para explicar as simetrias que dão origem aos padrões de hadrões e às leis de conservação discutidos no capítulo anterior. Numa teoria desse género, as simetrias dos hadrões refletir-se-iam na estrutura matemática da matriz S, de tal modo que esta contivesse apenas elementos correspondentes a reações permitidas pelas leis de conservação. Essas leis deixariam, então, de ter o estatuto de regularidades empíricas: seriam consequência da estrutura da matriz S e, portanto, da natureza dinâmica dos hadrões.

Atualmente, os físicos procuram atingir este objetivo ambicioso postulando vários princípios gerais que restringem as possibilidades matemáticas de construção dos elementos da matriz S e lhe conferem, assim, uma estrutura definida. Até agora, foram estabelecidos três desses princípios gerais.

O primeiro é sugerido pela teoria da relatividade e pela nossa experiência macroscópica do espaço e do tempo. Afirma que as

probabilidades de reação — e, portanto, os elementos da matriz S — devem ser independentes das deslocações do aparelho experimental no espaço e no tempo, da sua orientação no espaço e do estado de movimento do observador.

Como foi discutido no capítulo anterior, a independência de uma reação de partículas relativamente a mudanças de orientação e a deslocações no espaço e no tempo implica a conservação da quantidade total de rotação, da quantidade de movimento e da energia envolvidas na reação. Estas «simetrias» são essenciais ao nosso trabalho científico. Se os resultados de uma experiência variassem consoante o lugar e o momento em que fosse realizada, a ciência, na sua forma atual, seria impossível. Por fim, a última exigência — que os resultados experimentais não dependam do movimento do observador — é o princípio da relatividade, que constitui a base da teoria da relatividade.*

O segundo princípio geral é sugerido pela teoria quântica. Afirma que o resultado de uma determinada reação só pode ser previsto em termos de probabilidades e que a soma das probabilidades de todos os resultados possíveis, incluindo a ausência de interação entre as partículas, tem de ser igual a um. Por outras palavras, podemos ter a certeza de que as partículas ou interagem ou não interagem.

* Ver página 282.

Esta afirmação aparentemente trivial revela-se, na realidade, um princípio muito poderoso, conhecido como «unitariedade», que restringe fortemente as possibilidades de construção dos elementos da matriz S.

O terceiro e último princípio está relacionado com as nossas noções de causa e efeito e é conhecido como princípio da causalidade. Afirma que a energia e a quantidade de movimento só são transferidas através de distâncias espaciais por partículas, e que esta transferência ocorre de tal modo que uma partícula só pode ser criada numa reação e destruída noutra se a segunda reação ocorrer depois da primeira.

A formulação matemática do princípio da causalidade implica que a matriz S depende de forma suave das energias e das quantidades de movimento das partículas envolvidas numa reação, exceto nos valores em que se torna possível criar novas partículas. Nesses valores, a estrutura matemática da matriz S altera-se abruptamente: encontra aquilo a que os matemáticos chamam uma «singularidade».

Cada canal de reação contém várias destas singularidades; isto é, existem, em cada canal, vários valores da energia e da quantidade de movimento nos quais se podem criar novas partículas. As «energias de ressonância» anteriormente mencionadas são exemplos desses valores.

O facto de a matriz S apresentar singularidades é consequência do princípio da causalidade, mas este não determina a localização dessas singularidades. Os valores da energia e da quantidade de movimento nos quais se podem criar partículas variam de canal para canal e dependem das massas e das restantes propriedades das partículas criadas. As posições das singularidades refletem, portanto, as propriedades dessas partículas. Como todos os hadrões podem ser criados em reações de partículas, as singularidades da matriz S espelham todos os padrões e todas as simetrias dos hadrões.

O objetivo central da teoria da matriz S é, assim, deduzir a estrutura das suas singularidades a partir dos princípios gerais. Até agora, não foi possível construir um modelo matemático que satisfaça os três princípios. É perfeitamente possível que estes sejam suficientes para determinar de maneira única todas as propriedades da matriz S e, por conseguinte, todas as propriedades dos hadrões.*

Se assim for, as implicações filosóficas de uma teoria desse género serão muito profundas. Os três princípios gerais estão relacionados com os nossos métodos de observação e medição, isto é, com o enquadramento científico. Se forem suficientes para determinar a estrutura dos hadrões, isso significará que as

* Esta conjetura, conhecida como hipótese de «bootstrap», será discutida com maior pormenor no capítulo seguinte.

estruturas fundamentais do mundo físico são determinadas, em última análise, pela maneira como olhamos para esse mundo.

Qualquer mudança fundamental nos nossos métodos de observação implicaria uma modificação dos princípios gerais, conduzindo a uma estrutura diferente da matriz S e, por isso, a uma estrutura diferente dos hadrões.

Uma teoria deste tipo reflete, na sua forma mais extrema, a impossibilidade de separar o observador científico dos fenómenos observados, já discutida a propósito da teoria quântica.* Implica, em última análise, que as estruturas e os fenómenos que observamos na natureza não são senão criações da nossa mente que mede e classifica.

Esta é uma das ideias fundamentais da filosofia oriental. Os místicos orientais repetem-nos que todas as coisas e todos os acontecimentos que percecionamos são criações da mente, surgindo de um determinado estado de consciência e voltando a dissolver-se quando esse estado é transcendido.

O hinduísmo sustenta que todas as formas e estruturas que nos rodeiam são criadas por uma mente sob o encantamento de maya, considerando a nossa tendência para lhes atribuir um significado profundo a ilusão humana fundamental. Os budistas chamam a esta

* Ver o Capítulo 10, p. 231.

ilusão avidya, ou ignorância, e veem nela o estado de uma mente «contaminada». Nas palavras de Ashvaghosha:

> **Quando não se reconhece a unidade da totalidade das coisas, surgem a ignorância e a diferenciação, desenvolvendo-se assim todos os estados da mente contaminada [...]. Todos os fenómenos do mundo não são senão manifestações ilusórias da mente e não têm realidade própria.**[3]

Este é também o tema recorrente da escola budista Yogacara, segundo a qual todas as formas que percecionamos são «apenas mente»: projeções, ou «sombras», da mente:

> **Da mente brotam inúmeras coisas, condicionadas pela discriminação [...]. As pessoas aceitam essas coisas como um mundo exterior [...]. Aquilo que parece exterior não existe realmente; é, na verdade, a mente que é vista como multiplicidade; o corpo, os bens e aquilo que está acima — tudo isto, afirmo, não é senão mente.**[4]

Na física de partículas, deduzir os padrões dos hadrões a partir dos princípios gerais da teoria da matriz S é uma tarefa longa e árdua, em direção à qual apenas se deram, até agora, alguns pequenos passos. Ainda assim, devemos levar a sério a possibilidade de, um dia, as propriedades das partículas subatómicas serem deduzidas desses princípios e, desse modo, se revelar que dependem do nosso enquadramento científico.

É uma conjetura estimulante pensar que esta poderá ser uma característica geral da física de partículas, que também surgirá em futuras teorias das interações eletromagnéticas, fracas e gravitacionais. Se tal se confirmar, a física moderna terá percorrido

um longo caminho em direção ao acordo com os sábios orientais de que as estruturas do mundo físico são maya, ou «apenas mente».

A teoria da matriz S aproxima-se muito do pensamento oriental, não só na sua conclusão última, mas também na sua visão geral da matéria. Descreve o mundo das partículas subatómicas como uma rede dinâmica de acontecimentos e dá ênfase à mudança e à transformação, em vez de a estruturas ou entidades fundamentais.

No Oriente, esta ênfase é particularmente forte no pensamento budista, onde todas as coisas são vistas como dinâmicas, impermanentes e ilusórias. Assim escreve S. Radhakrishnan:

> **Como chegamos a pensar em coisas, em vez de processos, neste fluxo absoluto? Fechando os olhos aos acontecimentos sucessivos. É uma atitude artificial que recorta secções na corrente da mudança e lhes chama coisas [...]. Quando conhecermos a verdade das coisas, compreenderemos como é absurdo venerar produtos isolados da série incessante de transformações como se fossem eternos e reais. A vida não é uma coisa nem o estado de uma coisa, mas um movimento ou uma mudança contínuos.**[5]

Tanto o físico moderno como o místico oriental compreenderam que todos os fenómenos deste mundo de mudança e transformação estão dinamicamente interligados. Hindus e budistas veem esta inter-relação como uma lei cósmica, a lei do karma, mas, em geral, não se preocupam com padrões específicos na rede universal de acontecimentos.

A filosofia chinesa, por sua vez, embora também sublinhe o movimento e a mudança, desenvolveu a noção de padrões dinâmicos que se formam e voltam a dissolver-se continuamente no fluxo cósmico do Tao. No I Ching, ou Livro das Mutações, estes padrões foram desenvolvidos num sistema de símbolos arquetípicos, os chamados hexagramas.

O princípio fundamental que ordena os padrões do I Ching* é a interação dos opostos polares yin e yang. O yang é representado por uma linha contínua (⚊); o yin, por uma linha interrompida (⚋) Todo o sistema dos hexagramas se constrói naturalmente a partir destas duas linhas. Ao combiná-las aos pares, obtêm-se quatro configurações:



Acrescentando uma terceira linha a cada uma delas, geram-se oito «trigramas»:

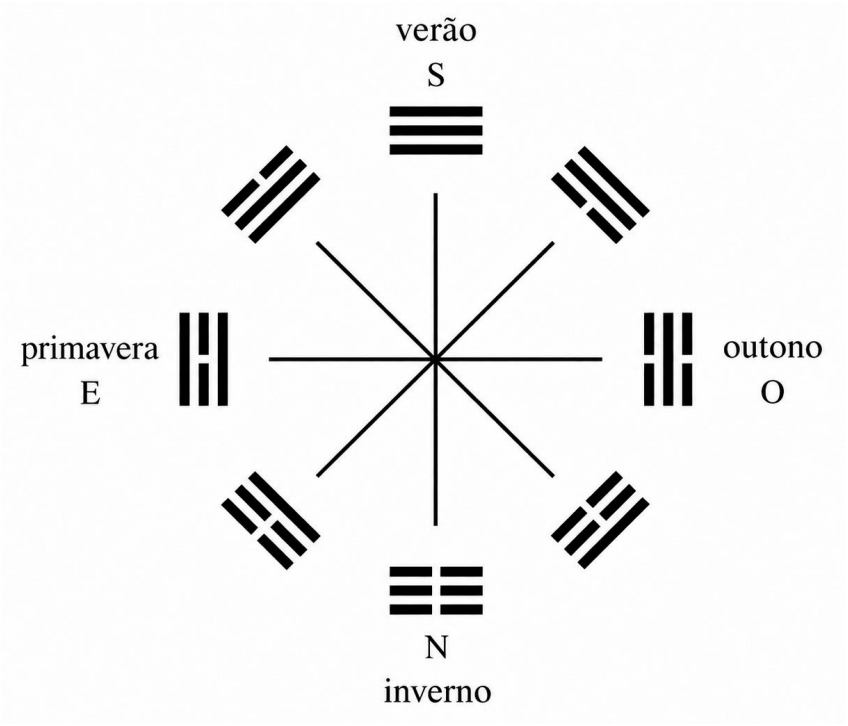


Na China antiga, considerava-se que os trigramas representavam todas as situações cósmicas e humanas possíveis. Recebiam nomes que refletiam as suas características fundamentais — como «O

* Ver a apresentação do I Ching no Capítulo 7, p. 181.

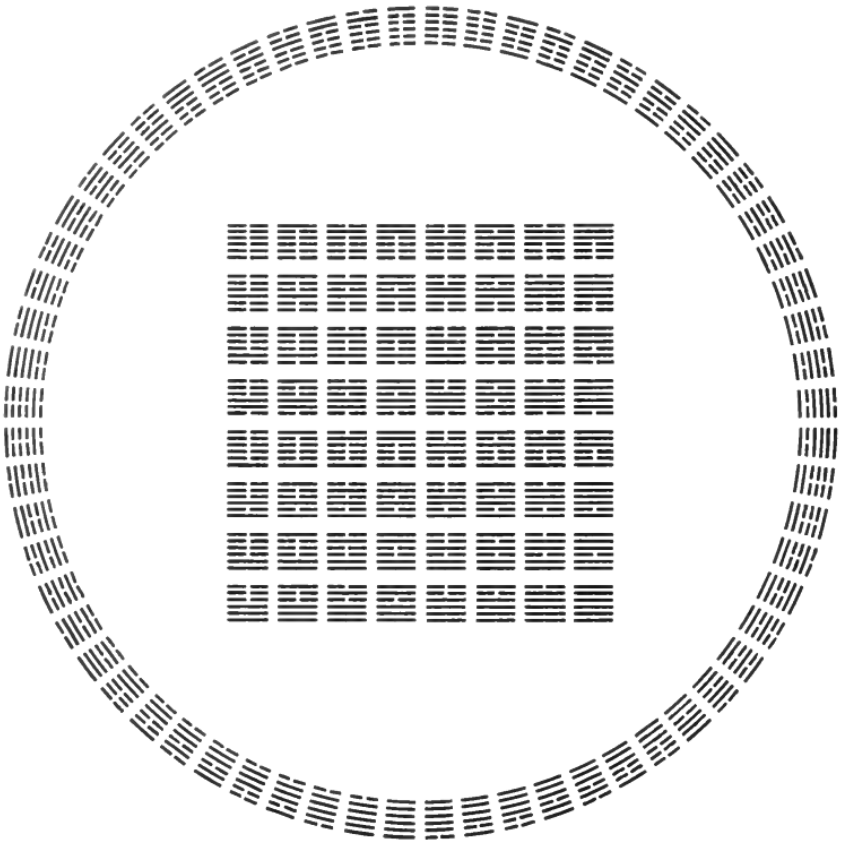
Criador», «O Recetivo», «O Despertar», entre outros — e eram associados a numerosas imagens da natureza e da vida social.

Representavam, por exemplo, o céu, a terra, o trovão e a água, bem como uma família composta pelo pai, pela mãe, por três filhos e por três filhas. Eram ainda associados aos pontos cardeais e às estações do ano, sendo frequentemente dispostos da seguinte maneira:



Nesta disposição, os oito trigramas agrupam-se em torno de um círculo, pela «ordem natural» em que foram gerados. Parte-se do topo, onde os chineses colocam sempre o Sul, dispondo os primeiros quatro trigramas do lado esquerdo e os quatro restantes do lado direito. Esta disposição apresenta um elevado grau de simetria: nos trigramas opostos, as linhas yin e yang encontram-se trocadas.

Para aumentar ainda mais o número de combinações possíveis, os oito trigramas foram combinados aos pares, colocando-se um por cima do outro. Obtiveram-se, assim, sessenta e quatro hexagramas, cada um constituído por seis linhas contínuas ou interrompidas. Os hexagramas foram organizados em vários padrões regulares, entre os quais os dois seguintes eram os mais comuns: um quadrado de oito por oito hexagramas e uma sequência circular com a mesma simetria da disposição circular dos trigramas.



Duas disposições regulares dos 64 hexagramas.

Os sessenta e quatro hexagramas são os arquétipos cósmicos em que se baseia a utilização do I Ching como livro de oráculos. Para interpretar qualquer hexagrama, é necessário considerar os

vários significados dos dois trigramas que o compõem. Por exemplo, quando o trigrama «O Despertar» se situa acima de «O Recetivo», o hexagrama é interpretado como movimento que encontra devoção e, desse modo, inspira entusiasmo, nome que lhe é atribuído.



O Despertar O Recetivo Entusiasmo

O hexagrama do Progresso, para dar outro exemplo, representa «O Aderente» sobre «O Recetivo», o que se interpreta como o Sol a erguer-se sobre a Terra e, portanto, como símbolo de um progresso rápido e fácil.



O Aderente O Recetivo Progresso

No I Ching, os trigramas e os hexagramas representam os padrões do Tao, gerados pela interação dinâmica do yin e do yang e refletidos em todas as situações cósmicas e humanas. Estas situações não são, portanto, consideradas estáticas, mas antes etapas de um fluxo e de uma mudança contínuos. Esta é a ideia fundamental do Livro das Mutações, expressa no próprio título.

Todas as coisas e situações do mundo estão sujeitas a mudança e transformação, tal como as suas imagens, os trigramas e os hexagramas. Estes encontram-se num estado de transição contínua: um transforma-se noutro, as linhas contínuas expandem-se para fora e dividem-se em duas, as linhas interrompidas aproximam-se para dentro e unem-se.

Devido à sua noção de padrões dinâmicos, gerados pela mudança e pela transformação, o I Ching é talvez, no pensamento oriental, a analogia mais próxima da teoria da matriz S. Em ambos os sistemas, a ênfase recai nos processos, e não nos objetos. Na teoria da matriz S, esses processos são as reações de partículas que dão origem a todos os fenómenos do mundo dos hadrões. No I Ching, os processos fundamentais chamam-se «mutações» e são considerados essenciais à compreensão de todos os fenómenos naturais:

> **Foram as mutações que permitiram aos santos sábios alcançar todas as profundezas e compreender as sementes de todas as coisas.**[6]

Estas mutações não são consideradas leis fundamentais impostas ao mundo físico, mas antes, nas palavras de Hellmut Wilhelm,

> **«uma tendência interior segundo a qual o desenvolvimento se realiza de maneira natural e espontânea».**[7]

O mesmo pode dizer-se das «mutações» do mundo das partículas: também elas refletem as tendências interiores das

partículas, expressas na teoria da matriz S em termos de probabilidades de reação.

As mudanças no mundo dos hadrões dão origem a estruturas e a padrões simétricos, representados simbolicamente pelos canais de reação. Nem as estruturas nem as simetrias são consideradas características fundamentais do mundo hadrónico: são vistas como consequências da natureza dinâmica das partículas, isto é, das suas tendências para a mudança e a transformação.

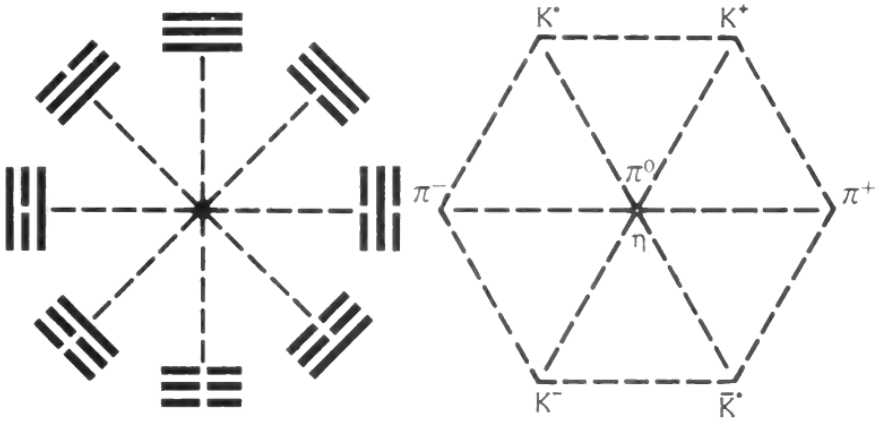
Também no I Ching as mutações dão origem a estruturas: os trigramas e os hexagramas. Tal como os canais das reações de partículas, estes são representações simbólicas de padrões de mudança. Assim como a energia flui pelos canais de reação, as «mutações» fluem pelas linhas dos hexagramas:

> **Alteração, movimento sem repouso,**
> **Fluindo pelos seis lugares vazios,**
> **Subindo e descendo sem lei fixa,**
> **Só a mudança atua aqui.**[8]

Na perspetiva chinesa, todas as coisas e todos os fenómenos que nos rodeiam surgem dos padrões de mudança e são representados pelas diversas linhas dos trigramas e dos hexagramas. As coisas do mundo físico não são, portanto, vistas como objetos estáticos e independentes, mas apenas como etapas transitórias do processo cósmico que é o Tao:

> **O Tao tem mudanças e movimentos. Por isso, as linhas chamam-se linhas mutáveis. As linhas têm gradações; por isso, representam coisas.**[9]

Tal como no mundo das partículas, as estruturas geradas pelas mudanças podem organizar-se em vários padrões simétricos, como o padrão octogonal formado pelos oito trigramas, no qual os trigramas opostos têm as linhas yin e yang trocadas. Este padrão apresenta até uma vaga semelhança com o octeto dos mesões discutido no capítulo anterior, em que partículas e antipartículas ocupam posições opostas.



Contudo, o ponto importante não é esta semelhança acidental, mas o facto de tanto a física moderna como o antigo pensamento chinês considerarem a mudança e a transformação o aspeto primordial da natureza, atribuindo um caráter secundário às estruturas e simetrias que delas resultam. Como explica na introdução à sua tradução do I Ching, Richard Wilhelm considera esta ideia o conceito fundamental do Livro das Mutações:

> **[…] Considerava-se que os oito trigramas estavam num estado de transição contínua, transformando-se uns nos outros, tal como a passagem de um fenómeno a outro ocorre continuamente no mundo físico. Temos aqui o conceito fundamental do Livro das Mutações. Os oito trigramas são símbolos de estados transitórios em mudança; são imagens que sofrem transformações constantes. A atenção concentra-se, não nas coisas no seu estado de ser — como acontece sobretudo no Ocidente —, mas nos seus movimentos de mudança. Os oito trigramas não representam, portanto, as coisas enquanto tais, mas as suas tendências de movimento.**[10]

Na física moderna, passámos a encarar as «coisas» do mundo subatómico de maneira muito semelhante: dando ênfase ao movimento, à mudança e à transformação e considerando as partículas etapas transitórias de um processo cósmico em curso.

CAPÍTULO 18

Interpenetração



Até aqui, a nossa exploração da visão do mundo sugerida pela física moderna mostrou repetidamente que a ideia de «elementos constitutivos fundamentais» da matéria já não é sustentável. No passado, este conceito teve um enorme êxito ao explicar o mundo físico em termos de alguns átomos; as estruturas dos átomos em termos de núcleos rodeados por eletrões; e, finalmente, as estruturas dos núcleos em termos de dois «elementos de construção» nucleares, o protão e o neutrão.

Assim, átomos, núcleos e hadrões foram, sucessivamente, considerados «partículas elementares». Nenhum deles, porém, correspondeu a essa expetativa. De cada vez, essas partículas revelaram-se também estruturas compostas, e os físicos esperaram que a geração seguinte de constituintes se revelasse, por fim, como os componentes últimos da matéria.

Por outro lado, as teorias da física atómica e subatómica tornaram a existência de partículas elementares cada vez menos provável. Revelaram uma interligação fundamental da matéria, mostrando que a energia do movimento pode transformar-se em massa e sugerindo que as partículas são processos, e não objetos. Todos estes desenvolvimentos indicavam fortemente que a imagem mecanicista simples de elementos de construção fundamentais tinha de ser abandonada. Ainda assim, muitos físicos continuam relutantes em fazê-lo. A tradição ancestral de explicar estruturas complexas decompondo-as em constituintes mais simples está tão profundamente enraizada no pensamento ocidental que a procura desses componentes fundamentais prossegue.

Existe, contudo, na física de partículas, uma escola de pensamento radicalmente diferente, que parte da ideia de que a natureza não pode ser reduzida a entidades fundamentais, como partículas elementares ou campos fundamentais. Deve ser inteiramente compreendida através da sua autoconsistência, sendo os seus componentes coerentes tanto entre si como consigo mesmos.

Esta ideia surgiu no contexto da teoria da matriz S e é conhecida como hipótese de «bootstrap». O seu criador e principal defensor é Geoffrey Chew, que, por um lado, a desenvolveu numa filosofia geral da natureza e, por outro, a utilizou, em colaboração com outros físicos, para construir uma teoria específica das partículas, formulada na linguagem da matriz S. Chew descreveu a hipótese de bootstrap em vários artigos,[1] que constituem a base da exposição seguinte.

A filosofia de bootstrap representa a rejeição definitiva da visão mecanicista do mundo na física moderna. O universo de Newton era construído a partir de um conjunto de entidades básicas dotadas de certas propriedades fundamentais, criadas por Deus e, por isso, não suscetíveis de análise ulterior. De uma forma ou de outra, esta noção permaneceu implícita em todas as teorias das ciências da natureza, até a hipótese de bootstrap afirmar explicitamente que o mundo não pode ser compreendido como um conjunto de entidades que já não podem ser analisadas.

Na nova visão do mundo, o universo é visto como uma teia dinâmica de acontecimentos interligados. Nenhuma propriedade de qualquer parte dessa teia é fundamental: todas decorrem das propriedades das outras partes, e a coerência global das suas inter-relações determina a estrutura da teia inteira.

A filosofia de bootstrap representa, assim, o culminar de uma conceção da natureza que surgiu na teoria quântica com o reconhecimento de uma inter-relação essencial e universal, adquiriu o seu conteúdo dinâmico na teoria da relatividade e foi formulada em termos de probabilidades de reação na teoria da matriz S. Ao mesmo tempo, esta conceção foi-se aproximando cada vez mais da visão oriental do mundo, estando agora em harmonia com o pensamento oriental, tanto na sua filosofia geral como na sua imagem específica da matéria.

A hipótese de bootstrap não se limita a negar a existência de constituintes fundamentais da matéria: não aceita quaisquer entidades fundamentais — nem leis, nem equações, nem princípios

fundamentais. Abandona, assim, outra ideia que foi parte essencial das ciências da natureza durante centenas de anos.

A noção de leis fundamentais da natureza derivava da crença num legislador divino, profundamente enraizada na tradição judaico-cristã. Nas palavras de Tomás de Aquino:

> **Existe uma certa Lei Eterna, a saber, a Razão, que existe na mente de Deus e governa todo o universo.**[2]

Esta noção de uma lei eterna e divina da natureza influenciou profundamente a filosofia e a ciência ocidentais. Descartes escreveu sobre «as leis que Deus colocou na natureza», e Newton acreditava que o objetivo mais elevado do seu trabalho científico era demonstrar «as leis que Deus imprimiu na natureza». Descobrir as leis fundamentais últimas da natureza continuou a ser o objetivo dos cientistas durante os três séculos que se seguiram a Newton.

Na física moderna, desenvolveu-se agora uma atitude muito diferente. Os físicos passaram a reconhecer que todas as suas teorias dos fenómenos naturais, incluindo as «leis» que descrevem, são criações da mente humana: propriedades do nosso mapa conceptual da realidade, e não da própria realidade. Este esquema conceptual é necessariamente limitado e aproximado,* tal como todas as teorias científicas e «leis da natureza» que contém.

---

* Ver o Capítulo 2, páginas 29 e 55.

Em última análise, todos os fenómenos naturais estão interligados e, para explicar qualquer um deles, precisaríamos de compreender todos os outros, o que é manifestamente impossível. O que torna a ciência tão bem-sucedida é a descoberta de que são possíveis aproximações. Se nos contentarmos com uma «compreensão» aproximada da natureza, podemos descrever grupos selecionados de fenómenos, desprezando outros menos relevantes.

Podemos, desse modo, explicar muitos fenómenos a partir de alguns princípios e compreender aproximadamente diferentes aspetos da natureza sem ter de compreender tudo ao mesmo tempo. Este é o método científico: todas as teorias e modelos científicos são aproximações à verdadeira natureza das coisas, mas, em muitos casos, a margem de erro é suficientemente pequena para que essas aproximações continuem a ser significativas.

Na física de partículas, por exemplo, ignoram-se habitualmente as forças de interação gravitacional entre partículas, pois são muitas ordens de grandeza mais fracas do que as restantes interações. Embora o erro causado por esta omissão seja extremamente pequeno, é evidente que as interações gravitacionais terão de ser incluídas em futuras teorias das partículas mais rigorosas.

Os físicos constroem, assim, uma sequência de teorias parciais e aproximadas, cada uma mais precisa do que a anterior, mas nenhuma constituindo uma descrição completa e definitiva dos fenómenos naturais. Tal como estas teorias, todas as «leis da natureza» que descrevem são mutáveis, destinadas a ser

substituídas por leis mais precisas à medida que as teorias se aperfeiçoam.

O caráter incompleto de uma teoria reflete-se habitualmente nos seus parâmetros arbitrários ou «constantes fundamentais»: grandezas cujos valores numéricos a teoria não explica e que têm de ser nela introduzidos depois de determinados empiricamente. A teoria quântica não consegue explicar o valor da massa do eletrão; a teoria de campos não explica o valor da sua carga; e a teoria da relatividade não explica o valor da velocidade da luz.

Na perspetiva clássica, estas grandezas eram consideradas constantes fundamentais da natureza, que não exigiam explicação adicional. Na perspetiva moderna, o seu papel de «constantes fundamentais» é visto como temporário e como reflexo das limitações das teorias atuais. Segundo a filosofia de bootstrap, deverão ser explicadas, uma a uma, por teorias futuras, à medida que a precisão e o alcance dessas teorias aumentarem.

Deveremos, assim, aproximar-nos — ainda que talvez nunca a alcancemos — da situação ideal em que a teoria não contém quaisquer constantes «fundamentais» por explicar e em que todas as suas «leis» decorrem da exigência de autoconsistência global.

Importa reconhecer, contudo, que mesmo uma teoria ideal deste género deve possuir alguns aspetos não explicados, embora não necessariamente sob a forma de constantes numéricas. Enquanto for uma teoria científica, exigirá a aceitação, sem explicação, de

certos conceitos que constituem a linguagem científica. Levar a ideia de bootstrap mais longe conduziria para além da ciência:

> **Num sentido amplo, a ideia de bootstrap, embora fascinante e útil, não é científica [...]. A ciência, tal como a conhecemos, exige uma linguagem assente num enquadramento que não é posto em causa. Semanticamente, portanto, uma tentativa de explicar todos os conceitos dificilmente poderá chamar-se «científica».**[3]

É evidente que a visão completa da natureza segundo o bootstrap, na qual todos os fenómenos do universo são determinados de maneira única pela sua autoconsistência mútua, se aproxima muito da visão oriental do mundo. Um universo indivisível, em que todas as coisas e acontecimentos estão interligados, dificilmente faria sentido se não fosse autoconsistente.

De certo modo, a exigência de autoconsistência, que constitui a base da hipótese de bootstrap, e a unidade e inter-relação de todos os fenómenos, tão fortemente sublinhadas pelo misticismo oriental, são apenas aspetos diferentes da mesma ideia. Esta ligação estreita exprime-se com particular clareza no taoismo. Para os sábios taoistas, todos os fenómenos do mundo faziam parte do Caminho cósmico, o Tao. As leis que o Tao seguia não tinham sido estabelecidas por um legislador divino: eram inerentes à sua natureza. Assim lemos no Tao Te Ching:

> **O homem segue as leis da terra;**
> **A terra segue as leis do céu;**
> **O céu segue as leis do Tao;**
> **O Tao segue as leis da sua natureza intrínseca.**[4]

Joseph Needham, no seu estudo aprofundado da ciência e da civilização chinesas, analisa extensamente como o conceito ocidental de leis fundamentais da natureza, com a sua implicação original de um legislador divino, não encontra equivalente no pensamento chinês.

> **«Na visão chinesa do mundo»,**

escreve Needham,

> **«a cooperação harmoniosa de todos os seres não resultava das ordens de uma autoridade superior e exterior a eles, mas do facto de todos serem partes de uma hierarquia de totalidades que formavam um padrão cósmico; aquilo a que obedeciam eram os ditames internos das suas próprias naturezas.»**[5]

Segundo Needham, os chineses nem sequer tinham uma palavra correspondente à ideia ocidental clássica de «lei da natureza». O termo mais próximo é *li*, que o filósofo neoconfucionista Chu Hsi* descreve como

> **«os inúmeros padrões semelhantes a veios contidos no Tao».**[6]

Needham traduz *li* por «princípio de organização» e comenta:

> **No seu significado mais antigo, designava o padrão das coisas, os veios do jade ou as fibras dos músculos […]. Adquiriu o sentido comum de dicionário de «princípio», mas conservou sempre a**

* Ver o Capítulo 7, p. 167.

> conotação de «padrão» [...]. Há nele uma «lei» implícita, mas essa lei é aquela a que as partes de totalidades têm de se conformar em virtude da sua própria existência como partes de totalidades [...]. O mais importante nas partes é terem de se ajustar precisamente às outras partes do organismo inteiro que compõem.[7]

É fácil compreender como uma visão deste tipo conduziu os pensadores chineses à ideia, só recentemente desenvolvida na física moderna, de que a autoconsistência é a essência de todas as leis da natureza. A passagem seguinte, de Ch'en Shun, discípulo direto de Chu Hsi que viveu por volta de 1200 d.C., apresenta esta ideia com grande clareza, em palavras que poderiam constituir uma explicação perfeita da noção de autoconsistência na filosofia de bootstrap:

> Li é uma lei natural e incontornável dos assuntos e das coisas [...]. «Natural e incontornável» significa que os assuntos humanos e as coisas naturais são feitos precisamente para se ajustarem ao seu lugar. «Lei» significa que esse ajustamento ocorre sem o mais pequeno excesso ou deficiência [...]. Os antigos, ao investigarem as coisas até ao limite e ao procurarem li, pretendiam esclarecer o caráter naturalmente incontornável dos assuntos humanos e das coisas naturais. Isto significa apenas que procuravam todos os lugares exatos em que as coisas se ajustam precisamente umas às outras. Nada mais.[8]

Na perspetiva oriental, tal como na da física moderna, tudo no universo está ligado a tudo o resto, e nenhuma parte é fundamental. As propriedades de qualquer parte são determinadas, não por alguma lei fundamental, mas pelas propriedades de todas as outras partes. Físicos e místicos reconhecem a impossibilidade daí resultante de explicar inteiramente qualquer fenómeno, mas assumem depois atitudes diferentes.

Como vimos, os físicos contentam-se com uma compreensão aproximada da natureza. Os místicos orientais, pelo contrário, não estão interessados num conhecimento aproximado ou «relativo». Procuram um conhecimento «absoluto», que envolva a compreensão da totalidade da Vida. Bem conscientes da inter-relação essencial do universo, compreendem que explicar alguma coisa significa, em última análise, mostrar como ela está ligada a tudo o resto. Como isso é impossível, insistem em que nenhum fenómeno isolado pode ser explicado. Assim afirma Ashvaghosha:

> **Todas as coisas, na sua natureza fundamental, não podem ser nomeadas nem explicadas. Não podem ser adequadamente expressas em qualquer forma de linguagem.**[9]

Os sábios orientais, portanto, não estão geralmente interessados em explicar as coisas, mas em obter uma experiência direta, não intelectual, da unidade de todas elas. Esta era a atitude do Buda, que respondia com um «nobre silêncio» a todas as perguntas sobre o sentido da vida, a origem do mundo ou a natureza do nirvana.

As respostas aparentemente sem sentido dos mestres zen, quando lhes pedem que expliquem alguma coisa, parecem ter o mesmo objetivo: levar o discípulo a compreender que tudo é consequência de tudo o resto; que «explicar» a natureza significa apenas mostrar a sua unidade; que, em última análise, nada há para explicar. Quando um monge perguntou a Tozan, que estava a pesar linho,

> **«O que é o Buda?»,**

Tozan respondeu:

> **«Este linho pesa três libras.»**[10]

E quando perguntaram a Joshu por que motivo Bodhidharma tinha vindo à China, ele respondeu:

> **«Um carvalho no jardim.»**[11]

Libertar a mente humana das palavras e das explicações é um dos principais objetivos do misticismo oriental. Tanto budistas como taoistas falam de uma «rede de palavras» ou de uma «teia de conceitos», estendendo assim a ideia de uma rede interligada ao domínio do intelecto. Enquanto tentamos explicar as coisas, permanecemos presos ao karma, enredados na nossa teia conceptual. Transcender palavras e explicações significa romper os laços do karma e alcançar a libertação.

A visão do mundo dos místicos orientais partilha com a filosofia de bootstrap da física moderna, não só a ênfase na inter-relação e na autoconsistência de todos os fenómenos, mas também a negação de constituintes fundamentais da matéria. Num universo que é um todo inseparável, onde todas as formas são fluidas e estão em permanente mudança, não há lugar para qualquer entidade fundamental fixa.

A noção de «elementos constitutivos fundamentais» da matéria não se encontra, por isso, em geral, no pensamento oriental. Nunca foram desenvolvidas teorias atómicas da matéria no pensamento

chinês e, embora tenham surgido em algumas escolas da filosofia indiana, são relativamente periféricas ao misticismo indiano. No hinduísmo, a noção de átomo é importante no sistema jainista, considerado não ortodoxo por não aceitar a autoridade dos Vedas.

Na filosofia budista, surgiram teorias atómicas em duas escolas do budismo Hinayana, mas o ramo mais importante, o Mahayana, considera-as produtos ilusórios de avidya. Assim declara Ashvaghosha:

> **Quando dividimos uma matéria grosseira, ou composta, podemos reduzi-la a átomos. Mas, como o átomo também pode ser dividido, todas as formas de existência material, grosseiras ou subtis, não são senão a sombra da diferenciação, e não podemos atribuir-lhes qualquer grau de realidade absoluta ou independente.**[12]

As principais escolas do misticismo oriental concordam, assim, com a perspetiva da filosofia de bootstrap de que o universo é um todo interligado, no qual nenhuma parte é mais fundamental do que outra, de modo que as propriedades de cada parte são determinadas pelas de todas as restantes. Neste sentido, poderíamos dizer que cada parte «contém» todas as outras. De facto, uma visão de inclusão recíproca parece ser característica da experiência mística da natureza. Nas palavras de Sri Aurobindo:

> **Para o sentido supramental, nada é realmente finito; ele assenta num sentimento do todo em cada um e de cada um no todo.**[13]

Esta noção de «todo em cada um e cada um no todo» encontrou o seu desenvolvimento mais amplo na escola Avatamsaka do

budismo Mahayana,* frequentemente considerada o culminar do pensamento budista. Baseia-se no Avatamsaka Sutra, que, segundo a tradição, teria sido proferido pelo Buda enquanto se encontrava em profunda meditação após o seu Despertar.

Este volumoso sutra, que até agora não foi traduzido para nenhuma língua ocidental, descreve pormenorizadamente a perceção do mundo no estado iluminado de consciência, quando

> **«os contornos sólidos da individualidade se dissolvem e o sentimento de finitude deixa de nos oprimir».**[14]

Na sua parte final, chamada Gandavyuha, conta a história de um jovem peregrino, Sudhana, e apresenta uma descrição particularmente viva da sua experiência mística do universo.

Este surge-lhe como uma rede perfeita de relações mútuas, na qual todas as coisas e acontecimentos interagem de tal maneira que cada um contém, em si mesmo, todos os outros. A passagem seguinte do sutra, parafraseada por D. T. Suzuki, recorre à imagem de uma torre magnificamente ornamentada para transmitir a experiência de Sudhana:

> **A Torre é tão vasta e espaçosa como o próprio céu. O chão está pavimentado com inúmeras pedras preciosas de todas as espécies e, no seu interior, existem inúmeros palácios, pórticos, janelas,**

* Ver a escola Avatamsaka no Capítulo 6, p. 162.

> **escadarias, balaustradas e passagens, todos feitos dos sete tipos de gemas preciosas [...].**
>
> **E dentro desta Torre, espaçosa e primorosamente ornamentada, existem também centenas de milhares [...] de torres, cada uma delas tão requintadamente ornamentada como a própria Torre principal e tão espaçosa como o céu. Todas estas torres, em número incalculável, não se impedem umas às outras de maneira alguma; cada uma preserva a sua existência individual em perfeita harmonia com todas as restantes. Nada impede que uma torre se funda com todas as outras, individual e coletivamente; reina um estado de perfeita interpenetração e, ao mesmo tempo, de perfeita ordem. Sudhana, o jovem peregrino, vê-se em todas as torres e também em cada torre individual, onde tudo está contido no um e cada um contém tudo.**[15]

A Torre desta passagem é, naturalmente, uma metáfora do próprio universo, e a perfeita fusão recíproca das suas partes é conhecida no budismo Mahayana como «interpenetração». O Avatamsaka esclarece que esta interpenetração é uma inter-relação essencialmente dinâmica, que ocorre não só no espaço, mas também no tempo. Como já foi mencionado,* considera-se que o próprio espaço e o próprio tempo se interpenetram.

A experiência de interpenetração no estado de iluminação pode ser vista como uma visão mística da situação completa de bootstrap, em que todos os fenómenos do universo estão harmoniosamente interligados. Nesse estado de consciência, transcende-se o domínio do intelecto, e as explicações causais

* Ver o Capítulo 12, p. 293/94.

tornam-se desnecessárias, sendo substituídas pela experiência direta da interdependência de todas as coisas e acontecimentos.

O conceito budista de interpenetração vai, portanto, muito além de qualquer teoria científica de bootstrap. Ainda assim, existem na física moderna modelos de partículas subatómicas baseados nessa hipótese que apresentam paralelos extraordinários com as perspetivas do budismo Mahayana.

Quando a ideia de bootstrap é formulada num contexto científico, tem de ser limitada e aproximada. A sua principal aproximação consiste em desprezar todas as interações exceto as fortes. Como estas forças são cerca de cem vezes mais intensas do que as eletromagnéticas e muitas ordens de grandeza superiores às interações fracas e gravitacionais, esta aproximação parece razoável.

O bootstrap científico ocupa-se, assim, exclusivamente das partículas que interagem fortemente, ou hadrões, sendo por isso frequentemente chamado «bootstrap hadrónico». É formulado no enquadramento da teoria da matriz S e procura deduzir, de maneira única, todas as propriedades dos hadrões e das suas interações a partir da exigência de autoconsistência.

As únicas «leis fundamentais» aceites são os princípios gerais da matriz S discutidos no capítulo anterior, exigidos pelos nossos métodos de observação e medição e que constituem, portanto, o enquadramento não questionado de que toda a ciência necessita.

Poderá ser necessário postular temporariamente outras propriedades da matriz S como «princípios fundamentais», mas espera-se que, na teoria completa, surjam como consequências necessárias da autoconsistência. O postulado de que todos os hadrões formam sequências descritas pelo formalismo de Regge* poderá ser um desses casos.

Na linguagem da teoria da matriz S, a hipótese de bootstrap sugere, então, que a matriz S completa e, consequentemente, todas as propriedades dos hadrões podem ser determinadas de maneira única a partir dos princípios gerais, porque só existe uma matriz S possível que seja coerente com os três.

Esta conjetura encontra apoio no facto de os físicos nunca terem estado perto de construir um modelo matemático que satisfaça os três princípios gerais. Se a única matriz S coerente for aquela que descreve todas as propriedades e interações dos hadrões, como pressupõe a hipótese de bootstrap, torna-se compreensível o insucesso dos físicos na construção de uma matriz S parcial coerente.

As interações das partículas subatómicas são tão complexas que não há qualquer certeza de que alguma vez se consiga construir uma matriz S completa e autoconsistente. Podemos, contudo, imaginar uma série de modelos de menor alcance, parcialmente bem-sucedidos. Cada um destinar-se-ia a abranger apenas uma

* Ver o Capítulo 17, p. 455.

parte da física de partículas, contendo, por isso, parâmetros não explicados que representariam as suas limitações. Mas os parâmetros de um modelo poderiam ser explicados por outro.

Deste modo, um mosaico de modelos interligados poderia abranger gradualmente cada vez mais fenómenos, com precisão crescente, enquanto o número líquido de parâmetros por explicar diminuiria. O adjetivo «bootstrap» nunca é, portanto, adequado a um modelo individual: só pode aplicar-se a uma combinação de modelos mutuamente coerentes, nenhum dos quais é mais fundamental do que os restantes. Como afirma Chew:

> **«Um físico capaz de considerar, sem favoritismo, um número qualquer de modelos diferentes e parcialmente bem-sucedidos é automaticamente um adepto do bootstrap.»**[16]

Já existem vários modelos parciais deste género, que indicam que o programa de bootstrap poderá ser concretizado num futuro não muito distante. No que respeita aos hadrões, o maior desafio para a teoria da matriz S e para o bootstrap sempre foi explicar a estrutura de quarks tão característica das interações fortes.

Até recentemente, a abordagem de bootstrap não conseguia explicar estas regularidades impressionantes, sendo essa a principal razão pela qual a comunidade dos físicos não a levava muito a sério. A maioria preferia trabalhar com o modelo dos quarks, que proporcionava, se não uma explicação coerente, pelo menos uma descrição fenomenológica.

Contudo, a situação alterou-se radicalmente nos últimos seis anos. Vários desenvolvimentos importantes da teoria da matriz S conduziram a um avanço decisivo, que tornou possível deduzir a maioria dos resultados característicos do modelo dos quarks sem necessidade de postular a existência de quarks físicos.* Estes resultados suscitaram grande entusiasmo entre os teóricos da matriz S e poderão obrigar a comunidade científica a reavaliar profundamente a sua atitude perante a abordagem de bootstrap à física subatómica.

A imagem dos hadrões que emerge da teoria de bootstrap é frequentemente resumida na frase provocadora:

> **«Cada partícula consiste em todas as outras partículas.»**

Não devemos, porém, imaginar que cada hadrão contém todos os outros num sentido clássico e estático.

Mais do que se «conterem» mutuamente, os hadrões «implicam-se» uns aos outros no sentido dinâmico e probabilístico da teoria da matriz S. Cada hadrão é um «estado ligado» potencial de todos os conjuntos de partículas que podem interagir para formar o hadrão em causa.** Neste sentido, todos os hadrões são estruturas

---

* Ver o posfácio «A Nova Física Revisitada», p. 506.

** Ver o Capítulo 17, p.443.

compostas cujos componentes são, por sua vez, hadrões, e nenhum é mais elementar do que os restantes.

As forças de ligação que mantêm estas estruturas unidas manifestam-se através da troca de partículas, e as partículas trocadas são novamente hadrões. Cada hadrão desempenha, portanto, três papéis: é uma estrutura composta; pode ser constituinte de outro hadrão; e pode ser trocado entre constituintes, fazendo assim parte das forças que mantêm uma estrutura unida.

O conceito de «cruzamento» é crucial para esta imagem. Cada hadrão é mantido unido por forças associadas à troca de outros hadrões no canal cruzado; cada um destes, por sua vez, é mantido unido por forças para as quais o primeiro hadrão contribui. Assim,

> **«cada partícula ajuda a gerar outras partículas, que, por sua vez, a geram».**[17]

Todo o conjunto de hadrões se gera desta maneira ou, por assim dizer, se ergue pelos seus próprios «atilhos» — os bootstraps.

A ideia é, portanto, que este mecanismo de bootstrap extremamente complexo se determina a si mesmo, isto é, que só existe uma maneira de o realizar. Por outras palavras, só existe um

conjunto autoconsistente possível de hadrões: aquele que encontramos na natureza.

No bootstrap hadrónico, todas as partículas se compõem dinamicamente umas das outras de forma autoconsistente, podendo, nesse sentido, dizer-se que se «contêm» mutuamente. No budismo Mahayana, aplica-se uma noção muito semelhante ao universo inteiro.

Esta rede cósmica de coisas e acontecimentos que se interpenetram é ilustrada no Avatamsaka Sutra pela metáfora da rede de Indra: uma vasta rede de pedras preciosas suspensa sobre o palácio do deus Indra. Nas palavras de Sir Charles Eliot:

> **Diz-se que, no céu de Indra, existe uma rede de pérolas dispostas de tal maneira que, ao olhar para uma, vemos nela refletidas todas as outras. Do mesmo modo, cada objeto do mundo não é apenas ele próprio: implica todos os outros objetos e, na verdade, é tudo o resto. «Em cada partícula de poeira estão presentes Budas sem número.»**[18]

A semelhança desta imagem com a do bootstrap hadrónico é, de facto, impressionante. A metáfora da rede de Indra pode, com justiça, chamar-se o primeiro modelo de bootstrap, criado pelos sábios orientais cerca de 2500 anos antes do início da física de partículas.

Os budistas insistem em que o conceito de interpenetração não é compreensível intelectualmente: tem de ser experimentado por uma mente iluminada, no estado de meditação. Assim escreve D. T. Suzuki:

> **O Buda [no Gandavyuha] já não é aquele que vive num mundo concebível em termos de espaço e tempo. A sua consciência não é a de uma mente comum, que tem de ser regulada pelos sentidos e pela lógica [...]. O Buda do Gandavyuha vive num mundo espiritual com regras próprias.**[19]

Na física moderna, a situação é bastante semelhante. A ideia de cada partícula conter todas as outras é inconcebível no espaço e no tempo habituais. Descreve uma realidade que, tal como a do Buda, tem as suas próprias regras. No caso do bootstrap hadrónico, são as regras da teoria quântica e da teoria da relatividade. O conceito central é o de que as forças que mantêm as partículas unidas são, elas mesmas, partículas trocadas nos canais cruzados.

Este conceito pode receber um significado matemático preciso, mas é quase impossível de visualizar. É uma característica especificamente relativista do bootstrap. Como não temos experiência direta do mundo quadridimensional do espaço-tempo, é extremamente difícil imaginar como uma única partícula pode conter todas as outras e, simultaneamente, ser parte de cada uma delas. Contudo, esta é precisamente a perspetiva do Mahayana:

> **Quando o um é colocado perante todos os outros, vê-se que os permeia a todos e, ao mesmo tempo, os abraça a todos em si mesmo.**[20]

A ideia de cada partícula conter todas as outras não surgiu apenas no misticismo oriental, mas também no pensamento místico ocidental. Está implícita, por exemplo, nos célebres versos de William Blake:

> **Ver um mundo num grão de areia**
> **E um céu numa flor silvestre,**
> **Segurar o infinito na palma da mão**
> **E a eternidade numa hora.**

Também aqui uma visão mística conduziu a uma imagem do tipo bootstrap: se o poeta vê o mundo num grão de areia, o físico moderno vê o mundo num hadrão.

Uma imagem semelhante surge na filosofia de Leibniz, que considerava o mundo constituído por substâncias fundamentais chamadas «mónadas», cada uma das quais refletia o universo inteiro. Isto conduziu-o a uma conceção da matéria com semelhanças com o budismo Mahayana e com o bootstrap hadrónico.* Na sua Monadologia, Leibniz escreve:

> **Cada porção de matéria pode ser concebida como um jardim cheio de plantas e como um lago cheio de peixes. Mas cada ramo da planta, cada membro do animal e cada gota dos seus humores são também um jardim ou um lago desse género.**[21]

É interessante notar que a semelhança destes termos com as passagens do Avatamsaka Sutra anteriormente citadas poderá resultar de uma influência budista efetiva sobre Leibniz. Joseph Needham argumentou[22] que Leibniz conhecia bem o pensamento e a cultura chineses através de traduções que recebia de missionários

* Os paralelos entre a conceção da matéria de Leibniz e o bootstrap hadrónico foram recentemente discutidos em G. Gale, «Chew's Monadology», Journal of the History of Ideas, vol. 35, abril–junho de 1974, pp. 339–348.

jesuítas, e que a sua filosofia poderá ter sido inspirada pela escola neoconfucionista de Chu Hsi, com a qual estava familiarizado.

Esta escola, porém, tem uma das suas raízes no budismo Mahayana e, em particular, na escola Avatamsaka, ou Hua-yen em chinês, desse ramo do budismo. Needham menciona, aliás, explicitamente a parábola da rede de pérolas de Indra a propósito das mónadas de Leibniz.

Uma comparação mais pormenorizada da noção leibniziana de «relações de espelhamento» entre mónadas com a ideia de interpenetração no Mahayana parece mostrar, contudo, que ambas são bastante diferentes e que a conceção budista da matéria se aproxima muito mais do espírito da física moderna do que a de Leibniz.

A principal diferença entre a Monadologia e a perspetiva budista parece ser o facto de as mónadas leibnizianas serem substâncias fundamentais, vistas como os constituintes últimos da matéria. Leibniz inicia a Monadologia com as palavras:

> **«A mónada de que aqui falaremos não é senão uma substância simples, que entra nos compostos; simples, isto é, sem partes.»**

E prossegue:

> **«Estas mónadas são os verdadeiros átomos da natureza e, numa palavra, os elementos de todas as coisas.»**[23]

Uma perspetiva deste tipo, assente em fundamentos últimos, contrasta fortemente com a filosofia de bootstrap e é também inteiramente diferente da visão do budismo Mahayana, que rejeita todas as entidades ou substâncias fundamentais. Este modo de pensar de Leibniz reflete-se igualmente na sua conceção das forças, que considera leis

> **«impressas por decreto divino»**

e essencialmente diferentes da matéria.

> **«As forças e a atividade»,**

escreve,

> **«não podem ser estados de uma coisa meramente passiva, como a matéria.»**[24]

Também isto contraria as perspetivas da física moderna e do misticismo oriental.

Quanto à inter-relação efetiva entre as mónadas, a principal diferença em relação ao bootstrap hadrónico parece ser que as mónadas não interagem: «não têm janelas», como diz Leibniz, e limitam-se a refletir-se umas às outras. No bootstrap hadrónico, pelo contrário, tal como no Mahayana, a ênfase recai na interação, ou «interpenetração», de todas as partículas.

Além disso, as conceções da matéria do bootstrap e do Mahayana são ambas conceções de «espaço-tempo», que veem os objetos como acontecimentos cuja interpenetração mútua só pode ser compreendida se reconhecermos que também o espaço e o tempo se interpenetram.

A teoria de bootstrap dos hadrões está longe de estar concluída, e as dificuldades da sua formulação continuam a ser consideráveis. Ainda assim, os físicos já começaram a estender a abordagem autoconsistente para além da descrição das partículas que interagem fortemente.

Essa extensão terá, por fim, de ultrapassar o contexto atual da teoria da matriz S, desenvolvida especificamente para descrever as interações fortes. Será necessário encontrar um enquadramento mais geral, no qual alguns dos conceitos hoje aceites sem explicação terão de ser submetidos ao bootstrap, isto é, deduzidos da autoconsistência global. Segundo Geoffrey Chew, entre eles poderão estar a nossa conceção do espaço-tempo macroscópico e, talvez, até a da consciência humana:

> **Levada ao seu extremo lógico, a conjetura de bootstrap implica que a existência da consciência, juntamente com todos os outros aspetos da natureza, é necessária à autoconsistência do todo.**[25]

Esta perspetiva encontra-se, uma vez mais, em perfeita harmonia com as tradições místicas orientais, que sempre consideraram a consciência parte integrante do universo. Na visão oriental, os seres humanos, tal como todas as outras formas de

vida, são partes de um todo orgânico inseparável. A sua inteligência implica, portanto, que também o todo seja inteligente. O ser humano é visto como a prova viva da inteligência cósmica: em nós, o universo repete incessantemente a sua capacidade de produzir formas através das quais toma consciência de si mesmo.

Na física moderna, a questão da consciência surgiu a propósito da observação dos fenómenos atómicos. A teoria quântica tornou claro que estes fenómenos só podem ser compreendidos como elos de uma cadeia de processos cujo termo se encontra na consciência do observador humano.* Nas palavras de Eugene Wigner:

> **«Não foi possível formular as leis da [teoria quântica] de maneira inteiramente coerente sem referência à consciência.»**[26]

A formulação pragmática da teoria quântica que os cientistas utilizam no seu trabalho não faz referência explícita à sua consciência. Wigner e outros físicos defenderam, contudo, que a inclusão explícita da consciência humana poderá ser um aspeto essencial das futuras teorias da matéria.

Tal desenvolvimento abriria possibilidades estimulantes de interação direta entre a física e o misticismo oriental. A compreensão da própria consciência e da sua relação com o resto do universo é o ponto de partida de toda a experiência mística. Os místicos orientais exploraram diversos modos de consciência ao

* Ver o Capítulo 10, p. 231.

longo de séculos, e as conclusões a que chegaram diferem muitas vezes radicalmente das ideias predominantes no Ocidente. Se os físicos quiserem realmente incluir a natureza da consciência humana no seu domínio de investigação, o estudo das ideias orientais poderá oferecer-lhes novas perspetivas estimulantes.

Assim, a futura ampliação do bootstrap hadrónico, com a eventual necessidade de aplicar o bootstrap ao espaço-tempo e à consciência humana, abre possibilidades sem precedentes, que poderão ultrapassar o enquadramento convencional da ciência:

> **Um passo futuro deste tipo seria imensamente mais profundo do que qualquer coisa abrangida pelo bootstrap hadrónico; seríamos obrigados a enfrentar o esquivo conceito de observação e, possivelmente, até o de consciência. A nossa luta atual com o bootstrap hadrónico poderá, assim, ser apenas uma antecipação de uma forma inteiramente nova de atividade intelectual humana, que não só ficará fora da física, como nem sequer poderá ser descrita como «científica».**[27]

Para onde nos conduz, então, a ideia de bootstrap? Naturalmente, ninguém o sabe, mas é fascinante especular sobre o seu destino último. Podemos imaginar uma rede de teorias futuras que abranja um conjunto cada vez maior de fenómenos naturais, com precisão crescente: uma rede com cada vez menos aspetos por explicar, cuja estrutura decorra, em medida cada vez maior, da coerência mútua das suas partes.

Um dia, alcançar-se-á um ponto em que os únicos aspetos não explicados dessa rede de teorias serão os elementos do enquadramento científico. Para além desse ponto, a teoria deixará

de poder exprimir os seus resultados em palavras ou conceitos racionais, ultrapassando, assim, a ciência. Em vez de uma teoria de bootstrap da natureza, tornar-se-á uma visão de bootstrap da natureza, transcendendo os domínios do pensamento e da linguagem, saindo da ciência e entrando no mundo de acintya, o impensável.

O conhecimento contido numa visão desse tipo será completo, mas não poderá ser comunicado por palavras. Será o conhecimento que Lao Tzu tinha em mente, há mais de dois mil anos, quando afirmou:

> **Aquele que sabe não fala,**
> **Aquele que fala não sabe.**[28]

Epílogo

As filosofias religiosas orientais ocupam-se de um conhecimento místico intemporal, situado para além do raciocínio e que não pode ser adequadamente expresso por palavras. A relação deste conhecimento com a física moderna é apenas um dos seus muitos aspetos e, tal como os restantes, não pode ser demonstrada de forma conclusiva: tem de ser experimentada de maneira direta e intuitiva.

O que espero ter conseguido, em alguma medida, não é, portanto, uma demonstração rigorosa. Espero, antes, ter dado ao leitor a oportunidade de reviver, de tempos a tempos, uma experiência que se tornou, para mim, uma fonte contínua de alegria e inspiração: a de que as principais teorias e modelos da física moderna conduzem a uma visão do mundo internamente coerente e em perfeita harmonia com as perspetivas do misticismo oriental.

Para quem experimentou esta harmonia, o significado dos paralelos entre as visões do mundo dos físicos e dos místicos não deixa margem para dúvidas. A questão interessante não é, então, saber se esses paralelos existem, mas porquê e, além disso, o que implica a sua existência.

Na tentativa de compreender o mistério da Vida, homens e mulheres seguiram muitas abordagens diferentes. Entre elas encontram-se os caminhos do cientista e do místico, mas há muitos outros: os dos poetas, das crianças, dos palhaços, dos xamãs, para

mencionar apenas alguns. Estes caminhos deram origem a descrições diferentes do mundo, verbais e não verbais, que salientam aspetos distintos. Todas são válidas e úteis no contexto em que surgiram. Contudo, todas são apenas descrições, ou representações, da realidade e, por isso, são limitadas. Nenhuma pode oferecer uma imagem completa do mundo.

A visão mecanicista do mundo da física clássica é útil para descrever os fenómenos físicos que encontramos na vida quotidiana e, portanto, adequada para lidar com o nosso ambiente diário. Revelou-se também extremamente bem-sucedida como base da tecnologia. É, porém, inadequada para descrever os fenómenos físicos do domínio submicroscópico.

Em oposição à conceção mecanicista do mundo encontra-se a visão dos místicos, que pode resumir-se na palavra «orgânica», pois considera todos os fenómenos do universo partes integrantes de um todo harmonioso e inseparável. Nas tradições místicas, esta visão do mundo emerge de estados meditativos de consciência. Ao descreverem o mundo, os místicos utilizam conceitos derivados dessas experiências não habituais, em geral inadequados a uma descrição científica dos fenómenos macroscópicos. A visão orgânica do mundo não oferece vantagens para construir máquinas nem para resolver os problemas técnicos de um mundo sobrepovoado.

Na vida quotidiana, portanto, tanto a visão mecanicista como a visão orgânica do universo são válidas e úteis: uma para a ciência e a tecnologia; a outra para uma vida espiritual equilibrada e plena. Porém, para além das dimensões do nosso ambiente diário, os

conceitos mecanicistas perdem validade e têm de ser substituídos por conceitos orgânicos muito semelhantes aos utilizados pelos místicos. Esta é a experiência essencial da física moderna que constituiu o tema da nossa discussão.

A física do século XX mostrou que os conceitos da visão orgânica do mundo, embora de reduzido valor para a ciência e a tecnologia à escala humana, se tornam extremamente úteis aos níveis atómico e subatómico. A visão orgânica parece, portanto, mais fundamental do que a mecanicista. A física clássica, baseada nesta última, pode ser deduzida da teoria quântica, que implica a primeira; o inverso, porém, não é possível.

Isto parece fornecer uma primeira indicação da razão pela qual podemos esperar semelhanças entre as visões do mundo da física moderna e do misticismo oriental. Ambas surgem quando investigamos a natureza essencial das coisas: os domínios mais profundos da matéria, na física; os domínios mais profundos da consciência, no misticismo. É então que descobrimos uma realidade diferente, por detrás da aparência mecanicista superficial da vida quotidiana.

Os paralelos entre as perspetivas dos físicos e dos místicos tornam-se ainda mais plausíveis quando recordamos as outras semelhanças que existem, apesar das diferentes abordagens. Desde logo, o seu método é inteiramente empírico. Os físicos obtêm o seu conhecimento através de experiências; os místicos, através de intuições meditativas. Em ambos os casos, trata-se de

observações, reconhecidas nos dois domínios como a única fonte de conhecimento.

O objeto de observação é, naturalmente, muito diferente. O místico olha para dentro e explora a sua consciência nos seus vários níveis, que incluem o corpo como manifestação física da mente. A experiência do próprio corpo é, de facto, salientada em muitas tradições orientais e frequentemente considerada a chave da experiência mística do mundo.

Quando estamos saudáveis, não sentimos partes separadas do nosso corpo: temos consciência dele como um todo integrado, e essa consciência gera um sentimento de bem-estar e felicidade. De forma semelhante, o místico tem consciência da totalidade do cosmos, experimentada como uma extensão do corpo. Nas palavras do Lama Govinda:

> **[…] Para o ser humano iluminado, cuja consciência abraça o universo, este torna-se o seu «corpo», enquanto o seu corpo físico se torna manifestação da Mente Universal, a sua visão interior expressão da realidade suprema e a sua palavra expressão da verdade eterna e do poder mântrico.**[1]

Ao contrário do místico, o físico inicia a investigação da natureza essencial das coisas estudando o mundo material. Ao penetrar em domínios cada vez mais profundos da matéria, tomou consciência da unidade essencial de todas as coisas e acontecimentos. Mais ainda: aprendeu que ele próprio e a sua consciência são parte integrante dessa unidade.

Assim, o místico e o físico chegam à mesma conclusão, um partindo do domínio interior, o outro do mundo exterior. A harmonia entre as suas perspetivas confirma a antiga sabedoria indiana de que Brahman, a realidade última exterior, é idêntico a Atman, a realidade interior.

Outra semelhança entre os caminhos do físico e do místico é o facto de as suas observações ocorrerem em domínios inacessíveis aos sentidos comuns. Na física moderna, são os domínios do mundo atómico e subatómico; no misticismo, são estados de consciência não habituais, nos quais o mundo sensorial é transcendido.

Os místicos falam frequentemente da experiência de dimensões superiores, nas quais as impressões de diferentes centros de consciência se integram num todo harmonioso. Uma situação semelhante existe na física moderna, que desenvolveu um formalismo quadridimensional de «espaço-tempo», unificando conceitos e observações pertencentes a categorias diferentes no mundo tridimensional habitual. Em ambos os domínios, as experiências multidimensionais transcendem o mundo sensorial, sendo, por isso, quase impossíveis de exprimir em linguagem corrente.

Vemos, assim, que os caminhos do físico moderno e do místico oriental, aparentemente sem relação à primeira vista, têm, na realidade, muito em comum. Não deve, portanto, surpreender-nos que existam paralelos marcantes nas suas descrições do mundo.

Uma vez aceites estes paralelos entre a ciência ocidental e o misticismo oriental, surgem várias questões sobre as suas implicações. Estará a ciência moderna, com toda a sua maquinaria sofisticada, apenas a redescobrir uma sabedoria antiga, conhecida pelos sábios orientais há milhares de anos? Deverão, por isso, os físicos abandonar o método científico e começar a meditar? Ou poderá existir uma influência recíproca entre ciência e misticismo, talvez até uma síntese?

Penso que a resposta a todas estas perguntas deve ser negativa. Vejo a ciência e o misticismo como duas manifestações complementares da mente humana, das suas faculdades racionais e intuitivas. O físico moderno experimenta o mundo através de uma especialização extrema da mente racional; o místico, através de uma especialização extrema da mente intuitiva. As duas abordagens são inteiramente diferentes e envolvem muito mais do que uma determinada visão do mundo físico.

São, contudo, complementares, como aprendemos a dizer na física. Nenhuma está contida na outra, nem pode ser reduzida à outra; ambas são necessárias, completando-se para uma compreensão mais plena do mundo. Parafraseando um antigo ditado chinês, os místicos compreendem as raízes do Tao, mas não os seus ramos; os cientistas compreendem os ramos, mas não as raízes. A ciência não precisa do misticismo, e o misticismo não precisa da ciência; mas os homens e as mulheres precisam de ambos.

A experiência mística é necessária para compreender a natureza mais profunda das coisas, e a ciência é essencial à vida moderna. O que precisamos, portanto, não é de uma síntese, mas de uma interação dinâmica entre a intuição mística e a análise científica.

Até agora, isto não foi conseguido na nossa sociedade. A nossa atitude é atualmente demasiado yang, para voltar à terminologia chinesa: demasiado racional, masculina e agressiva. Os próprios cientistas são um exemplo típico. Embora as suas teorias conduzam a uma visão do mundo semelhante à dos místicos, é impressionante como isso pouco afetou a atitude da maioria dos cientistas.

No misticismo, o conhecimento não pode separar-se de um determinado modo de vida, que se torna a sua manifestação viva. Adquirir conhecimento místico significa passar por uma transformação; poderíamos mesmo dizer que o conhecimento é a transformação. O conhecimento científico, pelo contrário, pode muitas vezes permanecer abstrato e teórico.

Assim, a maioria dos físicos atuais não parece reconhecer as implicações filosóficas, culturais e espirituais das suas teorias. Muitos apoiam ativamente uma sociedade ainda assente numa visão mecanicista e fragmentada do mundo, sem verem que a ciência aponta para além dessa visão, para uma unidade do universo que inclui não só o nosso ambiente natural, mas também os nossos semelhantes.

Acredito que a visão do mundo implicada pela física moderna é incompatível com a nossa sociedade atual, que não reflete a inter-relação harmoniosa observada na natureza. Para alcançar esse estado de equilíbrio dinâmico, será necessária uma estrutura social e económica radicalmente diferente: uma revolução cultural no verdadeiro sentido da palavra.

A sobrevivência de toda a nossa civilização poderá depender da nossa capacidade de realizar essa mudança. Dependerá, em última análise, da nossa capacidade de adotar algumas das atitudes yin do misticismo oriental: experimentar a totalidade da natureza e a arte de viver em harmonia com ela.

A Nova Física Revisitada

Posfácio à Segunda Edição

Desde a primeira publicação de O Tao da Física, registaram-se progressos consideráveis em diversas áreas da física subatómica. Como afirmei no prefácio desta edição, os novos desenvolvimentos não invalidaram nenhum dos paralelos com o pensamento oriental; pelo contrário, reforçaram-nos. Neste posfácio, gostaria de discutir os resultados mais relevantes da nova investigação em física atómica e subatómica até ao verão de 1982.

Um dos paralelos mais fortes com o misticismo oriental foi o reconhecimento de que os constituintes da matéria e os fenómenos fundamentais em que participam estão todos interligados: não podem ser compreendidos como entidades isoladas, mas apenas como partes integrantes de um todo unificado.

A noção de uma «interligação quântica» fundamental, que analisei em pormenor no Capítulo 10, foi salientada por Bohr e Heisenberg ao longo da história da teoria quântica. Contudo, recebeu uma atenção renovada nas últimas duas décadas, quando os físicos começaram a compreender que o universo poderá, de facto, estar interligado de maneiras muito mais subtis do que se pensava.

O novo tipo de interligação que recentemente emergiu não só reforça as semelhanças entre as perspetivas dos físicos e dos místicos, como suscita a intrigante possibilidade de relacionar a física subatómica com a psicologia junguiana e, talvez, até com a parapsicologia. Além disso, lança nova luz sobre o papel fundamental da probabilidade na física quântica.

Na física clássica, utiliza-se a probabilidade sempre que se desconhecem os pormenores envolvidos num acontecimento. Por exemplo, quando lançamos dados, poderíamos, em princípio, prever o resultado se conhecêssemos todos os pormenores mecânicos da operação: a composição exata dos dados, a superfície sobre a qual caem, e assim por diante. Estes pormenores chamam-se variáveis locais, porque se encontram nos próprios objetos envolvidos.

Na física subatómica, as variáveis locais são representadas por ligações entre acontecimentos espacialmente separados, estabelecidas através de sinais — partículas e redes de partículas — que respeitam as leis habituais da separação espacial. Por exemplo, nenhum sinal pode ser transmitido a uma velocidade superior à da luz. Contudo, para além destas ligações locais, emergiram recentemente outras, não locais: ligações instantâneas que, atualmente, não podem ser previstas de maneira matematicamente precisa.

Alguns físicos consideram estas ligações não locais a própria essência da realidade quântica. Na teoria quântica, os acontecimentos individuais nem sempre têm uma causa bem

definida. Por exemplo, a passagem de um eletrão de uma órbita atómica para outra, ou o decaimento de uma partícula subatómica, podem ocorrer espontaneamente, sem que um acontecimento isolado os provoque.

Nunca podemos prever quando e como ocorrerá um fenómeno deste tipo; só podemos prever a sua probabilidade. Isto não significa que os acontecimentos atómicos ocorram de maneira inteiramente arbitrária: significa apenas que não são produzidos por causas locais. O comportamento de qualquer parte é determinado pelas suas ligações não locais ao todo. Como não conhecemos essas ligações com precisão, temos de substituir a noção clássica restrita de causa e efeito pelo conceito mais amplo de causalidade estatística.

As leis da física atómica são leis estatísticas, segundo as quais as probabilidades dos acontecimentos atómicos são determinadas pela dinâmica do sistema inteiro. Enquanto, na física clássica, as propriedades e o comportamento das partes determinam os do todo, na física quântica a situação inverte-se: é o todo que determina o comportamento das partes.

A probabilidade é, portanto, utilizada na física clássica e na física quântica por razões semelhantes. Em ambos os casos existem variáveis «ocultas», desconhecidas, e essa ignorância impede-nos de fazer previsões exatas. Há, contudo, uma diferença crucial. Enquanto as variáveis ocultas da física clássica são mecanismos locais, as da física quântica são não locais: ligações instantâneas ao universo como um todo.

No mundo macroscópico quotidiano, as ligações não locais têm uma importância relativamente pequena, pelo que podemos falar de objetos separados e formular as leis do seu comportamento em termos de certezas. Mas, à medida que passamos a dimensões menores, a influência das ligações não locais aumenta, as certezas dão lugar a probabilidades e torna-se cada vez mais difícil separar qualquer parte do universo do todo.

A existência de ligações não locais e o papel fundamental da probabilidade que daí resulta foram algo que Einstein nunca conseguiu aceitar. Este foi o tema do seu debate histórico com Bohr, na década de 1920, durante o qual Einstein exprimiu a sua oposição à interpretação de Bohr da teoria quântica através da célebre metáfora:

> **«Deus não joga aos dados.»**[1]

No final do debate, Einstein teve de admitir que a teoria quântica, tal como era interpretada por Bohr e Heisenberg, constituía um sistema de pensamento coerente. Contudo, permaneceu convencido de que, um dia, seria encontrada uma interpretação determinista em termos de variáveis ocultas locais.

A essência do desacordo de Einstein com Bohr residia na sua firme crença numa realidade exterior composta por elementos independentes e espacialmente separados. Na tentativa de demonstrar a incoerência da interpretação de Bohr, Einstein concebeu uma experiência mental que ficou conhecida como experiência de Einstein–Podolsky–Rosen, ou EPR.[2]

Três décadas mais tarde, John Bell deduziu um teorema, baseado na experiência EPR, que demonstra que a existência de variáveis ocultas locais é incompatível com as previsões estatísticas da teoria quântica.[3] O teorema de Bell desferiu um golpe devastador na posição de Einstein, mostrando que a conceção da realidade como um conjunto de partes separadas, unidas por ligações locais, é incompatível com a teoria quântica.

Nos últimos anos, a experiência EPR foi repetidamente discutida e analisada pelos físicos interessados na interpretação da teoria quântica, porque se presta particularmente bem a mostrar a diferença entre os conceitos clássicos e quânticos.[4] Para o nosso propósito, bastará descrever uma versão simplificada, que envolve dois eletrões com spin e se baseia na análise aprofundada de David Bohm.[5]

Para compreender o essencial da situação, é necessário conhecer algumas propriedades do spin do eletrão. A imagem clássica de uma bola de ténis a rodar não é inteiramente adequada à descrição de uma partícula subatómica com spin. Num certo sentido, o spin é uma rotação em torno do próprio eixo da partícula, mas, como sempre acontece na física subatómica, este conceito clássico é limitado.

No caso do eletrão, o spin está restrito a dois valores: a sua intensidade é sempre a mesma, mas o eletrão pode rodar num sentido ou no outro, no sentido dos ponteiros do relógio ou no sentido contrário, para um dado eixo de rotação. Os físicos

designam frequentemente estes dois valores por «para cima» e «para baixo».

A propriedade crucial de um eletrão com spin, que não pode ser compreendida em termos clássicos, é o facto de o seu eixo de rotação nem sempre poder ser definido com certeza. Tal como os eletrões apresentam tendências para existir em certos lugares, também apresentam tendências para rodar em torno de certos eixos.

Contudo, sempre que se efetua uma medição relativamente a qualquer eixo de rotação, verifica-se que o eletrão roda num sentido ou no outro em torno desse eixo. Por outras palavras, o ato de medição confere à partícula um eixo de rotação definido. Antes da medição, porém, não podemos, em geral, afirmar que ela roda em torno de um eixo definido: possui apenas uma determinada tendência, ou potencialidade, para o fazer.

Com esta compreensão do spin do eletrão, podemos agora examinar a experiência EPR e o teorema de Bell. A experiência envolve dois eletrões com spins em sentidos opostos, de modo que o spin total seja nulo. Existem vários métodos experimentais para colocar dois eletrões nesse estado, no qual os sentidos dos spins individuais não são conhecidos com certeza, mas o spin combinado dos dois eletrões é inequivocamente nulo.

Suponhamos agora que se faz com que estas duas partículas se afastem através de um processo que não afete os seus spins. À

medida que se afastam em direções opostas, o spin combinado continua a ser nulo; quando já estão separadas por uma grande distância, medem-se os seus spins individuais. Um aspeto importante da experiência é o facto de a distância entre as partículas poder ser arbitrariamente grande: uma pode estar em Nova Iorque e a outra em Paris, ou uma na Terra e a outra na Lua.

Suponhamos que o spin da partícula 1 é medido segundo um eixo vertical e que se obtém «para cima». Como o spin combinado das duas partículas é nulo, esta medição diz-nos que o spin da partícula 2 tem de ser «para baixo». Assim, medindo o spin da partícula 1, obtemos uma medição indireta do spin da partícula 2, sem a perturbar de maneira alguma.

O aspeto paradoxal da experiência EPR resulta da liberdade do observador para escolher o eixo de medição. A teoria quântica diz-nos que os spins dos dois eletrões, em relação a qualquer eixo, serão sempre opostos; antes da medição, porém, existem apenas como tendências ou potencialidades. Quando o observador escolhe um eixo definido e efetua a medição, esse ato confere às duas partículas um eixo de rotação definido.

O ponto crucial é que podemos escolher o eixo de medição no último instante, quando os eletrões já se encontram muito afastados. No momento em que medimos a partícula 1, a partícula 2, que pode estar a milhares de quilómetros de distância, adquire um spin definido segundo o eixo escolhido. Como sabe a partícula 2 qual foi o eixo que escolhemos? Não há tempo para receber essa informação através de qualquer sinal convencional.

Este é o cerne da experiência EPR e o ponto em que Einstein discordava de Bohr. Segundo Einstein, como nenhum sinal pode viajar mais depressa do que a luz, é impossível que a medição realizada num eletrão determine instantaneamente o sentido do spin de outro eletrão a milhares de quilómetros de distância.

Segundo Bohr, o sistema das duas partículas é um todo indivisível, mesmo quando elas estão separadas por uma grande distância; não pode ser analisado em termos de partes independentes. Embora os dois eletrões estejam muito afastados no espaço, permanecem unidos por ligações instantâneas e não locais. Estas ligações não são sinais no sentido einsteiniano: transcendem as nossas noções convencionais de transferência de informação.

O teorema de Bell apoia a posição de Bohr e demonstra rigorosamente que a conceção de Einstein da realidade física como um conjunto de elementos independentes e espacialmente separados é incompatível com as leis da teoria quântica. Por outras palavras, o teorema de Bell demonstra que o universo é fundamentalmente interligado, interdependente e inseparável. Como afirmou o sábio budista Nagarjuna há centenas de anos:*

* Ver o Capítulo 10, p. 228.

> **As coisas adquirem o seu ser e a sua natureza por dependência mútua e nada são em si mesmas.**

A investigação atual em física procura unificar as nossas duas teorias fundamentais, a teoria quântica e a teoria da relatividade, numa teoria completa das partículas subatómicas. Ainda não conseguimos formulá-la, mas dispomos de várias teorias e modelos parciais que descrevem muito bem certos aspetos dos fenómenos subatómicos.

Existem atualmente dois tipos diferentes de teorias «quântico-relativistas» na física de partículas, bem-sucedidos em domínios distintos. O primeiro é um conjunto de teorias quânticas de campos, analisadas no Capítulo 14, aplicáveis às interações eletromagnéticas e fracas. O segundo é a teoria da matriz S, apresentada no Capítulo 17, que tem tido êxito na descrição das interações fortes.

Um dos grandes problemas ainda por resolver é a unificação da teoria quântica e da relatividade geral numa teoria quântica da gravidade. Embora o desenvolvimento recente das teorias de «supergravidade»[6] possa representar um passo nessa direção, ainda não foi encontrada uma teoria satisfatória.

As teorias quânticas de campos, descritas em pormenor no Capítulo 14, baseiam-se no conceito de campo quântico, uma entidade fundamental que pode existir numa forma contínua, como campo, e numa forma descontínua, como partículas, estando diferentes tipos de partículas associados a campos diferentes. Estas

teorias substituíram a noção de partículas como objetos fundamentais pela noção muito mais subtil de campos quânticos. Ainda assim, ocupam-se de entidades fundamentais e são, nesse sentido, teorias semiclássicas, que não exprimem plenamente a natureza quântico-relativista da matéria subatómica.

A eletrodinâmica quântica, a primeira das teorias quânticas de campos, deve o seu êxito ao facto de as interações eletromagnéticas serem muito fracas, permitindo conservar, em larga medida, a distinção clássica entre matéria e forças de interação.* O mesmo se aplica às teorias de campos que tratam das interações fracas.

Na verdade, esta semelhança entre interações eletromagnéticas e fracas foi recentemente muito reforçada pelo desenvolvimento de um novo tipo de teorias quânticas de campos, chamadas teorias de gauge, que permitiram unificar ambas as interações. Na teoria de campo unificada resultante, conhecida como teoria de Weinberg–Salam em homenagem aos seus dois principais autores, Steven Weinberg e Abdus Salam, as duas interações permanecem distintas, mas tornam-se matematicamente entrelaçadas, sendo designadas, em conjunto, por interações «eletrofracas».[7]

A abordagem das teorias de gauge foi também estendida às interações fortes através do desenvolvimento de uma teoria de campos chamada cromodinâmica quântica, ou QCD — *Quantum*

* Em termos técnicos, isto significa que a constante de acoplamento eletromagnético é tão pequena que um desenvolvimento perturbativo fornece uma excelente aproximação.

Chromodynamics. Muitos físicos procuram agora alcançar uma «grande unificação» da QCD — com a teoria de Weinberg–Salam.[8] Contudo, a utilização das teorias de gauge para descrever partículas que interagem fortemente é bastante problemática.

As interações entre hadrões são tão intensas que a distinção entre partículas e forças se torna difusa. Por isso, a QCD não tem sido muito bem-sucedida na descrição dos processos que envolvem partículas com interação forte. Só funciona para alguns fenómenos muito específicos — os chamados processos de dispersão «profundamente inelástica» — nos quais, por razões ainda mal compreendidas, as partículas se comportam um pouco como objetos clássicos.

Apesar de grandes esforços, os físicos não conseguiram aplicar a QCD para além deste domínio restrito. As esperanças iniciais de que fornecesse um enquadramento teórico para deduzir as propriedades das partículas que interagem fortemente não se concretizaram até agora.[9]

A cromodinâmica quântica representa a formulação matemática atual do modelo dos quarks, apresentado no Capítulo 16. Os campos estão associados aos quarks, e o elemento «cromo» refere-se à propriedade de cor desses campos. Tal como todas as teorias de gauge, a QCD foi construída à imagem da eletrodinâmica quântica, ou QED — *Quantum Electrodynamics*.

Enquanto, na QED, as interações eletromagnéticas são mediadas pela troca de fotões entre partículas com carga, na QCD as interações fortes são mediadas pela troca de «gluões» entre quarks com cor. Estes não são partículas reais, mas uma espécie de quanta que «colam» os quarks para formar mesões e bariões.[10]

Durante a última década, o modelo dos quarks teve de ser consideravelmente ampliado e aperfeiçoado, à medida que se descobriam muitas partículas novas em experiências de colisão com energias cada vez mais elevadas. Como foi descrito no Capítulo 16, cada um dos três quarks inicialmente postulados, com os sabores up, down e strange, passou a apresentar-se em três cores. Postulou-se depois um quarto quark, também em três cores, com o sabor charm.

Mais recentemente, acrescentaram-se dois novos sabores ao modelo, designados por t e b, de top e bottom — ou, mais poeticamente, de true e beautiful. Isto eleva o número total de quarks a dezoito: seis sabores e três cores. Não surpreende que alguns físicos tenham considerado pouco atraente este grande número de elementos fundamentais e já tenham sugerido que chegou o momento de pensar em constituintes mais pequenos, «verdadeiramente elementares», dos quais os quarks seriam feitos…

Enquanto prosseguia toda esta atividade de teorização e construção de modelos, os investigadores experimentais continuaram à procura de quarks livres, sem nunca conseguirem detetá-los. Esta ausência persistente tornou-se o principal

problema do modelo dos quarks. No enquadramento da QCD, o fenómeno recebeu o nome de «confinamento dos quarks»: a ideia é que, por alguma razão, os quarks estão permanentemente confinados no interior dos hadrões, pelo que nunca serão vistos. Foram propostos vários mecanismos para explicar esse confinamento, mas, até agora, não foi formulada uma teoria coerente.

É este, portanto, o estado atual do modelo dos quarks: para explicar os padrões observados no espectro dos hadrões, parecem ser necessários pelo menos dezoito quarks e oito gluões; nenhum deles foi alguma vez observado como partícula livre, e a sua existência como constituintes físicos dos hadrões conduziria a graves dificuldades teóricas. Desenvolveram-se vários mecanismos para explicar o seu confinamento permanente, mas nenhum representa uma teoria dinâmica satisfatória. Por sua vez, a QCD, o enquadramento teórico do modelo, só pode aplicar-se a um conjunto muito restrito de fenómenos. Contudo, apesar de todas estas dificuldades, a maioria dos físicos continua agarrada à ideia de elementos constitutivos fundamentais da matéria, tão profundamente enraizada na nossa tradição científica ocidental.

Talvez os desenvolvimentos mais impressionantes da física de partículas tenham ocorrido recentemente na teoria da matriz S e na abordagem de bootstrap, analisadas nos capítulos 17 e 18. Esta abordagem não aceita quaisquer entidades fundamentais, procurando compreender a natureza inteiramente através da sua autoconsistência.

Deixei claro neste livro que considero a filosofia de bootstrap o culminar do pensamento científico atual e salientei também que é a que mais se aproxima do pensamento oriental, tanto na sua filosofia geral como na sua imagem específica da matéria. Ao mesmo tempo, é uma abordagem à física muito difícil, seguida atualmente apenas por uma pequena minoria de físicos.

Para a maioria da comunidade, a filosofia de bootstrap é demasiado estranha aos modos de pensar tradicionais para ser devidamente apreciada, e esta falta de reconhecimento estende-se à teoria da matriz S. É curioso, e muito significativo, que, embora todos os físicos de partículas utilizem os conceitos básicos desta teoria ao analisarem os resultados de experiências de dispersão e ao compará-los com as suas previsões, ainda não tenha sido atribuído um único Prémio Nobel a qualquer dos físicos notáveis que contribuíram para o desenvolvimento da teoria da matriz S nas últimas duas décadas.

O maior desafio para a teoria da matriz S e para o bootstrap sempre foi explicar a estrutura de quarks das partículas subatómicas. Embora a nossa compreensão atual do mundo subatómico exclua a existência de quarks como partículas físicas, não há dúvida de que os hadrões apresentam simetrias de quarks, que qualquer teoria bem-sucedida das interações fortes terá de explicar.

Até recentemente, a abordagem de bootstrap não conseguia explicar estas regularidades impressionantes, mas nos últimos seis anos ocorreu um avanço decisivo na teoria da matriz S. Dele

resultou uma teoria de bootstrap das partículas capaz de explicar a estrutura de quarks observada sem necessidade de postular a existência de quarks físicos. Além disso, a nova teoria esclarece várias questões anteriormente incompreendidas.[11]

Para compreender o essencial deste desenvolvimento, é necessário esclarecer o significado de estrutura de quarks no contexto da teoria da matriz S. Enquanto, no modelo dos quarks, as partículas são essencialmente representadas como bolas de bilhar que contêm bolas de bilhar mais pequenas, a abordagem da matriz S, holística e inteiramente dinâmica, vê-as como padrões de energia interligados num processo universal contínuo: como correlações, ou interligações, entre diversas partes de uma teia cósmica inseparável.

Neste enquadramento, «estrutura de quarks» refere-se ao facto de a transferência de energia e o fluxo de informação nesta rede de acontecimentos seguirem linhas bem definidas, produzindo o caráter binário associado aos mesões e o caráter ternário associado aos bariões. Este é o equivalente dinâmico da afirmação de que os hadrões consistem em quarks. Na teoria da matriz S, não existem entidades distintas nem elementos de construção fundamentais: existe apenas um fluxo de energia com determinados padrões bem definidos.

A questão é, então: como surgem os padrões específicos dos quarks? O elemento central da nova teoria de bootstrap é a noção de ordem como aspeto novo e importante da física de partículas. Neste contexto, ordem significa ordem na interligação dos

processos subatómicos. As reações de partículas podem interligar-se de várias maneiras e, por isso, podemos definir várias categorias de ordem.

Para classificar essas categorias, utiliza-se a linguagem da topologia, bem conhecida dos matemáticos, mas nunca antes aplicada à física de partículas. Quando este conceito de ordem é incorporado no enquadramento matemático da teoria da matriz S, verifica-se que apenas algumas categorias especiais de relações ordenadas são compatíveis com as propriedades bem conhecidas da matriz S. Essas categorias são precisamente os padrões de quarks observados na natureza.

A estrutura de quarks surge, assim, como manifestação da ordem e consequência necessária da autoconsistência, sem qualquer necessidade de postular quarks como constituintes físicos dos hadrões.

A emergência da ordem como conceito novo e central na física de partículas não só conduziu a um avanço decisivo na teoria da matriz S, como poderá ter implicações de grande alcance para a ciência no seu conjunto. Atualmente, o significado da ordem na física subatómica continua a ser algo misterioso e ainda não foi plenamente explorado.

É, contudo, interessante notar que, tal como os três princípios da matriz S,* a noção de ordem desempenha um papel muito básico na abordagem científica da realidade e é um aspeto crucial dos nossos métodos de observação. A capacidade de reconhecer a ordem parece ser uma característica essencial da mente racional: toda a perceção de um padrão é, num certo sentido, uma perceção de ordem. O esclarecimento deste conceito num domínio de investigação em que os padrões da matéria e os padrões da mente são cada vez mais reconhecidos como reflexos uns dos outros promete, portanto, abrir fronteiras fascinantes do conhecimento.

Segundo Geoffrey Chew, criador da ideia de bootstrap e força unificadora e orientador filosófico da teoria da matriz S nas últimas duas décadas, a extensão desta abordagem para além da descrição dos hadrões poderá conduzir à possibilidade inédita de termos de incluir explicitamente o estudo da consciência humana nas futuras teorias da matéria.

> **«Um passo futuro deste tipo»,**

escreveu Chew,

> **«seria imensamente mais profundo do que qualquer coisa abrangida pelo bootstrap hadrónico [...]. A nossa luta atual com o bootstrap hadrónico poderá, assim, ser apenas uma antecipação de uma forma inteiramente nova de atividade intelectual humana.»****

---

* Ver os três princípios no Capítulo 17, p. 456/57.

** Ver a citação de Chew no final do Capítulo 18, p. 497.

Desde que escreveu estas palavras, há quase quinze anos, os novos desenvolvimentos da teoria da matriz S aproximaram consideravelmente Chew do tratamento explícito da consciência. Além disso, não foi o único físico a avançar nesta direção.

Entre as investigações recentes, um dos desenvolvimentos mais estimulantes é uma nova teoria proposta por David Bohm, que talvez tenha ido mais longe do que qualquer outro no estudo das relações entre consciência e matéria num contexto científico. A abordagem de Bohm é muito mais geral e ambiciosa do que a teoria atual da matriz S, podendo considerar-se uma tentativa de aplicar o bootstrap ao espaço-tempo e a alguns conceitos fundamentais da teoria quântica, a fim de deduzir uma teoria quântico-relativista coerente da matéria.[12]

O ponto de partida de Bohm, como indiquei no Capítulo 10, é a noção de «totalidade indivisa». Considera as ligações não locais exemplificadas pela experiência EPR um aspeto essencial dessa totalidade. As ligações não locais parecem agora ser a origem da formulação estatística das leis da física quântica, mas Bohm pretende ir além da probabilidade e explorar a ordem que acredita ser inerente à teia cósmica de relações, num nível mais profundo, «não manifesto».

Chama-lhe ordem «implicada», ou «envolvida», na qual as interligações do todo nada têm a ver com a localização no espaço e no tempo, mas apresentam uma qualidade inteiramente diferente: a de envolvimento.

Bohm utiliza o holograma como analogia desta ordem implicada devido à propriedade segundo a qual cada uma das suas partes contém, em certo sentido, o todo.[13] Se iluminarmos qualquer parte de um holograma, reconstituir-se-á a imagem inteira, embora com menos pormenor do que a imagem obtida a partir do holograma completo. Na perspetiva de Bohm, o mundo real estrutura-se segundo os mesmos princípios gerais, estando o todo envolvido em cada uma das suas partes.

Bohm reconhece, naturalmente, que a analogia do holograma é demasiado limitada para servir de modelo científico da ordem implicada ao nível subatómico. Para exprimir a natureza essencialmente dinâmica da realidade a esse nível, criou o termo «holomovimento», que designa o fundamento de todas as entidades manifestas.

Na sua perspetiva, o holomovimento é um fenómeno dinâmico do qual fluem todas as formas do universo material. A sua abordagem procura estudar a ordem envolvida nesse holomovimento, não tratando da estrutura dos objetos, mas da estrutura do movimento, tendo assim em conta tanto a unidade como a natureza dinâmica do universo.

Segundo Bohm, também o espaço e o tempo emergem como formas que fluem do holomovimento; também eles estão envolvidos na sua ordem. Bohm acredita que a compreensão da ordem implicada não só conduzirá a uma compreensão mais profunda da probabilidade na física quântica, como permitirá deduzir as propriedades básicas do espaço-tempo relativista. A

teoria da ordem implicada deverá, assim, fornecer uma base comum à teoria quântica e à teoria da relatividade.

Para compreender a ordem implicada, Bohm considerou necessário encarar a consciência como uma característica essencial do holomovimento e tê-la explicitamente em conta na sua teoria. Vê a mente e a matéria como interdependentes e correlacionadas, mas não causalmente ligadas. São projeções que se envolvem mutuamente, provenientes de uma realidade superior que não é matéria nem consciência.

Atualmente, a teoria de Bohm encontra-se ainda numa fase provisória. Embora esteja a desenvolver um formalismo matemático que envolve matrizes e topologia, a maioria das suas afirmações é qualitativa, e não quantitativa. Mesmo nesta fase preliminar, parece existir, contudo, uma afinidade intrigante entre a sua teoria da ordem implicada e a teoria de bootstrap de Chew.

Ambas assentam na mesma visão do mundo como uma teia dinâmica de relações; ambas atribuem um papel central à noção de ordem; ambas utilizam matrizes para representar a mudança e a transformação e a topologia para classificar categorias de ordem. Por fim, ambas reconhecem que a consciência poderá ser um aspeto essencial do universo, que terá de ser incluído numa futura teoria dos fenómenos físicos.

Uma teoria futura desse género poderá muito bem resultar da convergência das teorias de Bohm e Chew, que representam duas

das abordagens mais imaginativas e filosoficamente profundas à realidade física.

Notas

Capítulo 1

[1] J. R. Oppenheimer, Science and the Common Understanding (Oxford University Press, London, 1954), pp. 8-9.

[2] N. Bohr, Atomic Physics and Human Knowledge (John Wiley & Sons, New York, 1958), p. 20.

[3] W. Heisenberg, Physics and Philosophy (Allen & Unwin, London, 1963), p. 173.

[4] Ashvaghosha, The Awakening of Faith, trans. D. T. Suzuki (Open Court, Chicago, 1900), p. 78.

[5] Brihad-aranyaka Upanishad, 3.7.15.

Capítulo 2

[1] W. Heisenberg, Physics and Philosophy (Allen & Unwin, London, 1963), p. 125.

[2] Chuang Tzu, trans. James Legge, arranged by Clae Wartham (Ace Books, New York, 1971), ch. 26.

[3] Katha Upanishad, 3.15.

[4] Kena Upanishad, 3.

[5] Quoted in J. Needham, Science and Civilisation in China (Cambridge University Press, London, 1956), vol. II, p. 85.

[6] W. James, As Variedades da Experiência Religiosa (Fontana, Londres, 1971), p. 374.

[7] B. Russell, History of Western Philosophy (Allen & Unwin, London, 1961), p. 56.

[8] D. T. Suzuki, On Indian Mahayana Buddhism, ed. Edward Conze (Harper & Row, New York, 1968), p. 237.

[9] J. Needham, op. cit., vol. II, p. 33.

[10] Do Zenrin kushu, em I. Muira & R. Fuller Sasaki, The Zen Koan (Harcourt-Brace, Nova Iorque, 1965), p. 103.

[11] D. T. Suzuki, Outlines of Mahayana Buddhism (Schocken Books, New York, 1963), p. 235.

[12] In Carlos Castaneda, A Separate Reality (Bodley Head, London, 1971) p. 10.

[13] Lao Tzu, Tao Te Ching, trans. Ch'u Ta-Kao (Allen & Unwin, London, 1970), ch. 41.

[14] Ibid., ch. 48.

[15] Chuang Tzu, op. cit., ch. 13.

[16] Em P. Kapleau, Three Pillars of Zen (Beacon Press, Boston, 1967), pp. 53-4.

[17] A. K. Coomaraswamy, Hinduism and Buddhism (Philosophical Library, New York, 1943), p. 33.

[18] Em A. W. Watts, The Way of Zen (Vintage Books, New York, 1957), p. 183.

[19] Ibid., p. 187.

Capítulo 3

[1] W. Heisenberg, Physics and Philosophy (Allen & Unwin, London, 1963), p. 177.

[2] D. T. Suzuki, On Indian Mahayana Buddhism, ed. Edward Conze (Harper & Row, New York, 1968), p. 239.

[3] W. Heisenberg, op. cit., pp. 178-9.

[4] In D. T. Suzuki, The Essence of Buddhism (Hozokan, Kyoto, Japan, 1968), p. 26.

[5] In P. Kapleau, Three Pillars of Zen (Beacon Press, Boston, 1967), p. 135.

[6] W. Heisenberg, op. cit., p. 42.

Capítulo 4

[1] D. T. Suzuki, The Essence of Buddhism (Hozokan, Kyoto, Japan, 1968), p. 7.

[2] W. Heisenberg, Physics and Philosophy (Allen & Unwin, London, 1963), p. 145.

[3] In P. A. Schilpp (ed.), Albert Einstein: Philosopher-Scientist (The Library of Living Philosophers, Evanston, Illinois, 1949), p. 45.

[4] N. Bohr, *Atomic Physics and the Description of Nature* (Cambridge University Press, London, 1934), p. 2.

[5] Quoted in J. Needham, Science and Civilisation in China (Cambridge University Press, London, 1956), vol. II, p. 85.

[6] W. James, The Varieties of Religious Experience (Fontana, London, 1971), p. 374.

[7] B. Russell, History of Western Philosophy (Allen & Unwin, London, 1961), p. 56.

[8] In M. P. Crosland (ed.), The Science of Matter (History of Science Readings, Penguin Books, Harmondsworth, 1971), p. 76.

[9] Quoted in M. Capek, op. cit., p. 122.

[10] Quoted in J. Jeans, The Growth of Physical Science (Cambridge University Press, London, 1951), p. 237.

[11] Tables of Particle Properties, published by the Particle Data Group in Physics Letters, Vol. 50B, No. 1, 1974.

Capítulo 5

[1] Mundaka Upanishad, 2.2.3.

[2] Bhagavad Gita, 4.42.

[3] Bhagavad Gita, 13.12.

[4] Maitri Upanishad, 6.17.

[5] Brihad-aranyaka Upanishad, 1.4.6.

[6] Chandogya Upanishad, 6.9.4.

[7] Bhagavad Gita, 8.3.

[8] Ibid., 3.27-8.

[9] Brihad-aranyaka Upanishad, 4.3.21.

Capítulo 6

[1] Dhammapada, 113.

[2] Digha Nikaya, ii. 154.

[3] D. T. Suzuki, On Indian Mahayana Buddhism, ed. Edward Conze (Harper & Row, New York, 1968), p. 122.

[4] D. T. Suzuki, The Essence of Buddhism (Hozokan, Kyoto, Japan, 1968), p. 54.

Capítulo 7

[1] Chuang Tzu, trans. James Legge, arranged by Clae Waltham (Ace Books, New York, 1971), ch. 13.

[2] J. Needham, Science and Civilisation in China (Cambridge University Press, London, 1956), vol. II, p. 35.

[3] Fung Yu-Lan, A Short History of Chinese Philosophy (Macmillan, New York, 1958), p. 14.

[4] Chuang Tzu, op. cit., ch. 22.

[5] Quoted in J. Needham, op. cit., vol. II, p. 51.

[6] Lao Tzu, Tao Te Ching, trans. Ch'u Ta-Kao (Allen & Unwin, London, 1970), chs. 40 and 25.

[7] Ibid., ch. 29.

[8] Wang Ch'ung, A.D. 80, quoted in J. Needham, op. cit., vol. IV, p. 7.

[9] R. Wilhelm, The I Ching or Book of Changes (Routledge & Kegan Paul, London, 1968), p. 297.

[10] Kuei Ku Tzu, fourth century B.C., quoted in J. Needham, op. cit., vol. IV, p. 6.

[11] Chuang Tzu, op. cit., ch 22.

[12] R. Wilhelm, op. cit., p. xlvii.

[13] Ibid., p. 321.

[14] Ibid, p. 348.

Capítulo 8

[1] Chuang Tzu, trans. James Legge, arranged by Clae Waltham (Ace Books, New York, 1971), ch. 22.

[2] Ibid., ch. 24.

[3] Ibid., ch. 2.

[4] Ibid., ch. 13.

[5] Bhagavad Gita, 2.45.

[6] Quoted in Fung Yu-Lan, A Short History of Chinese Philosophy (Macmillan, New York, 1958), p. 112.

[7] Lao Tzu, Tao Te Ching, trans. Ch'u Ta-Kao (Allen & Unwin, London, 1970), ch. 36.

[8] Ibid., ch. 22.

[9] Chuang Tzu, op. cit., ch. 17.

[10] In G. S. Kirk, Heraclitus—The Cosmic Fragments (Cambridge University Press, London, 1970), p. 307.

[11] Ibid., pp. 105, 184.

[12] Ibid., p. 149.

[13] Lao Tzu, op. cit., ch. 2.

[14] Quoted in J. Needham, Science and Civilisation in China (Cambridge University Press, London, 1956), vol. II, p. 88.

[15] Ibid., pp. 68-9

[16] Lao Tzu, op. cit., ch. 48.

[17] Lao Tzu, op. cit., chs. 71, 2.

[18] Chuang Tzu, op. cit., ch. 16.

Capítulo 9

[1] Chuang Tzu, trans. James Legge, arranged by Clae Waltham (Ace Books, New York, 1971), ch. 22.

[2] Ibid., ch. 24.

[3] Ibid., ch. 2.

[4] Ibid., ch. 13.

[5] Bhagavad Gita, 2.45.

[6] Quoted in Fung Yu-Lan, A Short History of Chinese Philosophy (Macmillan, New York, 1958), p. 112.

Capítulo 10

[1] Ashvaghosha, The Awakening of faith, trans. D. T. Suzuki (Open Court, Chicago, 1900), p. 55.

[2] Ibid., p. 93.

[3] H. P. Stapp, 'S-Matrix Interpretation of Quantum Theory', Physical Review, vol. D3 (March 15th, 1971), pp. 1303-20.

[4] Ibid., p. 1303.

[5] N. Bohr, Atomic Physics and the Description of Nature (Cambridge University Press, London, 1934), p. 57.

[6] D. Bohm & B. Hiley, 'On the Intuitive Understanding of Nonlocality as Implied by Quantum Theory', Foundations of Physics, vol. 5 (1975).

[7] S. Aurobindo, The Synthesis of Yoga (Aurobindo Ashram, Pondicherry, India, 1957), p. 993.

[8] Nagarjuna, quoted in T. R. V. Murti, The Central Philosophy of Buddhism (Allen & Unwin, London, 1955), p. 138.

[9] H. P. Stapp, op. cit., p. 1310.

[10] W. Heisenberg, Physics and Philosophy (Allen & Unwin, London, 1963), p. 96.

[11] Mundaka Upanishad, 2.2.5.

[12] W. Heisenberg, op. cit., p. 75.

[13] Ibid., p. 57.

[14] J. A. Wheeler, in J. Mehra (ed.), The Physicist's Conception of Nature (D. Reidel, Dordrecht, Holland, 1973), p. 244.

[15] Brihad-aranyaka Upanishad, 4.5.15.

[16] Chuang Tzu, trans. James Legge, arranged by Clae Waltham (Ace Books, New York, 1971) ch. 6.

[17] Lama Anagarika Covinda, Foundations of Tibetan Mysticism (Rider, London, 1973), p. 93.

Capítulo 11

[1] Lao Tzu, Tao Te Ching, trans. Ch'u Ta-Kao (Allen & Unwin, London, 1970), ch. 1.

[2] D. T. Suzuki, The Essence of Buddhism (Hozokan, Kyoto, Japan, 1968), p. 18.

[3] Quoted in A. W. Watts, The Way of Zen (Vintage Books, New York, 1957), p. 117.

[4] R. Wilhelm, The I Ching or Book of Changes (Routledge & Kegan Paul, London, 1968), p. 297.

[5] Lama Anagarika Covinda, Foundations of Tibetan Mysticism (Rider, London, 1973), p. 136.

[6] V. F. Weisskopf, Physics in the Twentieth Century—Selected Essays (M.I.T. Press, Cambridge, Mass., 1972), p. 30.

[7] J. R. Oppenheimer, Science and the Common Understanding (Oxford University Press, London, 1954), pp. 42-3.

[8] Isa-Upanishad, 5.

[9] Ashvaghosha, The Awakening of Faith, trans. D. T. Suzuki (Open Court, Chicago, 1900), p. 59.

[10] Lama Anagarika Covinda, 'Logic and Symbol in the Multi-Dimensional Conception of the Universe', The Middle Way, vol. 36 (February 1962), p. 152.

Capítulo 12

[1] Em P. A. Schilpp (ed.), Albert Einstein; Philosopher-Scientist (The Library of Living Philosophers, Evanston, Illinois, 1949), p. 250.

[2] Madhyamika Karika Vrtti, quoted in T. R. V. Murti, The Central Philosophy of Buddhism (Allen & Unwin, London, 1955), p. 198.

[3] J. Needham, Science and Civilisation in China (Cambridge University Press, London, 1956), vol. III, p. 458.

[4] Ashvaghosha, The Awakening of Faith, trans. D. T. Suzuki (Open Court, Chicago, 1900), p. 107.

[5] M. Sachs, 'Space Time and Elementary Interactions in Relativity', Physics Today, vol. 22 (February 1969), p. 53.

[6] Em A. Einstein et al., The Principle of Relativity (Dover Publications, New York, 1923), p. 75.

[7] S. Aurobindo, The Synthesis of Yoga (Aurobindo Ashram, Pondicherry, India, 1957), p. 993.

[8] D. T. Suzuki, Preface to B. L. Suzuki, Mahayana Buddhism (Allen & Unwin, London, 1959), p. 33.

[9] Chuang Tzu, trans. James Legge, arranged by Clae Waltham (Ace Books, New York, 1971), ch. 2.

[10] Quoted in A. W. Watts, The Way of Zen (Vintage Books, New York, 1957), p. 201.

[11] D. T. Suzuki, On Indian Mahayana Buddhism, ed. Edward Conze (Harper & Row, New York, 1968), pp. 148-9.

[12] Em P. A. Schilpp, op. cit., p. 114.

[13] Lama Anagarika Govinda, Foundations of Tibetan Mysticism (Rider, London, 1973), p. 116.

[14] Dogen Zenji, Shobogenzo; in J. Kennett, Selling Water by the River (Vintage Books, New York, 1972), p. 140.

[15] Govinda, op. cit., p. 270.

[16] S. Vivekananda, Jnana Yoga (Advaita Ashram, Calcutta, India, 1972), p. 109.

Capítulo 13

[1] D. T. Suzuki, The Essence of Buddhism (Hozokan, Kyoto, Japan, 1968), p. 53.

[2] Carlos Castaneda, A Separate Reality (Bodley Head, London, 1971) p. 8.

[3] S. Radhaksuhnan, Indian Philosophy (Allen & Unwin, London, 1951).

[4] Brihad-aranyaka Upanishad, 2.3.3.

[5] Bhagavad Gita, 8.3.

[6] Ibid., 3.24.

[7] S. Radhakrishnan, op. cit., p. 367.

[8] Ts'ai-ken t'an: quoted in T. Leggett, A First Zen Reader (C. E. Turtle, Rutland, Vermont, 1972), p. 229, and in N. W. Ross, Three Ways of Asian Wisdom (Simon & Schuster, New York, 1966), p. 144.

[9] A. C. B. Lovell, The Individual and the Universe (Oxford University Press, London, 1958), p. 93.

[10] Bhagavad Gita, 9.7-10.

[11] Digha Nikaya, ii. 198.

[12] D. T. Suzuki, op. cit., p. 55.

[13] J. Needham, Science and Civilisation in China (Cambridge University Press, London, 1956), vol. II, p. 478.

Capítulo 14

[1] F. Hoyle, Frontiers of Astronomy (Heinemann, London, 1970), p. 304.

[2] Quoted in M. Capek, The Philosophical Impact of Contemporary Physics (D. Van Nostrand, Princeton, New Jersey, 1961), p. 319.

[3] Chandogya Upanishad, 4.10.4.

[4] Kuan-tzu, trad. W. A. Rickett (Hong Kong University Press, 1965), XIII, 36: uma obra sociofilosófica muito extensa, tradicionalmente atribuída ao notável estadista Kuan Chung do século VII a.C., mas muito provavelmente uma obra composta, compilada por volta do século III a.C., e que reflete várias escolas filosóficas.

[5] Chandogya Upanishad, 3.14.1.

[6] H. Weyl, Philosophy of Mathematics and Natural Science (Princeton University Press, 1949), p. 171.

[7] Quoted in Fung Yu-lan, A Short History of Chinese Philosophy (Macmillan, New York, 1958), p. 279.

[8] Ibid., p. 280.

[9] W. Thirring, 'Urbausteine der Materie', Almanach der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, vol. 118 (1968), p. 160.

[10] J. Needham, Science and Civilisation in China (Cambridge University Press, London, 1956), vol. IV, pp. 8-9.

[11] Lama Anagarika Govinda, Foundations of Tibetan Mysticism (Rider, London, 1973), p. 223.

[12] Prajna-paramita-hridaya Sutra, in F. M. Muller (ed.), Sacred Books of the East (Oxford University Press, London, 1890), vol. XLIX, 'Buddhist Mahayana Sutras'.

[13] Quoted in J. Needham, op. cit., vol. II, p. 62.

[14] Commentary to the hexagram Yü, in R. Wilhelm, The I Ching or Book of Changes (Routledge & Kegan Paul, London, 1968), p. 68.

[15] W. Thirring, op. cit., p. 159.

[16] Quoted in J. Needham, op. cit., vol. IV, p. 33.

Capítulo 15

[1] K. W. Ford, The World of elementary Particles (Blaisdell, New York, 1965), p. 209.

[2] A David-Neel, Tibetan Journey (John Lane, The Bodley Head, London, 1936), pp. 186-7.

[3] A. K. Coomaraswamy, The Dance of Shiva (The Noonday Press, New York, 1969), p. 78.

[4] H. Zimmer, Myths and Symbols in Indian Art and Civilisation (Princeton University Press, 1972), p. 155.

[5] A. K. Coomaraswamy, op. cit., p. 67.

Capítulo 17

[1] W. Heisenberg, Physics and Philosophy (Aden & Unwin, London, 1963), p. 96.

[2] C. F. Chew, 'Impasse for the Elementary Particle Concept', The Great Ideas Today (William Benton, Chicago, 1974), p. 99.

[3] Ashvaghosha, The Awakening of Faith, trans. D. T. Suzuki (Open Court, Chicago, 1900), pp. 79, 86.

[4] Lankavatan Sutra, in D. T. Suzuki, Studies in the Lankavatara Sutra (Routledge & Kegan Paul, London, 1952), p. 242.

[5] S. Radhakrishnan, Indian Philosophy (Allen & Unwin, London, 1951), p. 369.

[6] R. Wilhelm, The I Ching or Book of Changes (Routledge & Kegan Paul, London, 1968), p. 315.

[7] H. Wilhelm, Change (Harper Torchbooks, New York, 1964), p. 19.

[8] R. Wilhelm, op. cit., p. 348.

[9] Ibid., p. 352.

[10] R. Wilhelm, op. cit., p. 1.

Capítulo 18

[1] G. F. Chew, '"Bootstrap": A Scientific Idea?', Science, vol 161 (May 23rd, 1968), pp. 762-5; 'Hadron Bootstrap: Triumph or Frustration?', Physics Today, vol. 23 (October 1970), pp. 23-8; 'Impasse for the Elementary Particle Concept', The Great Ideas Today (William Benton, Chicago, 1974), vol. XX, p. xx.

[2] Quoted in J. Needham, Science and Civilisation in China (Cambridge University Press, London, 1956), vol. II, p. 538.

[3] G. F. Chew, '"Bootstrap": A Scientific Idea?', op. cit., pp. 762-3.

[4] Lao Tzu, Tao Te Ching, trans. Ch'u Ta-Kao (Allen & Unwin, London, 1970), ch. 25.

[5] J. Needham, op. cit., vol. II, p. 582.

[6] J. Needham, op. cit., vol. II, p. 484.

[7] Ibid., pp. 558, 567.

[8] Quoted in J. Needham, op. cit., vol. II, p. 566.

[9] Ashvaghosha, The Awakening of Faith, trans. D. T. Suzuki (Open Court, Chicago, 1900), p. 56.

[10] Em P. Reps, Zen Flesh, Zen Bones (Anchor Books, New York), p. 104.

[11] Ibid., p. 119.

[12] Ashvaghosha, op. cit., p. 104.

[13] S. Aurobindo, The Synthesis of Yoga (Aurobindo Ashram, Pondicherry, India, 1957), p. 989.

[14] D. T. Suzuki, On Indian Mahayana Buddhism, ed. Edward Conze (Harper & Row, New York, 1968), p. 150.

[15] Idem., pp. 183-4.

[16] G. F. Chew, 'Hadron Bootstrap: Triumph or Frustration?', op. cit., p. 27.

[17] G. F. Chew, M. Gell-Mann and A. H. Rosenfeld, 'Strongly Interacting Particles', Scientific American, vol. 210 (February 1964), p. 93.

[18] C. Eliot, Japanese Buddhism (Routledge & Kegan Paul, London, 1959), pp. 109-10.

[19] D. T. Suzuki, op. cit., p. 148.

[20] D. T. Suzuki, The Essence of Buddhism (Hozokan, Kyoto, Japan, 1968), p. 52.

[21] Em P. P. Wiener, Leibniz—Selections (Charles Scribner's Sons, New York, 1951), p. 547.

[22] Em J. Needham, op. cit., vol. II, pp. 496 e seguintes.

[23] Em P. P. Wiener, op. cit., p. 533.

[24] Idem., p. 161.

[25] G. F. Chew, '"Bootstrap": A Scientific Idea?', obra citada, p. 763.

[26] E. P. Wigner, Symmetries and Reflections—Scientific Essays (M.I.T. Press, Cambridge, Mass., 1970), p. 172.

[27] G. F. Chew, «"Bootstrap": A Scientific Idea?», op. cit., p. 765.

[28] Lao Tzu, Tao Te Ching, trans. Ch'u Ta-Kao (Allen & Unwin, London, 1970), ch. 81.

Epílogo

[1] Lama Anagarika Govinda, Foundations of Tibetan Mysticism (Rider, London, 1973), p. 225.

Posfácio

[1] Ver P. A. Schilpp (ed.), Albert Einstein: Philosopher-Scientist.

[2] Ver D. Bohm, Quantum Theory (Prentice-Hall, New York, 1951), pp. 614 e seguintes.

[3] Ver H. P. Stapp, obra citada.

[4] Ver, por exemplo, B. d'Esoagnat, 'The Quantum Theory and Reality', Scientific American (November 1979).

[5] D. Bohm, Quantum Theory, pp. 614 e seguintes.

[6] Ver D. Z. Freedman e P. van Nieuwenhuizen, «Supergravity and the Unification of the Laws of Physics», Scientific American, abril de 1981.

[7] Ver G. 't Hooft, «Gauge Theories of the Forces between Elementary Particles», Scientific American, junho de 1980

[8] Ver H. Georgi, «A Unified Theory of Elementary Particles and Forces», Scientific American, abril de 1981.

[9] Para uma revisão técnica dos êxitos e insucessos da QCD, ver T. Appelquist, R. M. Barnett e K. Lane, «Charm and Beyond», Annual Review of Nuclear and Particle Science, 1978.

[10] Para uma análise recente mais pormenorizada da QCD e do modelo dos quarks, ver H. Georgi, obra citada.

[11] Ver F. Capra, «Quark Physics Without Quarks», American Journal of Physics, janeiro de 1979; «Bootstrap Theory of Particles», Re-Vision, outono/inverno de 1981.

[12] D. Bohm, Wholeness and the Implicate Order, Routledge & Kegan Paul, Londres, 1980.

[13] A holografia é uma técnica de fotografia sem lentes, baseada na propriedade de interferência das ondas luminosas. A «imagem» resultante chama-se holograma; ver R. J. Collier, «Holography and Integral Photography», Physics Today, julho de 1968.