MÁRIO NOVELLO

MÁQUINA DO TEMPO

UM OLHAR CIENTÍFICO



JORGE ZAHAR EDITOR

DADOS DE COPYRIGHT

Sobre a obra:

A presente obra é disponibilizada pela equipe ***Le Livros*** e seus diversos parceiros, com o objetivo de oferecer conteúdo para uso parcial em pesquisas e estudos acadêmicos, bem como o simples teste da qualidade da obra, com o fim exclusivo de compra futura.

É expressamente proibida e totalmente repudiável a venda, aluguel, ou quaisquer uso comercial do presente conteúdo

Sobre nós:

O ***Le Livros*** e seus parceiros disponibilizam conteúdo de dominio publico e propriedade intelectual de forma totalmente gratuita, por acreditar que o conhecimento e a educação devem ser acessíveis e livres a toda e qualquer pessoa. Você pode encontrar mais obras em nosso site: ***LeLivros.link*** ou em qualquer um dos sites parceiros apresentados neste link.

"Quando o mundo estiver unido na busca do conhecimento, e não mais lutando por dinheiro e poder, então nossa sociedade poderá enfim evoluir a um novo nível."

MÁQUINA DO TEMPO

MÁRIO NOVELLO

MÁQUINA DO TEMPO

Um Olhar Científico

Formatação/conversão ePub: Reliquia

Jorge Zahar Editor
Rio de Janeiro

Um dia, no inverno de 1971, às margens do lago Leman, Vera, Isabella e Marcelo surgiram de repente e, abrindo as portas de meu escritório no Institut de Physique Théorique da Universidade de Genebra, disseram juntos: "Você não vai nunca dedicar um livro pra gente?" Eu, então, depois de me refazer daquela invasão que me havia tirado de minhas fantasias técnicas, respondi: "Claro, já está feito neste livro aqui", mostrando-lhes então a primeira versão de Máquina do tempo, *que terminara de escrever em agosto de 1996.*

Copyright © 2005, Mário Novello
Copyright © 2005 desta edição:
Jorge Zahar Editor Ltda. rua México 31 sobreloja
20031-144 Rio de Janeiro, RJ tel.: (21) 2240-0226 / fax: (21) 2262-5123
e-mail: jze@zahar.com.br site: www.zahar.com.br

Todos os direitos reservados.
A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo
ou em parte, constitui violação de direitos autorais. (Lei 9.610/98)

Projeto gráfico e diagramação: Mari Taboada
Capa: Miriam Lerner
ePub: Relíquia
1ª edição 1997 (O círculo do tempo)

CIP-Brasil. Catalogação-na-fonte
Sindicato Nacional dos Editores de Livros, RJ.

N83m Novello, Mário: um olhar científico / Mário Novello. –
2.ed. 2.ed – Rio de Janeiro: Jorge Zahar Ed., 2005.

Publicado anteriormente sob o título: O círculo do tempo
Anexo
Inclui bibliografia
ISBN 85-7110-836-6
1. Cosmologia. 2. Espaço e tempo. 3. Gravitação. I. Título.
05-0269 CDD 523.1 05-0269 CDU 524.8

SUMÁRIO

PREFÁCIO À SEGUNDA EDIÇÃO
PREFÁCIO À PRIMEIRA EDIÇÃO
ADVERTÊNCIA
INTRODUÇÃO
    OBSERVAÇÃO
1. HISTÓRIA GLOBAL
2. PANORAMA GERAL
3. OS CAMINHOS NO MUNDO
        FENÔMENO E REPRESENTAÇÃO
        EVENTOS E SEQÜÊNCIAS: PROCESSOS
        OS CAMINHOS DA LUZ
        ESTRUTURA CAUSAL E
        HORIZONTE NA FÍSICA RELATIVISTA
    OBSERVAÇÕES
        Uma pequena explicação
        Geometria de Minkowski
        Teoria da relatividade geral
        Geodésica
4. UMA INTRODUÇÃO À COSMOLOGIA MODERNA
        UMA PEQUENA HISTÓRIA DA COSMOLOGIA
5. UNIVERSO EM EXPANSÃO
        REPRESENTAÇÃO CONVENCIONAL
        ESPAÇO-TEMPORAL NO UNIVERSO DE FRIEDMANN
        HORIZONTE DE INFORMAÇÃO NO UNIVERSO
    OBSERVAÇÕES
        Além da velocidade da luz
        Ondas gravitacionais

Os teoremas de singularidade
6. KURT GÖDEL
UNIVERSO EM ROTAÇÃO:
AS FANTASIAS DE GÖDEL
A GEOMETRIA DE GÖDEL
CTC
CTC: AS DIFERENTES OPÇÕES
COMO VISITAR SEU PASSADO
NO UNIVERSO DE GÖDEL
AS FORÇAS DE ARRASTE PARA O PASSADO
OBSERVAÇÃO
Extensão não-estática da geometria de Gödel
Gödel e Einstein
7. CONFINAMENTO CAUSAL
IMPOSSIBILIDADE DE REPRESENTAÇÃO CONVENCIONAL
ESPAÇO-TEMPORAL DA GEOMETRIA DE GÖDEL
CONFINAMENTO CAUSAL
DELIMITANDO A QUESTÃO CAUSAL
CONECTANDO UNIVERSOS – I
8. CÁPSULAS DE PROTEÇÃO CAUSAL
9. UM PEDAÇO DO UNIVERSO DE GÖDEL
EM NOSSO MUNDO: UM CAMINHO
INESPERADO PARA O PASSADO
10. PONTE DE CONEXÃO OU PONTE DE EINSTEIN-ROSEN
UM EXCLARECIMENTO
CONECTANDO UNIVERSOS – II
CONECTANDO DOIS UNIVERSOS VAZIOS
CONECTANDO O MESMO UNIVERSO
OBSERVAÇÃO
Soluções especiais versus leis físicas

11. O ETERNO RETORNO
OBSERVAÇÕES
Além do ponto de condensação máxima
Ciclos infinitos
12. MUDANDO O PASSADO
ALGUMAS SOLUÇÕES POUCO CONVENCIONAIS
Além do espaço-tempo quadridimensional
Uma descrição sem espaço e sem tempo: o pré-universo
COSMO E CONTEXTO
Termodinâmica da partícula isolada
A formulação dos múltiplos universos
13. O PRINCÍPIO DE AUTOCONSISTÊNCIA
UM PEQUENO ALERTA
AUTOCONSISTÊNCIA
PARA ALÉM DO PRINCÍPIO DE AUTOCONSISTÊNCIA
14. O MUNDO QUÂNTICO
ESTRUTURA QUÂNTICA E
O COMEÇO DO MUNDO
O MUNDO QUÂNTICO E
AS TRAJETÓRIAS CTC
OS COMEDORES DE INFORMAÇÃO
Buracos negros
O buraco negro não é negro?
Conseqüências quânticas
OBSERVAÇÃO
Uma explicação
15. INDIVIDUALIDADE E RÉPLICAS
A CRIAÇÃO DAS RÉPLICAS
Advertência
Individualidade

Observadores inerciais e outros
Observadores de Milne
Observadores de Rindler
OBSERVAÇÕES
Milne e Rindler
Corpos e números
16. UMA SOLUÇÃO DOS PARADOXOS
RÉPLICAS NO MODELO DE GÖDEL
Réplicas e informação
A CONJETURA CAUSAL
OBSERVAÇÕES
Criação de partículas
CONCLUSÃO
ESCLARECIMENTO FINAL
APONTANDO O CAMINHO
ANEXO – Diálogos sobre a volta ao passado
BREVE DESCRIÇÃO DA GEOMETRIA EFETIVA
CTC E A ETERNIDADE DO QUE EXISTE
DIMENSÕES EXTRAS
BIBLIOGRAFIA
AGRADECIMENTOS
Meus companheiros

PREFÁCIO À SEGUNDA EDIÇÃO

A partir de 1997, ano da primeira edição deste livro — então chamado *O círculo do tempo* —, produziu-se, em um território inesperado da física, uma atividade extremamente importante envolvendo a propagação da luz. Naquela época, a quase totalidade dos comentários aqui tecidos referia-se a propriedades da força gravitacional e, associada a ela, à estrutura causal resultante da propagação da luz em espaços curvos, isto é, em campos gravitacionais intensos. A razão para isso está explicada logo nos primeiros capítulos e é consequência da universalidade da interação gravitacional. Entretanto, nos últimos anos, uma nova linha de pesquisa — intimamente vinculada à principal questão deste livro, que implica a propagação de informação — conheceu um desenvolvimento notável. Embora eu não tenha a intenção, neste prefácio, de apresentar todos os aspectos dessa nova orientação, bem como das mudanças que ela produz sobre a estrutura causal do mundo, penso que seria de interesse do leitor obter algumas informações sobre as pesquisas mais recentes.

Em *Máquina do tempo* procurei descrever as razões pelas quais a principal responsável pela determinação da estrutura causal do mundo é a luz. Ao longo do texto, a origem e a descrição do movimento da luz, ou melhor, da teoria que determina a propagação da luz, foram identificadas com a teoria de Maxwell, que teve origem no século XIX e dominou o cenário da descrição da força eletromagnética ao longo de quase todo o século XX. A propriedade mais fundamental dessa teoria é sua linearidade, em outras palavras, o fato de que a luz não interage consigo mesma. Isso tem como uma de suas consequências práticas a independência do movimento de um fóton com relação aos demais. É exatamente essa linearidade que está na base do enorme sucesso alcançado pela teoria eletromagnética de Maxwell ao longo do século XX, assim como das inúmeras aplicações dela decorrentes e que marcaram fortemente a sociedade de

comunicação no último século. Nos últimos tempos, essa situação sofreu uma mudança que, no meu entender, ainda não foi totalmente compreendida. É ela que quero comentar neste prefácio.

Teorias não-lineares dos diferentes campos de força existentes têm sido examinadas pelos físicos, com muita ênfase, nas últimas décadas. Há várias razões para isso, algumas de caráter observacional, outras de caráter mais formal, ligado às origens e aos fundamentos da teoria. No que diz respeito à teoria do eletromagnetismo a história é longa e antiga. Não é meu propósito aqui envolver-me nessa história, mas somente traçar alguns poucos comentários sobre certas questões que considero indispensáveis para que possamos entender a relação de alguns aspectos de processos não-lineares da interação eletromagnética com a questão da causalidade.

Dois momentos, nessa história, irão reter nossa atenção. O primeiro diz respeito a uma proposta bem antiga, da década de 1930, elaborada pelo físico Max Born e complementada por Leopold Infeld. O segundo diz respeito às propriedades quânticas dessa interação e se associa aos físicos alemães Euler e Heisenberg, no final da primeira metade do século XX.

A idéia original de Born e Infeld parte de uma consideração desde há muito tempo tratada como uma das maiores dificuldades da teoria das partículas clássicas e sua identificação com uma estrutura extremamente localizada, entendida mesmo como puntiforme. Sabia-se de longa data, desde os primórdios do desenvolvimento da teoria eletromagnética, que o campo gerado por uma particular puntiforme ao longo da linha de universo (isto é, da trajetória) da partícula carregada — digamos, um elétron — que gera esse campo diverge. Isso significa que o campo adquire, nessa trajetória, um valor infinito. Essa propriedade, claro está, é altamente indesejável. Para tentar contornar esta e outras dificuldades do mesmo tipo, Born e Infeld propuseram uma profunda modificação da teoria de Maxwell, válida para campos fortes, que teria precisamente a função de limitar o valor máximo que o campo eletromagnético poderia assumir em qualquer circunstância. O preço a pagar para afastar esse

obstáculo foi precisamente permitir que, no campo eletromagnético, existissem processos não-lineares. Dito de outro modo, o grão elementar de energia eletromagnética, isto é, o fóton, poderia interagir consigo próprio. Isso, é evidente, deveria ser feito de modo a não afetar a boa adaptação da teoria linear de Maxwell à natureza, com a qual lidamos na maior parte do tempo em nosso cotidiano. Dessa forma, as correções não-lineares só deveriam intervir quando o campo fosse suficientemente forte, permitindo assim a sua compatibilidade com as observações usuais, em campos não-extremais.

Por outro lado, Euler e Heisenberg calcularam as correções que a teoria clássica do eletromagnetismo deve sofrer por conta de processos de natureza quântica. Eles mostraram que essas correções podem ser descritas como se o campo clássico satisfizesse uma teoria não-linear. Isto é, o efeito final de se levar em consideração os processos de natureza quântica pode ser descrito como se a não-linearidade fosse válida no nível clássico.

Em resumo, ambas as modificações — e, por razões distintas — apontam para a necessidade de introduzir efeitos não-lineares no eletromagnetismo. Agora chegamos ao aspecto que aqui nos interessa e que pode ser sintetizado na seguinte questão: quais as consequências, com relação à propagação da luz, que essas modificações não-lineares provocam? A resposta, embora conhecida já há algum tempo, tem um importante efeito sobre a estruturação causal do mundo que só há pouco tempo foi devidamente considerado. Isso acontece porque essa resposta envolve uma novidade inesperada, que tentaremos descrever brevemente a seguir.

A movimentação no espaço e no tempo do fóton é interpretada, de um ponto de vista clássico, como determinada pela equação de evolução das descontinuidades do campo eletromagnético que lhe está associado. Dito de outro modo: consideremos uma superfície $\sum$ no espaço-tempo que, de um lado desta superfície, o campo seja nulo, mas, do outro lado, ele seja diferente de zero. Na prática a situação aparece de modo mais sofisticado, envolvendo

variações do campo (aquilo que os matemáticos chamam a sua derivada). Porém, para a análise intuitiva que faremos aqui, os detalhes matemáticos podem ser deixados de lado. Essa descontinuidade caracteriza precisamente aquilo que chamamos de uma *frente de onda*, a característica ondulatória da propagação do campo. Ao analisarmos essa frente de onda no interior da teoria linear de Maxwell, podemos mostrar que ela determina uma estrutura causal associada àquilo que chamamos de o espaço-tempo de Minkowski (ver capítulo 3). Em verdade, tudo se passa como se o campo eletromagnético, que se espraia sobre uma estrutura espaço-tempo plana (o que chamamos de geometria de Minkowski), induzisse — graças à linearidade das equações que ele deve satisfazer — os fótons a se propagarem ao longo das superfícies especiais (as chamadas superfícies nulas ou do tipo-luz). Ademais, as equações lineares de Maxwell têm como consequência inevitável o fato de que o caminho do fóton é de um tipo especial, aquilo que os matemáticos chamam de geodésica: um caminho no qual uma partícula livre se movimenta, no qual nenhuma força é exercida sobre o corpo que por ali se movimenta.

Pois bem, situação totalmente diferente ocorre quando o campo eletromagnético obedece a uma teoria não-linear. Neste caso, a propagação do fóton não é mais a que acabamos de descrever, e, por conseguinte, a estrutura causal do mundo a ela associada deve ser repensada em conformidade com sua nova movimentação. Isso se deve ao fato observacional de que não existe na natureza qualquer corpo material ou informação que se propague com velocidade maior que a da luz. Essa situação se descreve de um modo não-uniforme: os caminhos dos fótons não são caminhos especiais na estrutura geométrica de Minkowski. Entretanto, de um modo totalmente inesperado, é possível haver uma outra interpretação para esses caminhos. Com efeito, podesse mostrar (para detalhes técnicos, ver por exemplo Novello et al. in *Physical Review* D, vol.61, p.1-10) que tudo se passa, quando a teoria é não-linear, como se o fóton estivesse mergulhado em outra estrutura geométrica, em um espaço-tempo curvo, dotado de uma geometria efetiva capaz de alterar e dirigir os

caminhos possíveis do fóton. Detalhe mais interessante: nesta geometria (que só o fóton percebe), seu caminho seria ainda do tipo nulo e geodésico — não na estrutura geométrica de Minkowski, mas sim nesta nova geometria curva. Dito em outras palavras, a não-linearidade faz com que o fóton perceba essa auto-interação como se houvesse uma modificação na própria estrutura geométrica do espaço-tempo.

Como consequência natural desse processo, a estrutura causal do mundo, neste caso, não seria mais determinada pelo “cone de luz” da geometria de Minkowski, porém pelo correspondente “cone de luz” da geometria efetiva. Assim, uma situação inesperada ocorre: a não-linearidade do fóton passa a ser descrita como se ele estivesse na presença de um campo gravitacional determinado precisamente pela geometria efetiva que o fóton sente. Trata-se, é claro, de um campo gravitacional fictício, uma representação geométrica, um modo de descrever, posto que todo o processo tem origem puramente eletromagnética. Tal analogia com um campo gravitacional pode ser estendida muito além dessa simples descrição formal.

Com efeito, diversos autores — em particular o grupo de Cosmologia e Gravitação do Icra-BR/CBPF (Instituto Nacional de Cosmologia, Relatividade e Astrofísica e Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas) — têm explorado esta semelhança em diversas configurações. Sabe-se, por exemplo, das dificuldades teóricas e observacionais para se demonstrar a possibilidade de um buraco negro gravitacional emitir radiação com um espectro bem determinado. Na base desta dificuldade encontra-se a universalidade gravitacional, que impede seu controle por mecanismos de fabricação do campo. Pois bem, se fosse possível usarmos processos eletromagnéticos para criar uma situação na qual o fóton se visse mergulhado em uma geometria curva semelhante à de um buraco negro, teríamos condições — pelo menos em princípio — de examinar as propriedades daquela radiação e, em particular, sua própria existência. Dessa forma, tais modelos análogos da gravitação — como esses processos não-lineares do eletromagnetismo estão sendo chamados — passam a ter uma enorme

importância, até mesmo para a compreensão de processos gravitacionais.

No que diz respeito à nossa questão neste livro, deveríamos nos perguntar se seria possível produzir, por meio desse sistema de geometria efetiva, em laboratório terrestre, além daqueles buracos negros de origem eletromagnética, outras geometrias especiais, tais como, por exemplo, aquelas que possuam curvas fechadas, caminhos fechados no espaço-tempo para os fótons não-lineares. Alguns autores responderam afirmativamente à questão, embora essa interpretação ainda seja motivo de intensos estudos para elucidar alguns pontos não completamente entendidos. Não nos ocuparemos aqui dessas questões. Se me estendo nestas considerações é para que o leitor tenha conhecimento de duas consequências importantes:

A primeira é que a estrutura causal do mundo, determinada pela propagação da luz, depende crucialmente da teoria fundamental satisfeita pelo campo eletromagnético. Assim, em certas circunstâncias (tais como em certos meios materiais especiais, chamados dielétricos) nas quais aparece um comportamento não-linear para este campo, a estrutura causal é bastante distinta daquela que estamos acostumados a descrever — e novidades inesperadas podem acontecer.

A segunda é que se pode conceber o controle do campo eletromagnético em certos meios especiais, nos quais o fóton se comportaria como se estivesse em presença de um campo gravitacional. Dessa forma, seria possível fabricar em laboratório certas configurações especiais — tais como o buraco negro eletromagnético, *wormholes*, caminhos que levam ao passado e outros.

Assim, de um modo inesperado e estranho, no que se refere à propagação da luz, o século XX terminou de modo semelhante àquele descrito pela física no final do século XIX, produzindo, tanto àquela época como hoje, uma reviravolta em nossa compreensão da estrutura causal do mundo. Em vez de pensar que tal situação nos coloca como se estivéssemos dando um passo para trás, estou convencido de que é neste jogo dialético de compreensão-incompreensão de processos naturais que podemos conhecer aos poucos as regras do jogo da natureza. Ou estabelecê-las.

Janeiro de 2005

PREFÁCIO À PRIMEIRA EDIÇÃO

No Natal de 1994, o professor E. Elbaz, diretor do Instituto de Ciências da Matéria da Universidade de Lyon, na França, em visita ao grupo de pesquisa em cosmologia do Laboratório de Cosmologia e Física Experimental de Altas Energias do Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas, me fez uma pergunta desafiadora. Eu não estaria interessado em descrever, para o grande público, alguns dos notáveis resultados que acabara de expor em uma série de seminários a respeito de estudos recentes que os cientistas vêm empreendendo, em diferentes centros de pesquisa no mundo, sobre a possibilidade de ocorrência daquilo que de maneira simplificada chamaríamos de *viagem ao passado*?

De pronto, respondi-lhe que não achava conveniente espalhar as dúvidas que a ciência ainda tem sobre o tema para além das fronteiras da comunidade científica. Apressei-me em acrescentar que tal atitude não deveria ser entendida como prova, mesmo que branda, de arrogância, mas como cuidado em não oferecer ao grande público idéias cujo *status*, no quadro da ciência, ainda não conseguiu ultrapassar a simples extrapolação formal de leis físicas. Entretanto, depois de uma reflexão mais demorada, concluí, contrariamente à minha primeira reação, que talvez fosse aquele o bom momento de esclarecer para um público geral algumas das principais linhas de investigação que os cientistas estão desenvolvendo sobre o assunto. Ademais, pareceu-me que, se eu conseguisse realizar a tarefa extremamente delicada de tornar aqueles estudos compreensíveis para um público de não-especialistas, poderia então exercer de um só golpe uma dupla função: informar aos leitores que não são físicos qual o verdadeiro estado atual de nossos conhecimentos científicos sobre viagens não-convencionais no tempo; e produzir um inventário crítico capaz de fornecer aos estudiosos do assunto um roteiro para análise ulterior mais aprofundada.

Não é de espantar que tal tema, pouco ortodoxo dentro da tradição

científica, tenha sido pouco explorado. As razões são as mesmas que ainda hoje inibem os organismos internacionais de apoio à pesquisa científica de financiar estudos específicos nessa área, as viagens ao passado.{1}

Meu propósito neste livro é restrito: quero limitar nosso exame à atividade científica sobre as viagens no tempo no período que vai de 1949 até agora. A razão para a data inicial específica ficará clara ao longo do volume.

Por outro lado, há nisso um empreendimento colateral importante: vencer o desafio maior de tentar mostrar que o discurso científico pode ir além das estreitas fronteiras que uma certa visão limitada e acanhada da realidade tem nos imposto. Quero mostrar como é possível produzir, nas divisas mais externas da ciência, um sistema coerente, significante e não-autocontraditório sobre a fantástica aventura de visitas ao passado, em perfeito acordo com a totalidade das leis físicas conhecidas. Dito de outro modo, desejo levar o leitor a caminhar comigo numa peripécia maravilhosa, embalado por nossos conhecimentos científicos sobre a natureza, em um terreno onde a possibilidade de experimentar a verdadeira atualidade do nosso passado esteja sendo controlada por nossa experiência real, no interior dos domínios descobertos pela ciência. Em síntese, mostrarei o que os cientistas produziram nesse período com relação aos dois principais programas de análise:

- Existência, na natureza, de caminhos{2} que permitem a volta ao passado.
- Paradoxos causais.

Minha ênfase aqui estará concentrada em analisar o primeiro desses dois temas. Como nossa questão principal neste livro está intimamente relacionada a propriedades envolvendo a estrutura do espaço e do tempo, teremos inevitavelmente que examinar a teoria da relatividade geral de Einstein, porquanto é ela que integra essa estrutura à descrição racional do mundo pela ciência. As dificuldades que encontramos no interior do sistema da física moderna conduzem a uma contradição com alguns de nossos (pré) conceitos sobre a ordem no mundo cuja solução é de difícil conciliação com idéias e princípios bem estabelecidos. Veremos também surgir uma discussão que, à

primeira vista, poderíamos considerar inusitada, mas que desempenha um papel tão grande no cenário científico que não podemos ignorá-la. Antecipando-a, vamos resumir aqui brevemente do que trata essa questão.

Nos últimos anos, os cientistas reconheceram que a possibilidade de um corpo material ser levado a dirigir-se para seu passado não é proibida pelas leis da física, e que um número grande de estruturas bem-comportadas{3} pode criar esse movimento. Ao longo do livro, descreveremos algumas dessas estruturas. Tal propriedade entra em choque direto com a visão convencional, e instalou-se uma situação de crise, requisitando o cuidado na produção de modelos capazes de conciliar as viagens ao passado com o resto da física — e isso a maioria dos cientistas preferia evitar. Tratando-se de uma controvérsia teórica, cujos efeitos de ordem prática estão ainda longe de nosso cotidiano, as alternativas possíveis passaram a ser consideradas sob uma certa tensão emocional, certamente o estado mais delicado e menos competente para resolver questões racionais. Só para esboçar uma pequena perspectiva da situação — e exibir um modo pelo qual essa dualidade tem aparecido —, vamos considerar um curioso exercício formal que pensávamos desprovido de interesse maior, mas que, pelo grau de importância que adquiriu, merece nossa atenção.

O melhor modo de iniciarmos esse exercício é pela sua descrição direta. Uma boa parte dos cientistas sustenta que devemos interpretar uma lei física como constituindo uma estrutura abrangente e, como tal, pairando em algum mundo ideal, no território das representações. Em geral, como ocorre por exemplo com as forças conhecidas, a lei se identifica a uma estrutura matemática que descreve o comportamento genérico daquela força em qualquer circunstância. Dizemos que conhecemos a estrutura da força quando sabemos atribuir-lhe uma dada equação de evolução, que passa assim a se confundir com a própria lei. A maior parte das vezes, subentende-se que todas as possíveis soluções daquela equação — desde que em acordo com as outras leis — são boas, isto é, o mundo poderia conter algum exemplo dessa particular solução. Utilizando uma afirmativa retirada dos naturalistas, poderíamos dizer que, “na

natureza, parece ser verdade que tudo aquilo que não é expressamente proibido de ocorrer ocorre!” Isto é, transportada para nosso contexto, diríamos que toda solução daquela lei, que representa assim uma configuração particular, deveria existir em nosso mundo. Ou, pelo menos, deveria poder fazer parte de uma história completa do universo.

Assim como ao descrevermos a estrutura geométrica do espaço e do tempo, isto é, suas representações, devemos levar em conta que *o mapa não é o território*, parece necessário, pelo menos para alguns cientistas, retirar do mundo a obrigatoriedade formal e conceder à solução, a cada caso particular, um *status* mais elevado, eliminando da lei física o caráter fundamentalista que apontamos acima. Essa questão, semelhante ao que ocorre em outros setores do pensamento, divide claramente os físicos em duas posições que, somente para simplificar nossa descrição e as referências a elas, chamaremos de *idealista* e *existencialista*. Não pretendo com tal rótulo identificá-las com análogas posições filosóficas de mesmo nome, mas tão-somente tentar ressaltar de um modo simples suas características mais evidentes, embora exista — como teremos a oportunidade de comentar — uma proximidade natural entre essas posições.

Veremos que para uma dessas classes simplesmente inexistem dificuldades causais associadas à interpretação de viagens não-convencionais ao passado. Enquanto para a outra categoria de descrição das leis físicas, estamos em face de um problema devastador. Creio que essa disparidade de conclusão é suficiente para eliminar, caso ainda existisse, qualquer dúvida de que estamos penetrando em uma questão delicada, em que a unanimidade de tratamento e descrição por parte dos cientistas está longe de ter sido alcançada. Assim, é natural esperar que tenhamos grandes dificuldades pela frente ao tratarmos dela. Eu pediria ao leitor — e graças à observação anterior — que aceite caminhar comigo neste exame e que, pelo menos no começo da caminhada, deixe de lado qualquer atitude definitiva que possa ter com relação a ela. Desse modo, ele conseguirá com muito maior facilidade entender certos pontos de vista que um espírito já comprometido poderia julgar pelo menos estranhos ao discurso científico sobre o

mundo. Entretanto, tentarei mostrar que tanto uma quanto outra daquelas interpretações acima são carregadas de significado — e também podem reivindicar para si uma boa dose de verdade.

Finalmente, o que dizer para aqueles que, com o espírito mais crítico, chegassem até mesmo a se perguntar: mas, afinal, o que se quer ganhar com esse estudo? Ou mesmo, indo além disso, questionar se os físicos, com essa análise, não estariam entrando em um território que pareceria estar melhor situado na alçada da ficção — e que, como tal, deveria ser deixado de lado pela ciência. Há várias razões para que isso não ocorra. Ao longo deste livro, espero poder exibi-las. Aqui caberia antecipar algumas dessas razões evidentes. Como primeira delas pode-se citar a possibilidade de eliminar, no interior da física, os paradoxos que afligem toda teoria que admite a possibilidade de *volta ao passado*.[{4}] Uma resposta formal a essas dificuldades surge naturalmente desse exame no contexto em que o apresentaremos. Tal solução dos paradoxos, embora produzida em um setor específico da física, transborda seu alcance para além de sua área de atuação e permite compreendê-la em um quadro maior e completo de descrição da natureza.

Vamos encontrar uma segunda motivação para esse estudo na própria tradição da ciência que pretende de modo sistemático exibir os limites de validade de toda teoria científica. Veremos surgir, então, em diferentes domínios, quer da astrofísica, da cosmologia, em suma, do macrocosmo, bem como em teorias que descrevem o microcosmo, critérios de validade retirados do exame sobre a estrutura do tempo. Ademais — e esse é um interesse central do livro — teremos a possibilidade de descrever alguns mecanismos pelos quais a natureza pode produzir, ou melhor, pode permitir uma viagem ao passado.[{5}]

Creio que esse tema, por mais afastado de nosso cotidiano que possa parecer, não deve ser deixado a cargo somente de nossos poetas; a ciência também deve ser convidada a apresentar sua análise e conclusão. Mesmo que para isso tenha que ceder e, descendo de sua arrogância, andar de mãos dadas com a fantasia. Mas não é isso o que, o mais das vezes, embora aparentando o

oposto, ela faz?{6}

Maio de 1996

ADVERTÊNCIA

Neste livro pretendo enfatizar alguns modelos teóricos que os cientistas têm produzido e que permitem realizar o movimento que conduz ao passado. E somente de passagem, aqui e ali, considerar as estranhas consequências provocadas pela existência desses caminhos. Não esgotarei tais possibilidades, nem farei um relatório completo das propostas, restringindo-me a dois grandes esquemas que constituem basicamente as linhas principais de investigação e têm aprofundado nosso conhecimento científico nesse território. Os fundamentos teóricos sobre os quais construímos o presente relato encontram-se publicados nos artigos citados na bibliografia.

Por diversas vezes, durante a elaboração deste livro, recebi a advertência de amigos, colegas de profissão, físicos, como eu, que pretendiam influenciar-me, a ponto de me fazer desistir de levar adiante o projeto de sua publicação. O argumento principal que eles apresentavam era o seguinte: embora eu tentasse manter-me, ao longo de todo o texto deste livro, na minha posição de cientista, e não me deixasse levar pelo discurso aparentemente simples e espontâneo da fantasia, seria difícil que essa posição fosse considerada, aceita como tal, pela grande maioria dos físicos. Sabemos, diziam eles, que essa microssociedade, aparentando uma abertura de idéias que certamente não tem, e ao contrário do que elas propagam, é na prática extremamente reacionária. Por conseguinte, será difícil para os que dela participam — sobretudo quando consultados por agências federais de apoio à pesquisa{7} no sentido de emitir parecer sobre seu trabalho — resistir à idéia de que o autor de um livro como este, que trata de tema com características, digamos, *tão fantasiosas*, não adquira o estigma de anticristo, de articulador de um discurso que está além do científico, além daquele que eles esperariam ver preservado por alguém *de dentro da comunidade*. Em particular, eles se referiam às dificuldades que apontamos

anteriormente, envolvendo o renomado físico norte-americano Kip Thorne e por ele mesmo citadas durante a apresentação de seu trabalho, *Temporal Loops*, no 13º Congresso de Relatividade Geral e Gravitação, realizado em Córdoba, na Argentina, em 1992.

Minha contra-argumentação, minha defesa, em suma, nesses momentos era simples. Este livro, dizia eu então, tem a pretensão de divulgar para um público mais amplo aquilo que já é do conhecimento da sociedade dos físicos. Se ele aparece como fantasioso, deve-se não à minha apresentação, mas ao que os cientistas têm produzido nas últimas décadas. Enfim, devo acrescentar que, se aceito a curiosa condição de revelar ao público essa singular preocupação por parte de meus colegas, é porque acredito, infelizmente, que ela possa ter de fato algum tipo de consequência que lhes daria razão.

INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, os físicos viram-se comprometidos com o aparecimento de uma crescente atividade envolvendo diretamente temas limítrofes da ciência que pareciam banidos de seu cotidiano. Para situar o leitor, mencionarei dois exemplos que estão a um só tempo na fronteira e no centro da física, a saber:

• O estudo dos modos de formação do universo.

• O exame de máquinas do tempo que permitiriam viagens não-convencionais, tais como o retorno ao passado.

Esses dois temas deixaram de ser um tabu para a comunidade científica e hoje constituem questões em que se desenvolve uma intensa atividade teórica. Creio que se faz necessária, neste ponto, uma breve observação quanto à atitude geral em face dessas duas áreas de investigação.

O exame dos modos possíveis de formação de nosso universo é, como teremos oportunidade de mostrar e esclarecer em seção futura, uma necessidade que emerge do quadro da física moderna. O imenso avanço produzido durante o século XX na compreensão das forças dominadoras nas grandes dimensões cósmicas, por meio de uma nova fundamentação da estrutura do espaço e do tempo, conduziu, obrigatoriamente, a um exame dos mecanismos pelos quais podemos construir um modelo formal fechado e auto-consciente dos sistemas físicos, capaz de permitir a elaboração de uma história da formação da estrutura global do universo compatível com as características observadas. Em seção seguinte será examinado o modo pelo qual tal cenário vem se desenvolvendo.

Quanto ao exame do tempo, ou melhor, de processos nos quais um corpo material, um observador qualquer, possa voltar a seu passado, a questão parece à primeira vista semelhante, embora trate-se, como veremos, de um fenômeno com duas faces aparentemente contraditórias. Por um lado, deparamos com uma situação que, do ponto de vista observacional, é ainda hoje inacessível; por

outro, somos informados de que os cientistas elaboraram modelos descrevendo algumas configurações do nosso universo nas quais seria permitido o acesso a regiões passadas, a tempos já vividos. Deriva daí, então, que a análise e uma maior compreensão dos modos gerais dos movimentos arbitrários no tempo tornam-se uma necessidade da consistência formal das teorias que, no presente, têm dominado a cena da dinâmica dessa estrutura substancial que chamamos *espaço-tempo*. Nos últimos anos, a coerência interna da teoria responsável pela organização de nossas observações — bem como de suas representações — tem sido intensa e, depois de um longo intervalo de inatividade, novamente estimulada.

Isto dito, podemos esclarecer um pouco melhor o tema de nosso estudo neste livro.

Ao final dos anos 1980, a possibilidade de as viagens ao passado não serem proibidas pelas leis físicas recebeu por parte dos cientistas um interesse especial. Alguns dentre eles ousaram mesmo apresentar idéias pouco convencionais a este respeito, despertando grande controvérsia. Embora a quase totalidade destas idéias não pareça estar em contradição com o conhecimento científico atual de como a natureza funciona, elas provocaram um certo mal-estar na comunidade científica. A razão para isso é fácil de entender: o tema parecia estigmatizado, suprimido das reuniões científicas, por estar, por um lado, intimamente associado a fantasias tradicionais envolvendo nossas emoções; mas sobretudo porque a veracidade das afirmações neste território é ainda hoje de difícil acesso ao rigor mínimo que o discurso científico exige. Essa situação parecia dominar total e absolutamente o cenário da ciência até pelo menos as últimas décadas. Houve, sem dúvida, nos últimos anos, uma sensível transformação quanto a esta questão por parte do *establishment*. Talvez, como símbolo da mudança de atitude pudéssemos considerar, por exemplo, a situação provocada por uma prestigiosa revista científica — tradicionalmente conhecida por seu rigor na aprovação de contribuições, a *Physical Review Letters*, órgão oficial da American Physical Society — ao aceitar que, em suas muitas vezes conservadoras páginas, se

apresentassem viagens ao passado, e que seu exame fosse tratado como questão natural, digna de figurar, como qualquer outra que produza interesse científico, dentre suas preocupações técnicas. E ainda mais: não somente permitiu que se discutisse um tema até então informalmente proibido, como também, por intermédio desse artigo, seus autores fossem muito além do convencional, sugerindo até mesmo a proposta de configuração de um artefato que pudesse constituir uma verdadeira *máquina do tempo*. Certamente esse tipo de artigo dificilmente teria sido aceito para publicação naquela ou em qualquer outra revista científica de bom nível, se não tivesse havido uma mudança profunda nessa questão. Não estou aqui me referindo a uma simples mudança de rigor, eventualmente associada a algum particular modismo passageiro. Trata-se de outra situação: quero enfatizar que a atmosfera geral envolvendo este estudo, no âmbito dos cientistas, mudou sensivelmente por ter-se compreendido a efetiva realização de um verdadeiro avanço formal nas questões fundamentais deste tema, capaz de permitir o desenvolvimento de uma análise científica bem estruturada.

Entretanto, embora aquele artigo tivesse sem dúvida marcado um *turning point* do comportamento da comunidade científica em relação a esta questão, os cientistas, mais do que quaisquer outros, sabiam que se tratava, e se trata ainda, de matéria controversa. Infelizmente, a própria natureza do estudo apresentado naquele artigo, independentemente de qual tenha sido a intenção de seus autores, e o impacto que ele causou, gerou a falsa idéia de que os cientistas teriam conseguido estabelecer alguma verdade no modo, isto é, no mecanismo prático, de voltar ao passado. Essa eventual possibilidade, resultado do exame das implicações de uma dada teoria (ainda que aparentemente correta) sobre a estrutura do espaço-tempo, foi apreendida superficialmente pela mídia internacional, que a passou adiante com um pouco de exagero. De tal modo, uma parcela não desprezível do grande público ficou com a impressão de que seria possível, nos próximos anos, visitar nossa casa de infância, onde seríamos recebidos, sem o menor constrangimento... por nós mesmos, quando crianças!

Neste livro, proponho-me a descrever, do ponto de vista de um cientista, qual é realmente o *status* atual de nossos conhecimentos sobre essa questão.

Um comentário adicional: eu gostaria de deixar claro que não me dedicarei aqui a explicar ou utilizar teorias esdrúxulas, mas tão-somente apresentarei consequências de teorias aceitas integralmente pelos cientistas. A razão para isso é simples de entender. O tema que iremos examinar neste livro é de tal ordem, estimula uma série tão grande de especulações integrantes de nosso imaginário coletivo que, penso eu, para permitir situar sua posição em face do estado atual de nosso conhecimento científico, vejo-me quase na obrigação de retirar todas as análises que se baseiam em teorias alternativas às quais a ciência ainda não legitimou. Creio que assim procedendo poderemos limitar, de modo rigoroso, e do interior da ciência, o que ela tem a dizer sobre este tema, sem que estejamos apartados do rigor científico que essas teorias convencionais supostamente possuem.

Em particular, não iremos esgotar neste livro a discussão das intricadas questões e dos paradoxos que aparecem quando se admite a realização de um ciclo temporal através de uma curva do tipo-tempo fechada (CTC),[{8}] embora eu seja levado a examinar suas conseqüências em algumas questões de coerência interna da física. Entre estas, talvez a mais crucial seja aquela relacionada às condições de compatibilidade da evolução futura quando um observador passa duas vezes pelo mesmo ponto no espaço-tempo, e que coloca a questão de saber se um observador que viaja através de uma tal curva CTC pode influenciar seu passado. Veremos na seção seguinte uma conseqüência extremamente importante da análise de coerência. Com relação à atitude geral dos cientistas em face dessa questão, veremos surgir aqui duas teses.

Uma, conservadora, que se estrutura como sendo a realização da noção de *compatibilidade cronológica* (isto é, a repetição de um mesmo processo); e outra que procura adaptar a idéia de infinitos mundos, de caminhos que se bifurcam em configurações compossíveis, como a que estamos acostumados a ver em processos quânticos. Essas propostas serão descritas com detalhes mais adiante.

Apresentarei também, no capítulo 16, uma contribuição que me parece importante para a renovação do olhar sobre essa questão, exibindo uma nova solução para os persistentes paradoxos que aparecem quando caminhos conduzindo ao passado não são proibidos, e que decorre naturalmente da aplicação de teorias modernas de descrição quântica do mundo, relacionadas ao exame da dependência de quantidades observáveis com o estado de movimento do observador. Isso induzirá um golpe terrível sobre o que poderíamos chamar de *persistência das individualidades*, diluindo nossa fé na estabilidade do mundo. Veremos então nascer, como conseqüência direta deste exame, uma curiosa, inesperada e simples solução da tradicional dificuldade associada à possibilidade de afetarmos nosso passado. O desenvolvimento ulterior dessa solução parece apontar para uma visão definitiva do problema.

Antes de penetrarmos nesta nossa proposta, e somente a título de informação comparativa, farei na seção seguinte um sobrevôo alternativo a respeito dessa questão, onde apresentarei considerações gerais que constituem elementos de base com os quais alguns cientistas têm procurado construir uma coerência interna do discurso científico, numa tentativa de manter ativos conceitos e idéias convencionais sobre a ordem temporal. O tema desta seção parecerá, à primeira vista, pouco usual, mas ele deve ser considerado, em verdade, como uma preliminar a um discurso mais completo, que deixaremos para fazer mais adiante. No capítulo 14, essas idéias serão desenvolvidas e apresentadas através de uma argumentação produzida em um contexto mais técnico. Numa primeira introdução, a seguir, trataremos somente de expô-las de limítrofes do comportamento global do espaço-tempo estaria sendo posta de lado, como teremos oportunidade de analisar neste livro.

Modo superficial, sem procurar descer a maiores detalhes, deixando-os para mais adiante. Curiosamente, veremos que o discurso que alguns cientistas têm utilizado para reintroduzir coerência num universo sem uma ordem temporal convencional aproxima-se por demais de antigas propostas que vêm sendo propagadas há tempos por outros saberes. Isso, claro está, não pode servir como

sustentação desta proposta, nem pode ser usado como caracterizando sua universalização. Trata-se somente de esquemas semelhantes, projeções que fazemos em setores diversos de nossa razão. Ou então, mais restritivamente, uma demonstração da limitação de nosso imaginário.

OBSERVAÇÃO

Como decorrência do que falamos até agora, talvez se pudesse julgar que tenho sido zeloso ou tímido demais ao procurar em cada momento exibir as incertezas que os cientistas ainda têm sobre o tema deste livro. Fui levado a isso por vários pequenos indícios que detectei e procurei explicitar ao longo da redação, mas um deles, quem sabe por ser muito contundente, sirva para exemplificar as origens de meus cuidados.

Fui convidado a dar uma entrevista a um jornal carioca sobre um recente estudo que eu e minha colaboradora, Martha Christina, havíamos publicado em uma revista especializada de física, sobre a possibilidade de conciliar viagens ao passado com o nosso conhecimento científico atual. Isso parece ter despertado grande interesse na mídia, de tal modo que um programa de televisão de grande popularidade também nos entrevistou. Como consequência do mau uso de nossa entrevista pelo programa, os dias que se seguiram foram, vamos dizer assim, extraordinários. Principalmente no que diz respeito ao número de pessoas que, tendo assistido ao programa em questão, tentavam convencer-me a lhes passar a informação de como (isto é, de que modo efetivo) elas poderiam viajar ao passado. Uma dessas pessoas em particular causou-me forte impressão. Tratava-se de um rapaz da zona oeste do Rio de Janeiro, possuidor de boa fonte de renda, que seu pai lhe deixara. Infelizmente, e por razões que não perguntei e não me foram ditas, antes de morrer seu pai lhe havia feito confidências sobre uma grande quantidade de bens{9} que guardara reservadamente em um cofre, mas não lhe revelou o lugar nem entregou-lhe a chave. Ocorre que o pai morrera antes de lhe dizer onde estavam escondidos os bens. O rapaz viera a mim para

que eu o ajudasse a obter a informação, permitindo-lhe entrar em contato com seu pai... antes de morrer! O mais grave dessa aparente confusão é que, mesmo depois de minhas reiteradas explicações, concluí, por seu comportamento visível, que ele saiu de minha sala com a certeza íntima de que eu impedira aquele contato.

Creio que — caso ainda precisasse — esse fato por si só justifica meu cuidado ao apresentar ao público este livro, que trata de tema tão delicado.

1. HISTÓRIA GLOBAL

Nenhum processo físico é isolado. Um evento, toda ocorrência, possui um vínculo íntimo com sua vizinhança. Esta simples e aparentemente afirmação trivial constitui a base de um programa de descrição racional do mundo e que tem constituído um procedimento tradicional na física. Por outro lado, isolar as causas maiores e separá-las de outras causas possíveis, mas de pouca efetividade, tem sido uma arte tratada com muito cuidado, fornecendo a base de uma formulação única de seqüências solidárias de eventos. Aquilo que chamamos uma história se fundamenta neste procedimento. É a ele que vamos recorrer quando precisamos ordenar o mundo.

Para um certo rigor extremado de solidariedade, o fato de que movimento minha mão neste momento deveria influenciar processos que ocorrem em longínquos sistemas de estrelas para além de nosso sistema solar. *Strictu sensu*, isto não é falso, mas somente uma afirmativa inútil e desprovida de maior conteúdo. Isso porque, ao descrevermos a natureza, é preciso levar em conta os diferentes graus de influência de um evento sobre outro. A minha ação sobre aquele distante processo pode ser completa e absolutamente desprezada, em face de outros processos de interferência bastante mais importantes e eficientes. Assim, fomos levados a distinguir no mundo camadas ou extratos de influência. Por exemplo, ao examinarmos o movimento de um planeta, digamos a Terra em torno do Sol, consideramos suas diferentes posições espaciais nos correspondentes tempos, medidos por um observador qualquer. As sucessivas posições da Terra podem ser preditas a partir de posições anteriores, por meio da utilização das equações de evolução da interação gravitacional Terra-Sol. De posse dessas equações e da posição e velocidade do corpo em um dado momento, podemos conhecer suas posições em outros tempos. Esta seqüência de dados e eventos projetados constituem a *história* da Terra, sua específica

movimentação no espaço e no tempo.

A física tem tradicionalmente lidado com histórias desse tipo, cuja principal característica está relacionada a uma dependência local e restrita. Isolamos o sistema Terra-Sol, porquanto reconhecemos que este processo consiste em uma estrutura localizada em uma região compacta do espaço-tempo, sem que precisemos obter informações que estejam para além deste sistema. É bem verdade que outros astros, outros planetas, influênciam também o movimento da Terra. Mas se trata aqui de uma questão de *nuance*, de quantidade. Por várias razões,{10} desprezamos outras ações que não a do Sol. Procedendo desse modo, não produzimos nenhuma dificuldade conceitual, mas somente uma aproximação quantitativa, que é a prática usual no procedimento científico.

Uma situação totalmente diferente ocorre ao estudarmos a possibilidade real de volta ao passado. A prática de isolar eventos, idealmente, constituiu sem dúvida uma formidável ferramenta que permitiu aos cientistas estabelecer leis de movimento, estruturas conservadas ao longo de uma história, programas de unificação e que resultaram numa certa unidade formal da ciência. Mais tarde descobrimos como agregar mais e mais informações ao sistema. Progredimos por acumulação de dados, contiguamente. A noção de campos de força é sem dúvida o momento maior dessas idéias. A ação de um corpo sobre outro é mediada por um mensageiro que chamamos *campo* e que carrega a informação da ação entre corpos espacialmente separados. A história da interação deve conter o relato continuado das propriedades deste campo.

Isto quanto à física clássica. De igual modo, aprendemos a considerar diversas histórias compossíveis na mecânica quântica e a como lidar com elas, esperando que nos dêem aqui probabilidades de eventos. Este cenário, tanto clássica quanto quanticamente, constitui um quadro convencional no qual a partir de uma rede contínua e completa do espaço-tempo, utilizando a noção de tempo global, descrevem-se os eventos em um cenário único.

Essa lua-de-mel da física com esta formulação contígua do que chamamos *história*, ou processo, se interrompe no mesmo instante que abandonarmos a

restrição apriorística que impediria uma descrição do mundo isenta de *curvas do tipo-tempo fechadas*, isto é, de caminhos que levam ao passado. Nesta situação, a noção de história que os físicos vêm utilizando há séculos terá de sofrer uma profunda mudança. Eu não diria que nada restará do conceito anterior, mas ele estará restrito a situações limitadas. A nova idéia que deveremos considerar consistirá na noção de *história global*. Em capítulo posterior, quando examinarmos o que os cientistas têm chamado de princípio de autoconsistência, trataremos de sua formulação mais técnica. Aqui, quero apresentá-lo preliminarmente, bem como tratar de algumas de suas propriedades que podem ser de fácil compreensão, através de uma linguagem convencional, não-matemática.

Uma história, definida como o fizemos acima, descrita como uma sucessão de eventos medidos por um observador que usa seu tempo próprio como padrão, constituindo um processo, consolidou uma certa visão determinista do mundo, pois um evento aqui-e-agora só pode, nesse contexto, depender de eventos passados.{11}

Por outro lado, uma nova versão, aquilo que chamaríamos de história global de um corpo material, consiste numa descrição dos eventos que faz apelo não somente a ocorrências contíguas no tempo, ou, como é de se esperar, em seu passado, mas depende também de eventos que estão no seu futuro! Nessa descrição, o que se considera como unidade formal não é a totalidade *espaço* em um dado momento de tempo, como na ordem do mundo que a física tem programado, mas sim a totalidade *espaço-tempo*. O mundo não seria descrito como uma sucessão de eventos (como na história local), mas sim como uma unidade: a totalidade espaço e tempo,{12} considerada globalmente, num discurso único e completo. Isso se deve ao fato de que, se existem caminhos que conduzem a nosso passado, deveríamos então compatibilizar os processos do mundo através de uma orquestração ou auto-consistência, que teria certamente de conter um componente global, capaz de impedir aos paradoxos que normalmente estão a eles associados a possibilidade de serem acionados,

gerando as dificuldades tradicionais. Entre estes, o mais dramático certamente é aquele que contempla a possibilidade de alguém retornar a seu passado e matar seu avô, inviabilizando o nascimento de sua própria mãe! Para impedir, ou melhor, para eliminar tais tipos de dificuldades no tempo, foi-se levado a pensar na possibilidade de construir uma orquestração dos processos físicos diferente da que tínhamos empregado até então como fundamental. Dito de outro modo, parece que a existência de caminhos que levam ao passado sugere e, para alguns, chega até mesmo a impor um modo de descrever o mundo através do abandono formal da história local em favor de uma história global. A razão para isso{13} é que, assim, poderíamos conviver racionalmente com um mundo que permitisse o retorno ao passado: eliminando as dificuldades tradicionais dos paradoxos temporais, por meio de uma globalização da descrição dos processos físicos. Se considerarmos que tais caminhos para o passado aparecem somente em circunstâncias especiais,{14} a história local poderia subsistir em condições usuais, como as que encontramos em nosso cotidiano e que são precisamente aquelas para as quais essa descrição do mundo foi criada. O que devemos modificar ou restringir é seu alcance universal, absoluto. Vista desse modo, a proposta de globalização adquire um *status* convencional dentro do cenário da ciência: ela vem substituir, em uma região definida e circunscrita, a extrapolação indevida de um procedimento usual. A história global conteria a história local como um caso limite, naquelas condições em que delimitar a realidade, produzindo *pedaços da existência*, sem vínculo maior com a totalidade, não leva a contradição alguma. Como ocorre, por exemplo, em nossa vizinhança terrestre, na ausência de processos físicos envolvendo caminhos que levam ao passado.

Essa formulação parece conduzir a antigas idéias sobre a unidade do mundo que os cientistas, por razões de ordem prática, na produção de um método capaz de tornar mais eficiente sua descrição dos fenômenos do mundo, haviam abandonado. Eu ousaria até mesmo afirmar que um dos méritos desse reexame da questão de caminhos não-convencionais ao passado parece ser este: um reencontro com uma unidade do mundo perdida. Com efeito, essa é a mais

inesperada conseqüência deste estudo.

O exame da existência de caminhos que conduzem ao passado e a tentativa de adaptá-lo a um discurso coerente do mundo levaram à aceitação da possibilidade formal mais simples, capaz de inibir contradições e paradoxos, apelando para o princípio de compatibilização global. Isto é, induziu à produção de uma ordem racional graças à aceitação da hipótese maior, segundo a qual a estrutura local não esgota a realidade. A física deveria assim fazer apelo a configurações globais em interação que se encarregariam de ajustar, isto é, compatibilizar histórias locais. Desse modo, chega-se à noção de história global. {15} A descrição de processos, mesmo que localizados em uma região compacta do espaço e do tempo, poderia, se aceitássemos a hipótese acima, admitir uma dependência com relação a processos que estão em seu futuro. A existência de CTC, isto é, de caminhos para o passado, nos obrigaria assim a rever o retalhamento do mundo que a ciência havia feito com extrema eficiência e nos levaria, para espanto e temor de alguns, de volta à unidade do mundo perdida. Desse modo, nos conduziria a repensar a possibilidade de que aquilo que aceitáramos como constituindo a base da física clássica — a formulação ideal que, na mecânica, aparecia como compondo os dados iniciais de um problema que permitiriam, a partir deles, desvendar todo comportamento ulterior — passaria a depender, de um modo solidário, de situações futuras.

Há, ademais, uma complicação maior, de natureza psicológica. A análise da questão formal dessa compatibilização consiste numa das mais complexas tarefas em que os cientistas se envolveram. Qualquer tentativa de solução, que introduziria o enfraquecimento da razão científica tradicional, aparece como alternativa a ser rejeitada. Tem-se o sentimento de que estaríamos destruindo o imenso trabalho que nossos antepassados elaboraram, ao montar o cenário da ciência, traduzindo o que a natureza nos diz.

Isso certamente nos coloca diante de uma grave crise. Como podemos resolvê-la? Adotar a noção de história global, como acima sugerido, pode ser uma solução.{16} Mas ela não é a única. Várias possibilidades equivalentes vêm

sendo examinadas. Eu lembraria, no entanto, que, como dito anteriormente, nosso objetivo neste livro não consiste em examinar as diferentes alternativas propostas na literatura para compatibilizar a volta ao passado com a visão racional do mundo que a ciência produziu, mas sim apresentar mecanismos por meio dos quais este retorno temporal pode ser efetivamente realizado. Por isso, não me estenderei nem esgotarei este assunto além do mínimo necessário para dar somente uma breve noção das sugestões que vêm sendo examinadas. Uma exceção importante será feita quando, mais adiante, apresentarei uma nova proposta.

2. PANORAMA GERAL

Voltaremos nossa atenção agora para um breve resumo das principais linhas de investigação sobre a questão principal de que trata este livro e que se limita ao exame da possibilidade de viagens ao passado. Por razões que ficarão claras no desenrolar do texto, denominamos uma trajetória que conduz ao passado pela sigla CTC, iniciais da expressão inglesa *closed timelike curve*.[17] Provisoriamente, adotaremos como significado formal desta sigla a sua identificação com movimentos que conduzem para trás no tempo, para o nosso passado.

O cenário de fundo de toda nossa discussão neste livro é a estrutura do tempo e do espaço. Para tanto, como dissemos anteriormente, é pelas idéias do professor Albert Einstein que devemos começar essa análise. Assim, na próxima seção, apresentarei um pequeno resumo dos princípios que, quase um século depois de sua elaboração, ainda hoje constituem o paradigma do conhecimento científico concernente às propriedades desse substrato. Com efeito, nas primeiras décadas do século XX, ao elaborar uma nova teoria da força gravitacional em substituição à tradicional formulação de Newton, o professor Einstein mostrou que uma possível descrição coerente desta força poderia ser obtida se a descrevêssemos como o resultado da influência da matéria/energia sobre o espaço-tempo. Este se comportaria como uma verdadeira substância, e não formalmente como uma idéia *a priori* num mundo imaterial, como tínhamos nos acostumado a aceitar por tradição. Assim, os eventos do mundo, suas alterações, suas histórias, deveriam ser descritas nessa nova estrutura dinâmica retirada do Olimpo e submetida, como tudo o mais que existe, às vicissitudes das forças de interação da matéria. Um caminho no espaço, sua direção no tempo, passa a ser uma questão negociada não mais *a priori*, mas sim no embate das forças observadas do mundo.

Não é meu propósito, nestas notas introdutórias à questão da viagem ao passado, examinar esse problema em todos os seus aspectos. Farei uma pequena seleção que está longe de esgotar o assunto.{18} Penso, entretanto, que esse nosso caminho pode provocar uma visão da questão que seja a um só tempo bastante esclarecedora, bem como contenha aqueles enfoques que constituem o olhar principal dos cientistas sobre ela. Um olhar distinto, complementar desta versão aqui apresentada, poderia ser feito em um segundo momento da análise. E eu ou um outro certamente o faremos no futuro. Ou talvez (quem sabe?) em nosso passado.

Trataremos, com um pouco mais de detalhes, somente de dois exemplos que representam as principais configurações que os físicos elaboraram, dentro dos cânones da ciência, para produzir significado à expressão *máquina do tempo*, isto é, um artefato capaz de permitir uma efetiva viagem ao passado. Vamos, para simplificar, chamá-las da forma convencional como são conhecidas pelos físicos, a saber:

- Universo de Gödel.
- Ponte de conexão ou ponte de Einstein-Rosen.{19}

A escolha desses dois exemplos para caracterizar estruturas contendo CTC não é aleatória, nem se prende tão-somente a uma questão de simplificação formal. É mais do que isso: na verdade deve-se a essas duas configurações, que são típicas representantes dos esquemas mais gerais possíveis, admitindo viagens não-convencionais no tempo.

Por *universo de Gödel* deve-se entender uma particular geometria que caracterizaria a totalidade espaço-temporal do mundo. Por *ponte de conexão* ou *ponte de Einstein-Rosen* entende-se uma configuração localizada. Nossa análise irá se concentrar nessas duas configurações que descreveremos com detalhes a seguir. De um ponto de vista formal, se nos limitarmos a caracterizá-las como simples sistemas que permitem viagens ao passado, essas duas formas físicas são equivalentes. Um exame mais íntimo mostrará mais adiante que, com efeito, o princípio prático dessas situações é basicamente um só.{20} Há, no entanto, uma

profunda diferença entre elas. O melhor modo de distingui-las parece ser o que se descreve a seguir.{21}

Processos temporais, como o que estamos examinando, violam diversas hipóteses construídas *a priori* que utilizamos com freqüência em nosso cotidiano, tal como a convicção do senso comum de que, ao caminharmos para o futuro, estaríamos nos afastando de nosso passado. Entretanto, para que um caminho para o passado possa existir, esta *verdade* deveria ser, em alguma circunstância, violada. Há duas formas possíveis de caracterização desses caminhos. Nós as chamaremos provisoriamente pelas expressões:

- Compacta.
- Global.

Numa estrutura compacta, os caminhos que voltam ao passado estão concentrados numa região limitada do espaço-tempo. Poderíamos afirmar que uma estrutura temporal convencional, onde caminhos ao passado não seriam permitidos, domina o cenário do mundo do começo e possivelmente ao seu fim; mas entre estas duas bemcomportadas regiões, uma trajetória que leva ao passado pode aparecer, isto é, o retorno ao passado seria produzido em alguma região limitada do nosso mundo. Não se trata, assim, de uma violação eterna das idéias convencionais sobre a natureza do tempo. Por outro lado, na forma global, todo o espaço-tempo está solidariamente envolvido na fabricação daquele caminho, que aparece junto com o universo e, desta forma, produz caminhos eternamente violadores de uma orientação temporal única.

Devemos notar desde logo que tem sido comum, a partir do aparecimento da geometria de Kurt Gödel, apresentá-la como especulativa, uma simples construção matemática, sem nenhum ponto de contato com nosso mundo. Um dos modos mais simples (na verdade, o único que foi considerado) para negar a possibilidade aventada por Gödel de visita ao passado consiste precisamente em argüir que sua proposta nada mais é do que isso: uma curiosidade matemática, permitida pelas equações de Einstein da gravitação, mas sem realidade física neste universo. Com efeito, as propriedades da geometria descoberta por Gödel

não parecem coincidir com as características observáveis. Isso parecia apontar para uma solução simples e definitiva das dificuldades apresentadas, não somente por esta geometria, bem como para uma classe completa de geometrias envolvendo alguma forma de CTC: a de que elas são irrealizáveis na natureza.

Entretanto, o que ocorreria com essa crítica se pudéssemos mostrar que a geometria de Gödel constituiria parte (não necessariamente a totalidade) deste universo? E se pudéssemos construir uma complexa configuração na qual, por exemplo, somente um pedaço da geometria de Gödel existisse, como parte de outra, ou melhor, envolta por uma outra geometria? Teríamos assim a possibilidade de liquidar de um só golpe com aquela argumentação anterior e tornado a questão da volta ao passado bastante mais dramática: bastaria, então, procurar no universo aquelas regiões do tipo Gödel, escondidas dentro de estruturas métricas convencionais. Tal situação foi efetivamente construída, como veremos.

Finalmente, um último comentário. Uma ponte de Einstein-Rosen associa-se a estágios especiais de configurações localizadas, compactas.

Desse modo, por ser uma estrutura local e não global, essa configuração pareceu a alguns autores mais realizável, e, conseqüentemente, uma volta ao passado produzida através de sua ocorrência foi pensada como mais provável de ser encontrada. Isto deve-se ao fato de que em uma estrutura tipo Gödel, as configurações que conduzem ao passado são eternas, isto é, encontráveis ao longo de toda a história do universo; enquanto nesta outra, localizada, curvas do tipo-tempo fechadas podem ocorrer em regiões compactas. Creio, entretanto, que poderei convencer o leitor isento, que deixou seus preconceitos no início de nossa caminhada, que na verdade trata-se de uma só e mesma situação limite com que nos deparamos.

Para que possamos, ao penetrar nesse estranho e fantasioso mundo gödeliano, entender o cenário em que ele ganha significado, é conveniente nos determos um pouco para fornecer ao leitor algumas informações sobre a estrutura geral do tempo na teoria da gravitação de Einstein, isto é, da

relatividade geral. Não me estenderei neste tema mais do que um mínimo necessário para manter nosso discurso compreensível.

3. OS CAMINHOS NO MUNDO

Este capítulo apresentará um breve relato do modo pelo qual a física clássica relaciona os diversos fenômenos ou eventos para descrever sua seqüência temporal, produzindo uma história.

FENÔMENO E REPRESENTAÇÃO

Toda descrição dos acontecimentos organiza-se em uma ordem espaço-temporal.{22} Representamos um dado evento por quatro números reais que escolhemos como aqueles que geram uma rede contínua constituída por três dimensões espaciais e uma dimensão temporal. Esta representação é arbitrária e depende da convenção com que a fazemos. Há uma forte convicção generalizada de que, como a física trata de representação, esta deve ser escolhida por conveniência, enfatizando, por exemplo, o critério da simplicidade. Isso nada mais é do que uma conseqüência da constatação de que não existe representação do mundo melhor do que outra, mas somente e precisamente isto: a representação mais conveniente. O reconhecimento desse fato está intimamente associado à idéia, enfatizada várias vezes na literatura e por diferentes autores, de que:

O MAPA NÃO É O TERRITÓRIO!

Essa afirmativa pretende simbolizar a dependência de nossa descrição do mundo de nossas convenções. Como tal, a representação do território real, sensível, através de um mapa, pode ser modificada um sem-número de vezes, sem que isso venha a acarretar qualquer ingerência no desenvolvimento das leis físicas. Sabemos que a existência dessas diferentes formas de descrever o que existe, ou melhor, os diferentes fenômenos, acarreta uma multiplicidade de narrativas ou histórias dos processos no mundo. Entretanto, sabemos também

que todas elas possuem alguma coisa em comum que lhes assegura a equivalência dessas descrições.

Desse modo, reconhecendo que há várias linguagens disponíveis para descrever um mesmo processo, chegou-se à noção de *covariância*, que caracteriza aquela multiplicidade de equivalentes descrições evidenciando aquilo que é comum às várias representações. Talvez uma de nossas grandes conquistas tenha sido precisamente esse reconhecimento. Além de exibir, de um modo bastante eloqüente e evidente, um dos princípios mais fundamentais, esta descoberta produziu uma abertura formal para outras formas semelhantes de redução do caráter absoluto e impessoal das afirmações que a ciência é levada a fazer.{23}

EVENTOS E SEQÜÊNCIAS: PROCESSOS

Vimos anteriormente que um evento, uma ocorrência, é descrito por um conjunto de quatro números. Assim, uma trajetória, um movimento ou mesmo o repouso de um corpo material qualquer devem ser representados por uma sucessão desses números e determinam uma curva no espaço-tempo quadridimensional que denominamos a sua história

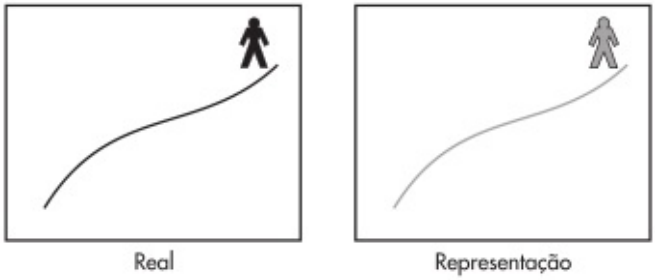


Figura 3.1 **As diferentes formas de descrever um processo acarretam uma multiplicidade de narrativas. A covariância evidencia o que é comum às várias linguagens.**

(Figura 3.1). Para sermos mais precisos, poderíamos fazer a seguinte representação: consideremos a Figura 3.2. A curva Γ representa uma seqüência

temporal que poderíamos identificar com o tempo próprio de um homem M que se movimenta no mundo. Esse movimento seria representado pelo filme que, imaginariamente, apresentamos neste quadro. Na Figura 3.3, fazemos uma representação desse fenômeno. A cada ponto de Γ corresponde uma dada posição no espaço-tempo deste observador, isto é, um ponto da curva S. Assim, se considerarmos uma dada direção temporal, determinada por uma sucessão de instantes de Γ, ela corresponderá a uma orientação em S. O conjunto de pontos de S é o que chamamos a história de M. Finalmente, na Figura 3.4, exibimos idealmente o modo pelo qual essa caracterização pode ser feita, através de um mapeamento da realidade.



Figura 3.2 Caminho de um observador no mundo ao longo de uma curva Γ.

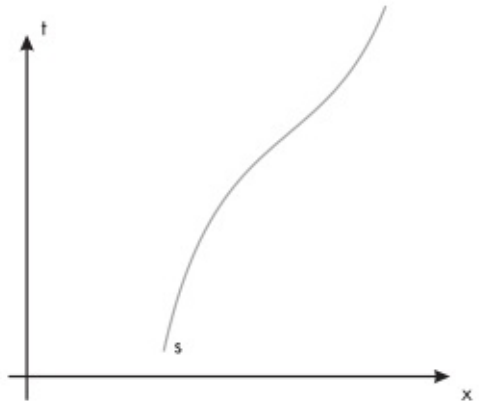


Figura 3.3 **Representação de uma história, isto é, uma trajetória percorrida por um corpo material (no caso, o observador da figura anterior) no espaço-tempo.**

Por razões gráficas, estamos simplificadamente representando o espaço tridimensional somente através de uma coordenada ou dimensão, representada pela letra *x*. O leitor deve usar sua imaginação para recompor a verdadeira visualização completa desta história, acrescentando as duas outras dimensões que não estão aqui representadas.

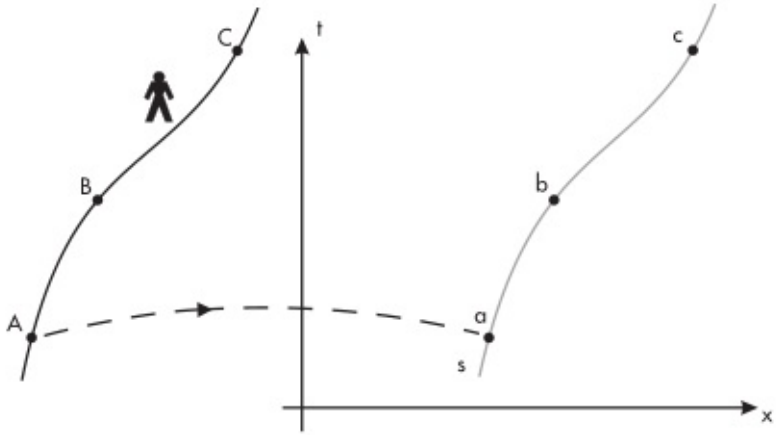


Figura 3.4 **Representação de uma história. A cada ponto *A, B, C…* da trajetória no mundo corresponde uma representação a*, b, c…* Em um espaço idealmente construído.**

OS CAMINHOS DA LUZ

Os caminhos dos corpos materiais são balizados pela luz. Isso significa que nesta representação espaço-temporal os caminhos da luz determinam os limites além dos quais um corpo não pode se mover. Como isso ocorre? Como devemos entender essa afirmação?

Não existe, *a priori*, nenhuma razão intuitiva que nos permitiria imaginar que um corpo material não poderia se propagar de um lugar para outro com qualquer velocidade. Assim, seria pelo menos estranho para nosso *bom senso*[{24}] acreditar que haveria uma impossibilidade de alguma espécie a inibir velocidades além de um certo valor, mesmo que esse valor fosse, para nossos padrões, elevado.

A física newtoniana, dominante até o fim do século XIX, aceitava a

possibilidade da observação total do universo como um princípio formal. A descrição causal e determinista que nela se instalara encaixava-se naturalmente nesta hipótese. Assim, duvidar daquela crença, aceitando a existência de um limite máximo para as velocidades que um corpo material poderia atingir, parecia desprovido de razão maior, por impossibilitar aquele conhecimento instantâneo e completo do mundo. Por mais estranho que possa parecer, é precisamente esta impossibilidade que está na base das idéias, à época revolucionárias e que resultam tremendamente fecundas e verdadeiras, do professor Albert Einstein. Com efeito, uma das conseqüências mais fantásticas da teoria da relatividade, e que está na própria base de sua formulação, se consubstancia na afirmação de que existe uma velocidade máxima de propagação de qualquer corpo material, ou, em contexto mais geral, de toda informação no mundo. Por razões de natureza física, esta velocidade máxima identifica-se, nesta teoria, com a da propagação da luz.

A luz visível ou invisível, isto é, aquilo que os físicos chamam genericamente a radiação eletromagnética, tem um papel fundamental na nossa descrição do mundo, pois é através dela que obtemos praticamente toda informação atual sobre o universo. É portanto indispensável conhecer com precisão seu comportamento, sua dinâmica, seu modo evasivo de se propagar, ora como uma onda, ora em sua complementar ação localizada, como um pacote de energia, isto é, como uma partícula de luz a que chamamos fóton. De um ponto de vista histórico, o exame no século XX, pela física, da propagação da luz teve dois momentos particularmente notáveis.

O primeiro grande momento ocorreu, na primeira década, com o aparecimento da teoria da relatividade especial (TRE) de Einstein, na qual a luz desempenha um papel primordial, possuindo aquela velocidade máxima de propagação de qualquer possível troca de informação. Estamos aqui no território da descrição do mundo organizada por uma categoria privilegiada de observadores livres, isto é, sobre os quais nenhuma força externa está sendo exercida. Chamamos essa classe de *observadores inerciais*. Conseqüentemente,

sendo as partículas mais velozes que existem, os fótons induzem diretamente no mundo uma estrutura causal de caracterização absoluta. Como é isso possível?

ESTRUTURA CAUSAL E HORIZONTE NA FÍSICA RELATIVISTA

Vamos, nesta seção, mostrar o modo pelo qual todo evento no mundo admite uma visualização simples e bastante esclarecedora através de uma conveniente representação gráfica. O leitor não familiarizado com esse tipo de descrição poderá num primeiro momento considerá-los de difícil compreensão. Eu insistiria com ele para que tentasse ultrapassar essa fase: logo perceberá quão simples e abrangente se tornará seu diálogo com os processos físicos.

É conveniente representar um movimento no espaço-tempo por uma trajetória contínua. Por limitações gráficas, todas as nossas figuras serão representadas em duas dimensões: uma, caracterizando o tempo; outra, identificando uma coordenada espacial. Isso não tem significado maior, serve tão-somente para simplificar as figuras. Do ponto de vista das unidades em que trataremos as grandezas físicas, normalizaremos a velocidade máxima, isto é, a velocidade da luz será igual a um. Isso significa que, nesta convenção, as velocidades de todos os corpos deverão ter sua quantidade medida entre os valores 0 e 1.

A trajetória de um fóton, ao ser representada no espaço-tempo, se identifica a um *cone* (usualmente chamado de *cone nulo*), significando que os fótons propagam-se sobre a superfície desses cones. Como todo corpo real possui aquela limitação de velocidade acima comentada, segue-se que sua representação no gráfico espaço-tempo consistirá em uma curva que deverá estar sempre contida no interior daquele cone. Isto induz imediatamente à separação do mundo quadridimensional em duas regiões disjuntas: pontos que pertencem ao interior do cone nulo representam eventos causalmente relacionados, ou possíveis caminhos de observadores reais; e pontos fora do cone nulo, que

representam eventos sem correlação causal (ver Figura 3.5).

O segundo momento notável de reformulação do movimento dos fótons ocorreu como conseqüência da interpretação, por Einstein, da gravitação como um fenômeno associado às propriedades métricas do contínuo espaço-tempo. Sabemos que os fótons, como tudo que existe, matéria ou radiação, interagem com o campo gravitacional. A questão é saber como as trajetórias dos fótons são influênciadas pela gravitação.

Uma primeira solução para esta questão foi apresentada por Einstein ao empreender a extensão de sua teoria da relatividade especial para a teoria da relatividade geral (TRG), usando o chamado Princípio de Equivalência.

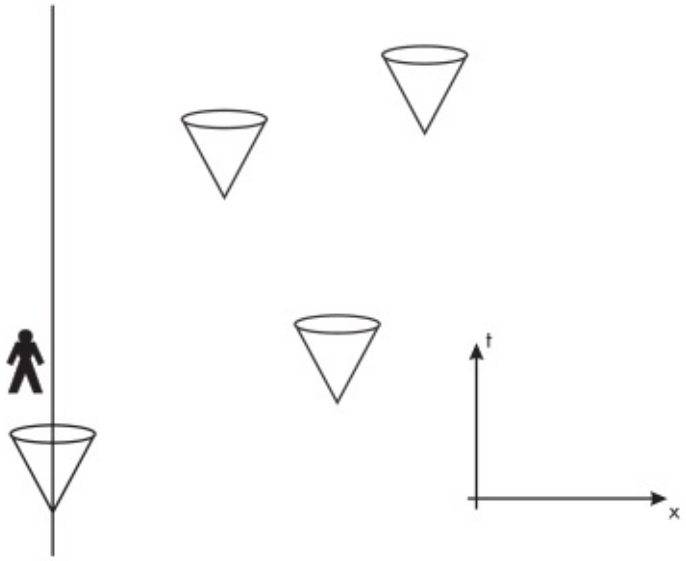


Figura 3.5 **Representação do cone de propagação da luz (na ausência do campo gravitacional). Os fótons se propagam ao longo da superfície do cone (nulo). As linhas que passam por dentro do cone representam possíveis trajetórias de corpos materiais. Além dos fótons, outras partículas de massa inercial nula caminham igualmente sobre a superfície deste cone — como possivelmente o neutrino, caso seja comprovado que sua massa é nula, como se pensa. Note-se, ademais, que todos os cones estão igualmente inclinados a 45^{o}. Como em todos os gráficos aqui, o eixo *x* representa a totalidade tridimensional do espaço.**

Segundo este princípio, é possível anular localmente os efeitos do campo gravitacional. Localmente, aqui, deve ser entendido como sinônimo de puntiforme, isto é, em qualquer ponto arbitrário do espaço-tempo, é sempre possível eliminar o campo gravitacional por uma simples escolha conveniente de referencial. As origens mais profundas desse princípio são encontradas na misteriosa relação entre as massas inercial e gravitacional de qualquer corpo. Com efeito, se m_i representa a massa inercial de um corpo e m_g sua massa gravitacional, então a razão m_i/m_g é uma constante universal e independente da substância deste corpo. É claro que esta relação não pode ser aplicada ao fóton, pois este não possui massa inercial (segundo a TRE, um fóton nunca se encontra em repouso, e, assim, sua massa inercial é nula).

A utilização desse princípio, associado à condição de independência do sistema de coordenadas utilizado (isto é, a chamada covariância geral da teoria), implica uma prescrição simples para, dentro dessa hipótese, descrever o processo de interação entre os campos eletromagnético[25] e gravitacional:

- Fótons movem-se ao longo de curvas que são geodésicas nulas na geometria modificada pelo campo gravitacional.

Isso significa que, como no caso anterior da TRE, para ir de um ponto *A* de coordenadas (t_a, x_a) do espaço-tempo para outro ponto *B* de coordenadas (t_b, x_b), o caminho da luz, isto é, o que chamamos de *geodésica nula* é aquele no qual a distância espaço-temporal entre os pontos *A* e *B* é mínima. A única distinção entre as duas configurações deve-se à diferença de propriedades da geometria do espaço-tempo. Na ausência do campo gravitacional, a geometria do mundo, denominada *geometria de Minkowski*, é plana. Quando o campo gravitacional não pode ser desprezado, a geometria é uma estrutura de Riemann, mais geral: o universo é curvo (ver na seção seguinte um breve comentário explicativo sobre essa questão). Dessa forma, embora em ambas as situações os fótons se comportassem segundo o mesmo princípio, seus caminhos seriam distintos graças à estrutura diferente da geometria do substrato. Os fótons seguiriam assim

por sobre a superfície dos cones nulos que, no campo gravitacional, passariam a ser dependentes de posição no espaço-tempo.

Uma das conseqüências notáveis da existência de uma velocidade máxima de propagação de informação, de energia ou matéria sob qualquer forma é a possibilidade da reformulação do conceito de causalidade. Em vez de examinarmos essa questão em toda sua generalidade, torna-se conveniente e, penso eu, mais claro, considerarmos o caso específico da moderna descrição de nosso universo. Para isso, é necessário fazer um breve panorama geral das principais idéias geradas no século XX sobre a estrutura global do mundo. Ele nos introduzirá também ao que estamos chamando *universo de Gödel* e facilitará a compreensão do sentido da expressão *modelo cosmológico*. É o que faremos a seguir.

OBSERVAÇÕES

Uma pequena explicação

Não é meu propósito neste livro apresentar um exame técnico das questões aqui discutidas, mas somente levar o leitor a examinar comigo algumas das formidáveis aventuras que os físicos estão pondo à disposição daqueles que quiserem se aventurar em suas histórias e lendas sobre o mundo. Procurei, em sua redação, limitar-me à utilização de uma linguagem convencional. Entretanto, é admissível esperar que, em alguns momentos, aqui e ali, eu me deixe levar pelo discurso que me é mais simples, um pouco hermético, comum aos cientistas. Para reduzir as dificuldades ocasionais, ou pelo menos tentar restringi-las, apresentarei algumas notas relativas a esse linguajar especial. Tratarei de apresentar um mínimo de informação para o leitor não familiarizado com alguns termos que usamos em nossa análise. Uma descrição formal mais completa poderá ser encontrada nas referências citadas na bibliografia, como, por exemplo, na bem conhecida obra de Landau e Lifshitz.

Geometria de Minkowski

Ao longo dos séculos, desde os primeiros passos dados pelos matemáticos gregos até o limiar do século XX, o cenário da geometria do mundo parecia estar controlado por aquela configuração idealizada que chamamos *geometria euclidiana*. Essa estrutura pairava como uma característica absoluta do mundo, fora de qualquer intervenção da matéria. Na seção seguinte, veremos como a situação transformou-se radicalmente. Aqui quero simplesmente caracterizar um pouco melhor duas configurações às quais irei me referir com freqüência no restante deste livro. São elas:

- Geometria euclidiana.
- Geometria de Minkowski.

Embora haja vários modos de diferenciá-las, é conveniente usarmos a seguinte forma: ao tratarmos de descrever a geometria do espaço, desde que seja plano (isto é, sem nenhuma curvatura), usamos a geometria de Euclides. Ela permite medir distâncias no sentido convencional deste termo. No começo do século XX, os físicos foram levados a usar um modo unificado de descrever a separação espacial e temporal de acontecimentos, produzindo uma idealização representada por uma estrutura formal única: o espaço-tempo. Assim, uma distância, *lato sensu*, passou a caracterizar uma separação de eventos, requerendo a noção de distâncias espaço-temporais, isto é, caracterizadas não somente por uma separação espacial, mas também temporal. Aqui, a configuração euclidiana de uma geometria (espacial) plana cede lugar para uma geometria de Minkowski, espaço-temporalmente plana.

Teoria da relatividade geral

A teoria da relatividade geral nada mais é que uma proposta bem-sucedida, sugerida por Einstein, de associar os fenômenos gravitacionais a modificações

produzidas por tudo que existe (matéria e energia sob qualquer forma) na estrutura geométrica do mundo. Assim, quando dizemos que, numa região do mundo, existe uma *força* gravitacional capaz de ser sentida por qualquer corpo, podemos descrevê-la, de modo equivalente, como se, em vez daquela força, as distâncias no espaço e no tempo caracterizadas e medidas por réguas e relógios estivessem ali alteradas. A possibilidade formal de fazer corresponder aquela força a essa modificação da geometria só é possível graças precisamente ao caráter universal dessa interação. Explico-me: se podemos empreender equivalentemente a descrição das conseqüências de uma força, associando-a a uma forma especial de alteração no substrato comum a todos os corpos, é porque todos esses corpos devem interagir com aquela força do mesmo modo. É precisamente esse caráter unívoco e universal que possibilita uma descrição baseada na modificação de uma estrutura comum a tudo-que-existe. Se, por alguma razão, esses modos de interação fossem distintos, este cenário alternativo, geométrico, de equivalência daquela força não poderia ser elaborado.

Geodésica

Os matemáticos referem-se a curvas geodésicas como aquelas que minimizam a distância entre dois pontos de um dado espaço (Figura 3.6). Curiosamente, o caminho seguido por qualquer corpo material ou radiação (como um fóton, por exemplo), na presença de um campo de forças gravitacional, é precisamente dado por esta particular curva. Tudo se passa como se a força gravitacional não causasse uma verdadeira aceleração no corpo, mas o fizesse se movimentar como se a estrutura geométrica do mundo fosse distinta daquela configuração descrita pela geometria do espaço-tempo de Hermann Minkowski, esse mundo idealizado onde a gravitação é desprezada.

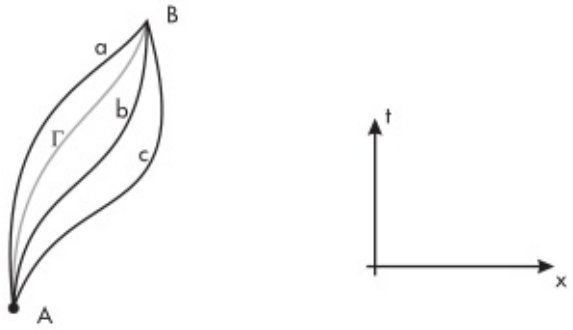


Figura 3.6 **A curva Γ representa a geodésica que liga os pontos** *A* **e** *B* **do espaço-tempo. Entre as possíveis curvas** *a, b, c*...**, a curva escolhida pelo fóton para se propagar é aquela que representa o menor caminho. Matematicamente, isso é representado pelo princípio variacional: δ ds=0, querendo significar que, entre todas as possíveis curvas, Γ extremiza (minimiza) o comprimento Δ*S* entre os pontos** *A* **e** *B***. Note-se que, como todos os demais gráficos aqui, um ponto qualquer é representado por quatro números: uma coordenada de tempo e três coordenadas de espaço. Por razões gráficas, limitamos as coordenadas espaciais a um só componente.**

4. UMA INTRODUÇÃO À COSMOLOGIA MODERNA

UMA PEQUENA HISTÓRIA DA COSMOLOGIA

A história da cosmologia passou no século XX por três momentos distintos, bastante característicos da recente evolução científica da idéia de universo. Vamos aqui revê-los brevemente.{26}

Numa primeira fase, a principal tarefa dos cosmólogos consistia basicamente em criar esta ciência, exibir seu objeto (a *totalidade*) e convencer os demais cientistas de que ela poderia constituir uma estrutura convencional dentro da física, nada mais do que uma qualquer seção desta ciência, tal como a mecânica ou a termodinâmica. Foi uma etapa dura. A grande maioria dos físicos parecia rejeitar a idéia de que seria possível tornar um conceito tão vago quanto o de totalidade em uma estrutura operacional. Aceitava-se mais facilmente a idéia de um espaço-tempo absoluto, ao qual não teríamos acesso imediato, do que a possibilidade de que a ciência poderia experimentar o todo. Embora a física anterior ao século XX, e que chamamos de física pré-relativista, utilizasse como um de seus conceitos mais fundamentais a idéia do substrato global espaço-tempo, ela não examinava a possibilidade de acesso formal a uma descrição analítica dessa estrutura. A fundação da física requeria a existência de um território de sustentação do drama descrito pela ciência, mas não se cogitava em analisar esse território; ou melhor, não havia instrumentos teóricos para uma crítica ao apriorismo de sua fundamentação. Esse era o período dessa ciência que deveríamos chamar de não-crítico.{27}

Ademais, a impossibilidade de realizar observações que não tratassem de uma limitada região do espaço e do tempo parecia ser um limite natural imposto ao homem para sempre. O argumento está longe de ser desprezível e pode, de

um modo simplista, ser recolocado do seguinte modo: toda experimentação, toda nossa indagação experimental do mundo é limitada. Observo e controlo somente um processo finito e limitado, tanto no espaço quanto no tempo. Esta é sem dúvida a própria essência do homem limitado, do ser-que-experimenta. Conseqüentemente, parece se seguir dessa constatação a idéia de que o homem não pode pretender observar a totalidade, mas somente particulares exemplos, átomos do que existe. E se assim é, como podemos pretender tornar o exame desse substrato global, o *espaço-tempo,* como uma atividade normal da ciência?

A questão produziu, durante um longo tempo, uma situação conflitante em alguns setores da ciência. Entretanto, um duplo movimento teórico-observacional ocorrido na década de 1940 pôs fim a essa dificuldade. Com efeito, como resultado de observações astronômicas exibindo o homogêneo afastamento das galáxias umas das outras, chegou-se à conclusão de que o universo como um todo estaria sofrendo um movimento global de expansão: isto é, estávamos na presença de um fenômeno que não correspondia a um processo localizado no tempo ou no espaço; mas sim de um fenômeno que parecia envolver essa totalidade que estamos chamando de universo. Finalmente, pela primeira vez na história da espécie humana, tínhamos acesso a um processo que havia sido tradicionalmente pensado como se estivesse além de toda experimentação possível, transcendendo-a. Chegávamos, enfim, à confirmação de que o homem pode experimentar a totalidade em sua ação. Essa maravilhosa experimentação permitia aos físicos retirar das mãos dos metafísicos aquilo que Kant chamara de cosmologia racional, derrubando de vez com aquele argumento limitador a que nos referimos anteriormente. E mais do que isso: éramos levados à constatação de que aquele substrato espaço-tempo que parecia pairar acima de qualquer exame, como a física newtoniana nos impusera, não era uma estrutura inalcançável, isto é, poderíamos torná-la um tema de investigação no interior da própria ciência, e não mais como parte do território da metafísica; e também perdia sua qualidade mais característica, não era estática. Isso liquidava com uma certa imagem envolvendo a pré-orquestração absoluta e definitiva do

mundo newtoniano, posto que o universo possuía uma dinâmica global, uma *história*; não deveria ser pensado mais como uma unidade congelada, desprovida de qualquer forma de movimento (*lato sensu*), mas sim como um *processo*.

Afinal, essa era a vitória de certos modos alternativos de representar o mundo que a ciência oficial banira completamente. Era possível, por exemplo, voltar a repensar as postulações de Giordano Bruno e seus mundos mutantes, posto que nosso próprio mundo fazia parte, agora, de uma estrutura em movimento, em mudança.

O reconhecimento mais ou menos completo, por parte dos cientistas, do fenômeno de expansão global do universo teve como conseqüência mais notável a queda definitiva da ordem cósmica newtoniana que produzira um universo estático, imutável e absoluto. Esse mundo sólido, fechado sobre si, compromissado com uma visão absolutista e dogmática, dominara desde Newton não só o mundo científico, produzindo aí uma fundamentação da física. Também influenciara praticamente todas as atividades do pensamento que dele extraía suas referências e nele encontrava um paradigma dos diferentes programas filosóficos desde então desenvolvidos.

Surge então, como uma reação, a segunda fase da cosmologia moderna. Ela tinha a função mais ou menos explícita de restabelecer uma certa ordem no mundo, em substituição ao antigo projeto newtoniano.

Nessa fase, a cosmologia{28} consubstanciava-se como uma conseqüência direta das idéias relativistas propostas por Einstein dentro de um cenário específico sugerido pelo cientista russo Aleksandr Friedmann, que iremos brevemente descrever. Não estamos interessados aqui nos detalhes técnicos da proposta, mas tão-somente em algumas de suas propriedades básicas, que caracterizam a nova ordem cósmica. Em seção seguinte, veremos alguns detalhes das propriedades mais fundamentais desse modelo. Aqui, diremos apenas que a estrutura global — o espaço-tempo — possui uma dinâmica gerada, ou melhor, provocada pela matéria e a energia existente.{29} Essa estrutura pode ser associada à evolução da totalidade espacial consubstanciada

na dependência temporal do correspondente volume total do universo. A dinâmica desse volume é controlada pela distribuição de matéria no mundo. Segue-se dessa simples descrição que o universo é espacialmente homogêneo: as características de suas diferentes partes são, pelo menos em escalas cósmicas, indistinguíveis. Essa propriedade teve confirmação observacional ao longo dos anos 1960.

A variação do volume espacial com o tempo — o fato de que o universo parece estar possuído de um movimento global de expansão — provoca de imediato uma idéia fantástica: a do começo do mundo. E é precisamente por aí, num sutil movimento de reconquista de território, que a antiga ordem racionalista e determinista irá se infiltrar, construindo seu *aggiornamento*. O começo do mundo é associado ao tempo em que, no passado, o volume global teria supostamente atingido o valor zero: todo o espaço estaria furiosamente concentrado em um ponto. Essa é uma das várias possibilidades teóricas que aparecem no novo cenário global. Ela se tornará muito rapidamente a dominante e única, tanto no interior do sistema oficial da ciência quanto no panorama geral do pensamento moderno. Essa rápida e irresistível ascensão da idéia de um *começo do mundo*, e seu reconhecimento generalizado para além do mundo científico, na sociedade em geral, pode ser atribuída principalmente ao papel desempenhado pela mídia. Esta transformou uma interessante e conseqüente hipótese de trabalho formulada, sustentada e significante no interior da cosmologia em matéria de sensacionalismo a ser consumida, e com avidez, através do sistema internacional de informação. Como conseqüência, desprovida do rigor e da cautela científicas, aquela hipótese se transformou imediatamente em uma verdade, uma grande, fantástica e certamente excitante verdade identificada com a existência de um momento de criação do universo, com direito a todas as conseqüências que uma tal *verdade*, vinda da ciência, pode produzir.

Não é meu propósito aqui discutir as razões que me levaram a não aceitar a precipitada transformação dessa hipótese em verdade científica. Em outro lugar,

{30} já me estendi longamente sobre isso. Neste livro quero apenas pensar nas principais conseqüências que essa situação — isto é, a existência de um momento único de criação do universo afastado de nós por um tempo finito e mensurável —, induz no contexto de nossa discussão anterior.

No universo newtoniano, a estrutura do mundo estava fora de nosso controle teórico e observacional. As propriedade de sua principal característica, o palco onde se desenrolaria todo e qualquer drama descrito pela física, deveria ser postulado aprioristicamente e restaria inacessível a todo exame ulterior. Embora essa característica tenha sido eliminada pela cosmologia relativista, aquela propriedade fundamental de inacessibilidade reaparece sob uma forma totalmente nova: a *singularidade inicial* ou, em termos populares, o *momento único de criação do mundo*. Ali se ensaiaria todo o processo ulterior que chamamos universo. Ali se esconderiam todas as informações que funcionariam, caso a elas tivéssemos acesso, como condições no antigo sistema newtoniano, produzindo a partir daí um mundo previsível e determinista.

Entretanto, nesse segundo momento da cosmologia no século XX, aquele instante inicial — também conhecido como *big bang* — está, e para todo sempre, fora de nosso controle observacional. A ele não temos acesso algum.

Note-se que estamos na presença de um movimento interessante de mudança do mundo newtoniano para um particular mundo einsteniano. A função de grande inobservável não é mais associada a uma estrutura básica constituída pelo espaço e o tempo da física newtoniana, pois ela se torna a unidade espaço-tempo, adquirindo, dentro do programa maior de reformulação relativista da teoria da gravitação, uma dinâmica controlada pela matéria. Entretanto, aparece aqui uma forma substitutiva, cuja função, no interior da ciência, curiosamente parece ser a mesma. A roupagem é distinta: o novo grande inobservável não aparece como estrutura teórica maior, mas sim como um particular e relevante exemplo das equações de Einstein da gravitação, a saber, precisamente aquele associado a uma configuração geométrica especial do espaço-tempo que utilizamos como uma primeira aproximação para descrever nosso universo.

Qual é o equivalente apriorístico com que deparamos aqui? É a própria origem deste universo. Explico-me: na antiga cosmologia newtoniana, o mundo, isto é, as suas propriedades mais elementares tais como a geometria do substrato espaço-tempo, deveria ser entendido como um dado, sem nenhuma possibilidade de análise ulterior. Na cosmologia relativista, isso é posto em questão. Dá-se um grande passo adiante ao podermos examinar, questionar e propor uma dinâmica para esse contínuo espaço-tempo, que passa a fazer parte do drama da física, não tendo mais a simples função anterior de simples palco. Entretanto, num movimento quase imperceptível de reconquista, esse palco móvel, esse palco objeto, esse palco substância, passa a ser determinado a partir de uma configuração inacessível. Mas isso não é fabricado nos fundamentos da teoria, e sim em um particular e relevante exemplo dentre todas as formas compossíveis de geometria.

Dito em outras palavras: o universo é dinâmico, existe uma evolução, um processo; mas as origens desse processo, as causas dessa evolução estão — e para sempre, neste esquema — fora de nosso controle, impossíveis de serem por nós conhecidas.

Esse é o novo drama que atinge a física. Tiramos uma imensa venda de nossos olhos, pudemos penetrar na essência da caracterização do substrato espaço-tempo do mundo newtoniano, percorremos livremente, maravilhados, os diferentes mundos a que nos deu acesso a nova cosmologia einsteiniana, mas esse encantamento não nos conduziu muito longe: logo fomos levados a reconhecer que as origens deste mundo não podem ser investigadas, que os modos de criação do nosso universo não podem ser sequer formulados ou, se o forem, seriam reduzidos a meros exercícios teóricos, selvagem e incontrolavelmente especulativos. Acordamos para um dia maravilhoso, livramo-nos de séculos de opressão sobre nossa imaginação, para descobrirmos, de forma muito mais completa e inexorável, que os fundamentos do mundo são parte de um mistério que a física não pode decifrar. Seguimos Afinal um *Holzwege*, como diria Heidegger, um caminho que não leva a lugar algum. Ou

melhor, que nos leva somente a uma ante-sala da *grande verdade procurada*. E daí não podemos passar.

Entretanto, os tempos agora são outros. Enquanto foram necessários alguns séculos para rompermos as barreiras impostas pela física newtoniana, bastaram somente algumas décadas para que uma intensa e eficiente crítica ao novo dogma pudesse aparecer, infiltrar-se no cenário oficial da ciência, desvencilhar-se do preconceito apenas recém-estabelecido para finalmente promulgar o aparecimento de uma nova fase na cosmologia. É dessa terceira e recente fase que iremos tratar agora.

Creio que não posso ser acusado de cometer um grande exagero de interpretação se ousar afirmar que o mais formidável, atraente e ao mesmo tempo conflitante problema com que a física jamais se deparou é precisamente aquele de responder à questão: qual a origem de nosso universo? Eu poderia chamar a testemunhar, em favor desta afirmação, o próprio fato de a questão não ser unanimemente aceita como pertinente ao território dessa ciência. Aqueles que assim pensam estão seguros de estarem longe de cometer um pecado reconhecidamente escandaloso contra a lógica. Com efeito, tivéssemos nós que criticar essa proposta, poderíamos começar por questionar qual o objeto da investigação.

Antes de enveredarmos por essa análise, gostaria de abrir aqui um parêntese: somente para simplificar nossa exposição e evitar repetições desnecessárias e enfadonhas, cunharei um neologismo capaz de fazer referência a essa parte de nossa análise chamando de *metacosmologia* aquela atividade que, ainda no interior da cosmologia, se ocupa da questão central concernente à formação, à origem do universo. Isto dito, podemos retornar à nossa questão.

O mundo, o que chamamos genericamente universo, como vimos acima, é constituído de substância (matéria ponderável ou radiação) e um certo substrato contínuo (dado *a priori*, como na versão newtoniana; ou constituindo parte da dinâmica da interação gravitacional como na relatividade de Einstein) que chamamos de espaço-tempo. Somos levados, por tradição filosófica contida nos

esquemas formais de pensamento aceitos e utilizados pelos cientistas, a procurar elaborar uma *cosmogonia*, ciência subsidiária da cosmologia e que trataria da origem, formação e propriedade fundamentais de toda substância do mundo. Essa ciência é bem-vista, aceita como tal e até mesmo possui um elevado *status* no quadro da física. Diferentes esquemas cosmogônicos são examinados, e alguns deles fazem parte de um certo cenário completo do universo que a física dispõe. Campos fundamentais, que dariam origem a toda matéria existente são propostos com base nos diferentes esquemas unificadores que a microfísica que trata das partículas elementares permite estabelecer. Tais campos se valeriam da dicotomia onda-corpúsculo, campo-partícula, local-global que a parte da física chamada teoria quântica faculta considerar, para gerenciar uma hierarquia que, a partir desses campos, levaria toda a pré-matéria do mundo a saltar de seus escondidos estados de equilíbrio básicos para estados excitados de existência.

Por outro lado, uma correspondente seção da ciência — que trataria, consequente e sistematicamente, da origem, formação e propriedades fundamentais do contínuo espaço-tempo — não somente inexistia no quadro da cosmologia, na segunda fase acima descrita, como ainda hoje ela não desfruta de igual prestígio e respeitabilidade quanto a sua correspondente material, a cosmogonia. Não deixa de ser curioso notar que a nomenclatura acima é ambígua. Se formos ao dicionário, ele nos ensinará que a cosmogonia trata da criação e origem do universo, subentendendo por isto a caracterização da substância material do mundo.

Entretanto, a definição que vimos acima é insuficiente para descrever as variadas possibilidades com que o novo panorama científico se depara. Assim, poderíamos ser levados a crer que a criação da matéria e do espaço-tempo poderia ser entendida somente dentro de um quadro unificado, no qual ambas apareceriam concomitantemente. Ora, isso não condiz com o que a ciência vem produzindo. Diferentes possibilidades hierárquicas vêm sendo examinadas, embora estejamos longe ainda de podermos decidir seguramente entre cenários alternativos onde, por exemplo, a matéria nada mais seria que o resultado

ulterior de variados processos que essa estrutura preliminar, o espaço-tempo primordial, poderia exibir.

Dessa forma, deveríamos poder distinguir entre uma cosmogonia de substância e uma cosmogonia de espaço-tempo. No esquema citado, no parágrafo anterior, haveria uma hierarquia entre essas cosmogonias determinada pelo modelo teórico utilizado em suas elaborações.{31} A razão principal para essa desigual situação entre elas parece ter origem precisamente na crítica implícita que a cosmogonia do espaço-tempo é obrigada a produzir como pré-requisito à sua própria fundação. Com efeito, a cosmogonia de substância pode, embora hibridamente, coabitar um esquema científico em que exista uma singularidade inicial, um começo do universo. Esse estado inicial conteria o germe de toda substância material. Entretanto, e por razões a serem ulteriormente examinadas, difi cilmente uma cosmogonia do espaço-tempo poderia conviver com a redução completa do universo, em algum período de sua história, a um volume zero, a um ponto.

Isto dito, podemos enfrentar nossa questão: qual é, enfim, a caracterização desta terceira fase da cosmologia que vislumbramos acima? E por que nos alongamos tanto na definição do termo cosmogonia?

A resposta é simples: a nova cosmologia pretende inventariar os modos de criação do universo. Ela pretende estabelecer, a partir de princípios que a física construiu para descrever os diferentes processos observados no mundo, alguns vínculos a que qualquer estrutura formal que pudesse ser projetada em nossa realidade deveria naturalmente obedecer. Isto é, estamos procurando descrever uma ciência de totalidades compossíveis, de universos compatíveis. E o único critério que podemos aceitar sem violar regras convencionais da boa ciência conduz-nos a eliminar aqueles processos que não teriam probabilidade alguma de ocorrência em nosso mundo. Como podemos tratar essas possibilidades sem que estejamos no limiar de considerar nada além de fantasias? A cosmologia, ao pretender estar no coração da ciência, procura, como sempre, sem paixão aparente, as suas razões, os seus esquemas fundamentais, os seus apriorismos

escondidos. Para isso, um guia competente é escolhido. Dentre os vários caminhos possíveis, ela deve escolher um único.

Mas a primeira condição para qualquer futura cosmologia consiste em erguer sobre sólidas bases uma cosmogonia completa. E, pelo que vimos acima, isso requer preliminarmente uma teoria da formação da estrutura clássica que chamamos espaço-tempo. Isso significa não somente que devemos pensar em um tempo em que não havia o tempo, mas que estamos tentando produzir um cenário formal, com uma linguagem própria e universal, no qual aquela estrutura (tempo e espaço) seria *convidada*, e nada mais que isso, a existir.

Isso cria uma dificuldade formal de compatibilização com o resto da física que não permite uma descrição clássica abstraída de configuração no sistema espaço-tempo. A tensão entre a nova face de investigação, que chamamos metacosmologia, em plena fase efervescente e exuberante de criação, e a parte convencional e limitada da ciência, isto é, a física tradicional, provoca em diferentes contextos um combate que, em outros tempos, veríamos como uma ruptura da tradição racional. Entretanto, trata-se de perseguir precisamente um esquema globalizante e racional. Só assim podemos entender mecanismos de formação do espaço-tempo. E como podemos eliminar aquela singularidade inicial, transformando o começo do mundo em um mecanismo de formação do contínuo espaço-temporal, abre-se ante nós essa nova trilha: a metacosmologia. Deste modo, estamos realizando a tarefa da refundação ou fundação crítica da cosmologia, capaz de nos levar para além de suas formulações provisórias anteriores.

Uma primeira tentativa nessa direção partiu da conciliação da física da gravitação com a teoria quântica. Outro procedimento, menos ambicioso, mas igualmente engenhoso, permitia distinguir não somente um único universo, mas vários universos-filhotes gerados a partir de uma estrutura particular e que não poderiam trocar nenhum tipo de informação. Cada um desses exemplos de universos, digamos assim, estaria separado de todos os outros por uma membrana, um horizonte de informação intransponível. Sabemos de suas

existências porque possuímos um mecanismo de sua formação baseado em esquemas tradicionais e conhecidos da física. Devemos nos contentar com isso? Estamos seguros de que esses nossos companheiros-de-existências estão realmente na ante-sala ao lado? Podemos encontrar alguma pegada, algum vestígio, por menos material que seja, de suas existências? Enquanto seguimos desesperadamente nessa procura, devemos esperar que o esquema nos reconcilie com a unificação perdida, ao aceitarmos a extensão de nossa ciência que nos levou a considerar a realidade desses universos?

Entretanto, devemos ter em mente que não basta, para avançarmos nesta trilha, que olhemos para além do nosso horizonte: é indispensável que eliminemos esse horizonte, a condição do horizonte. Essa tarefa possui conseqüências inesperadas: diferentes universos-ilhas, que não trocariam informações e que, no esquema anterior tradicional, poderiam conviver, devem ser repensados, e suas realidades, reexaminadas. Não em nome de um antropocentrismo científico. Nem em nome de uma objetividade que elegeria a observação continuada como critério de *realidade*. Isso porque não se trata agora de esconder as informações relevantes do mundo. Mas de codificá-las diferentemente. Não mais procurar nos nossos corpos o paradigma de representação do mundo. Mas ir além, produzindo essa nova realidade não-representável em termos de espaço-tempo: o pré-universo. Essa tentativa da cosmologia parece colocar-nos numa fronteira cujo outro lado é um abismo. Devemos dar ainda um passo à frente? Saímos, desse modo, da atividade científica para penetrar em um território que não está sob sua jurisdição? O objeto da metacosmologia, estes pré-universos, talvez sem leis naturais, estariam esperando por nós para que lhes permitíssemos o acesso à realidade? Ou devemos, obedientemente, voltar nossas costas para esse canto de sereia em que a metamorfose da cosmologia, esta metacosmologia, girando sobre nossa razão, pretende nos enlevar, atraindo-nos para além do território seguro de nossa observação, aquilo que constitui nossa herança racional, a própria história de nossas descobertas? Esta é a tarefa que temos pela frente: decidir que caminho

devemos escolher para seguirmos com nossa análise do mundo.

Em que nível de generalidade a resposta a essa questão deve ser procurada? Devemos providenciar, como sempre o fizemos, uma saída coletiva? O que fazer com as teorias de formação do universo? Atirálas ao jogo filosófico de encantamento? Ou produzir uma teoria do homem? E deveríamos, assim, abandonar aquela herança impessoal de que tanto nos orgulhamos ao construirmos a ciência? O simples fato de que fomos levados a formular essas questões, tão atípicas na física, não daria razão àqueles que ainda na primeira fase da cosmologia do século XX se recusavam a considerá-la como uma ciência convencional? A resposta é *não*! Atacar essas questões é o preço que devemos pagar para produzirmos uma re-fundamentação da cosmologia, isto é, da física. Pois, Afinal, este é o objetivo desta crítica da razão cósmica que estamos construindo.

Deixarei aberta aqui a questão, porque ela nos afasta do propósito deste livro. Creio, no entanto, que o leitor me dará razão ao afirmar que ela merece uma investigação mais profunda. Espero, em outro lugar, voltar a ela.{32}

Depois desse longo desvio, no território complexo em que se desenvolveu a cosmologia no século XX, podemos retomar a tarefa mais simples e voltar à descrição de algumas propriedades mais específicas do modelo-padrão da cosmologia.

5. UNIVERSO EM EXPANSÃO

A cosmologia relativista tem uma data precisa de formação: 1917. Foi nesse ano que o criador da teoria da relatividade geral, na época uma nova descrição dos processos gravitacionais, considerou a natural aplicação dessa teoria à totalidade do espaço-tempo, gerando aquilo que, a partir de então, chamamos um *modelo cosmológico*, isto é, a combinação de duas entidades básicas:

• Uma geometria única global.

• Uma distribuição de matéria/energia.

Essas duas quantidades estão correlacionadas através das equações de Einstein da gravitação. Assim, o conhecimento do conteúdo material do mundo determina uma configuração geométrica correspondente. Por razões em parte teóricas e em parte observacionais, o cenário que mais se adapta a nosso universo parece ser aquele descrito há mais de 70 anos pelo cientista russo Friedmann. Embora este cenário não tenha sido o único considerado pelos cosmólogos ao longo do século, aqui nos limitaremos a examinar suas propriedades e características principais, posto que não é meu objetivo neste livro estender-me sobre os diferentes modelos cosmológicos propostos.{33}

Na verdade, o que se costuma chamar *modelo de Friedmann* constitui uma classe de diferentes configurações não-equivalentes, particularizadas por diversos elementos que dependem dos diferentes parâmetros contidos na caracterização quer da matéria, quer da geometria. Entretanto, para nossos propósitos aqui, essas diferenças serão deixadas de lado e, como elas se equivalem qualitativamente, trataremos de maneira genérica um só exemplo típico desta classe.

REPRESENTAÇÃO CONVENCIONAL ESPAÇO-TEMPORAL NO UNIVERSO DE FRIEDMANN

Vimos como as *nuances* da descrição que a física faz do mundo, através da escolha da linguagem simbólica utilizada, podem variar enormemente. Para reduzir essa arbitrariedade, convencionou-se utilizar, sempre que possível, uma particular representação espaço-temporal em que os acontecimentos adquirem um nome identificado com um conjunto especial de quatro números. Uma prática típica organiza esses números do seguinte modo: um deles serve para situar o evento no tempo; os outros três, para identificá-lo no espaço. Sabemos hoje que essa separação do mundo em três dimensões de espaço e uma de tempo não é a única e, às vezes, nem mesmo a mais conveniente.

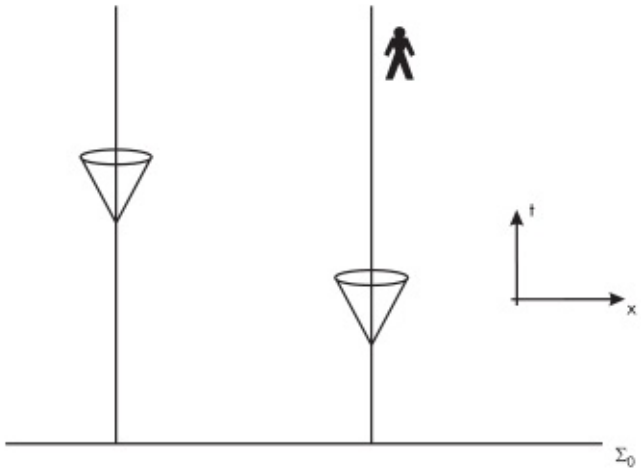


Figura 5.1 **Representação dos cones de propagação dos fótons no universo de Friedmann. Os cones de luz estão, como no caso do espaço-tempo vazio de Minkowski, inclinados a 45^o (gráfico (t,x)). A curva Σ_0 representa todo o espaço tridimensional em um dado tempo t_0 e as curvas perpendiculares são trajetórias de corpos materiais.**

Estamos preparados para utilizar outras convenções. Entretanto, por razões históricas, temos uma certa tendência a priorizar esta representação, que chamamos gaussiana. Nela, a idéia de um tempo único, global, comum para todos os observadores envolvidos na descrição do mundo, é estabelecida *a priori*. É precisamente essa idéia que nos permite, por exemplo, dar sentido aos gráficos que estamos usando em nossa descrição dos caminhos dos fótons

(Figura 5.1), onde tempo e espaço são separados globalmente.{34}

HORIZONTE DE INFORMAÇÃO NO UNIVERSO

O modelo produzido por Friedmann é *dinâmico*. Isso significa, por exemplo, que o volume correspondente à totalidade do espaço tridimensional aumenta com o tempo (Figura 5.2). Na maioria dos cenários clássicos do universo, que dominaram a cosmologia ao longo dos anos 1970 e 1980, esse volume poderia ter atingido o valor zero, a um tempo finito, t_0, de nós. Este número t_0 mediria, nesta interpretação, o *tempo de vida do universo*. Examinaremos a seguir algumas de suas conseqüências. Não porque ele tenha obtido uma comprovação observacional definitiva de sua validade, mas somente porque é mais simples para expor algumas das curiosas propriedades que esses modelos de Friedmann possuem, bem como para exibir, em conseqüência, suas dificuldades.{35}

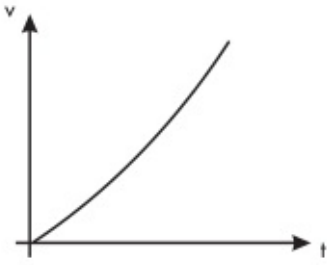


Figura 5.2 **Representação da variação do volume espacial** *V* **do modelo de universo de Friedmann com o tempo cósmico** *t*.

Considerem-se dois observadores Γ e Δ como na Figura 5.3. Suponhamos que em *A* o observador Γ mande uma informação (digamos, acenda uma lâmpada) para Δ. Este só tomará conhecimento desta informação em *B*, isto é, o ponto onde o cone nulo centrado em *A* atinge a trajetória Δ. Esta não-

simultaneidade de tudo que existe no mundo provoca uma série de questões extremamente delicadas com que a cosmologia moderna se defronta. Voltemos a considerar, por exemplo, o gráfico seguinte do universo de Friedmann (Figura 5.4).

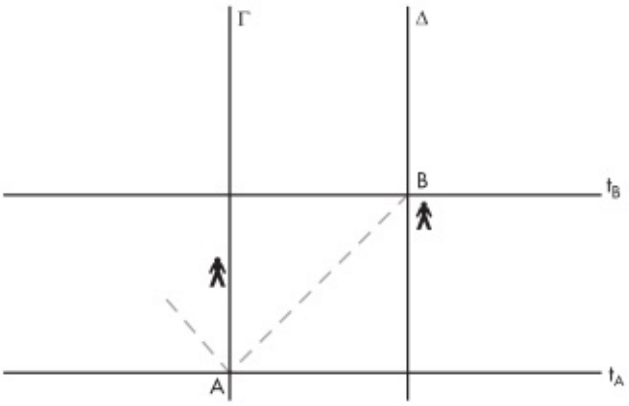


Figura 5.3 **Cone de luz do futuro do evento** *A***. Informação chega ao observador Δ somente no instante** t_B **em** *B***.**

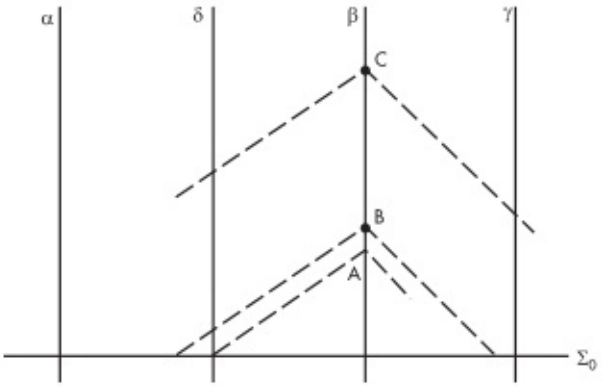


Figura 5.4 **Representação esquemática da troca de informações no universo de Friedmann.**

O observador que se move ao longo de β, ao atingir o ponto *B* de sua trajetória, não tem nenhum conhecimento (desde o começo do mundo representado por $\sum_0$) da existência dos corpos α e γ, mas sabe, por exemplo, da existência de δ desde *A*.[{36}] À medida que o tempo passa, mais e mais informações chegam ao observador β — por exemplo, no instante *C*, β já terá

recebido informações dos corpos α e γ. Assim, para cada observador, e em cada instante de tempo, existe um horizonte além do qual o observador não pode ter tido ainda informação alguma.

Considere agora a situação do universo singular de Friedmann, fechado, onde, além de um começo $\sum_i$, o universo poderia ter um fim $\sum_f$. Se os fótons se movimentam por geodésicas nulas, então dois observadores, digamos, duas partículas materiais α e β (Figura 5.5), nunca terão conhecimento um do outro durante toda a sua existência, posto que o universo fechado de Friedmann teria assim um começo $\sum_i$ e um fim $\sum_f$.

A existência de uma velocidade máxima de informação em um universo temporalmente finito produz uma série de questões fascinantes e que mereceriam um estudo detalhado. Entretanto, nosso caminho aqui será outro. Examinaremos agora como este quadro de caracterização da evolução do universo foi totalmente conturbado por uma estranha descoberta de Gödel, recolocando uma questão que parecia, de longa data, resolvida no interior da ciência. Estamos, portanto, preparados para penetrar em um mundo quase mágico, possivelmente além de qualquer fantasia sobre o tempo, que poderíamos, em nossos momentos de devaneio, imaginar.

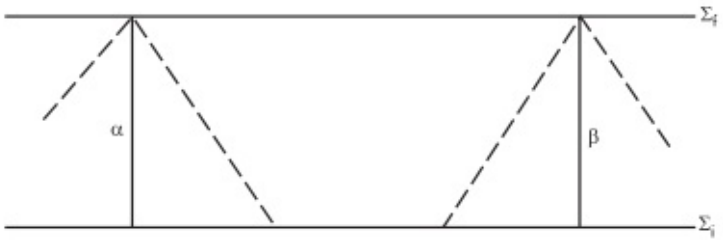


Figura 5.5 **Representação esquemática do universo fechado de Friedmann, segundo o qual o universo teria tido um começo Σ_i e terá um fim Σ_f. As curvas α e β representam observadores arbitrários. Em pontilhado, traçamos as trajetórias de propagação de informação (luz).**

OBSERVAÇÕES

Além da velocidade da luz

A estrutura do espaço-tempo foi dominada, no século XX, pela idéia de que a velocidade máxima possível para qualquer troca real de informação seria a da luz. Vimos nas páginas anteriores como a hipótese gerenciou toda nossa imaginação e consubstanciou uma visão definida, determinada e causal do mundo. Depois de ter pretendido conduzir o leitor a aceitar as idéias que os físicos desenvolveram no século XX, vou agora procurar levá-lo a repensar comigo esta convicção que os físicos possuem, mas que, por várias razões, está sendo posta em dúvida.{37} Isto é, pensaremos o caso em que aquela limitação pode não ser verdadeira. Ou melhor, vamos verificar se existem circunstâncias nas quais ela poderia deixar de ser verdade e por onde os físicos poderiam exibir essa novidade. Sem pretender esgotar o tema, vamos nos limitar ao exame crítico da propagação das ondas gravitacionais.

Ondas gravitacionais

Vimos como ocorre, na física moderna, a idéia de propagação de um campo, de uma interação, em suma, de uma força. Por diversas vezes comentamos sobre o fato de que o cone de luz local, em cada ponto do espaço-tempo, determina a estrutura causal do mundo. Entretanto, vários autores têm examinado teorias que descrevem a propagação de ondas gravitacionais que produziriam uma organização causal distinta. Não vou entrar nas especificidades dessas propostas, mas somente alertar para tal possibilidade e deixar que se imaginem as conseqüências sobre a estrutura do mundo que isso acarretaria. Se me refiro a ela, se desvio a nossa atenção para essa possível mudança drástica na ordem causal, é porque, no panorama científico mundial, aparece cada vez mais claro que a detecção das ondas gravitacionais possivelmente será feita ainda no nosso século, tornando a possibilidade acima uma verdade ou eliminando-a da

elaboração da cena causal do mundo.

Os teoremas de singularidade

Durante o final dos anos 1960 e toda a década seguinte, os cenários cosmológicos aceitos pela comunidade científica possuíam um começo explosivo. Mais do que isso: havia uma tendência hegemônica absoluta considerando o universo temporalmente finito, com origem em uma *singularidade* separada de nós por um tempo finito. A sustentação formal dessa ideologia apareceu travestida sob a forma do que ficou sendo conhecido, no jargão técnico, como o título dessa seção. Esses teoremas relacionavam algumas hipóteses de fácil aceitação a considerações que poderiam, embora não necessariamente, ser identificadas com configurações singulares, tais como aquela que existe no modelo explosivo de Friedmann. Entre as hipóteses, podemos citar:

- Positividade de energia.
- Validade das equações de Einstein para a gravitação clássica.
- Existência de um tempo global.

Se estas condições são satisfeitas, segue-se então que alguma forma de singularidade deve existir no universo. Enquanto as duas primeiras condições parecem ser válidas, não temos nenhuma evidência capaz de nos garantir que um sistema gaussiano completo de coordenadas possa ser construído no universo. Em particular, do que veremos ao tratar de configurações que admitem CTC, segue-se a negação da terceira hipótese.

Como um resultado tão dependente de uma condição sobre a qual os físicos não tinham nenhum controle conseguiu alçar-se a um estágio tão alto junto à comunidade científica, a ponto de gerar aquela ideologia explosiva que tratamos anteriormente, esta é certamente uma questão que interessa ao historiador de ciência. Não entraremos aqui nesta análise. Quero só acrescentar que, descontentes com o começo irracional do universo exibido pelo modelo de

Friedmann, os físicos passaram a considerar modificações daquelas hipóteses como alternativa que a natureza poderia ter usado na sua formação. Em particular, uma tentativa que encontrou grande sucesso nos anos 1990 consiste em ir além da estrutura clássica do mundo que a teoria de Einstein fornece, introduzindo nela elementos quânticos capazes de afetar aqueles cenários.

6. KURT GÖDEL

O professor Gödel notabilizou-se graças sobretudo às suas inesperadas conclusões sobre o completamento das matemáticas. Suas inovadoras e profundas análises sobre a estrutura da lógica e seus teoremas concernentes à limitação de toda demonstração formal de coerência interna de uma linguagem tornaram-se um marco importante na história do pensamento contemporâneo, e fizeram de seu nome uma referência obrigatória em todo discurso sobre a lógica. Entretanto, poucas pessoas fora do círculo restrito dos relativistas conhecem seus trabalhos concernentes à estrutura formal do tempo; e, assim, desconhecem que ele foi o principal personagem da formulação moderna daquilo que, simplificada e provisoriamente, estamos chamando de *viagens não-convencionais no tempo*, querendo com isso significar, por exemplo, um possível retorno ao passado.{38}

É desses trabalhos que quero comentar aqui e enfatizar como Gödel, quebrando uma sólida tradição na ciência, provocou uma profunda alteração no conceito científico da direção dos processos temporais sem igual na história. Ele produziu, assim, um modo de pensar o movimento que a ciência até então relegara ao terreno da imaginação fi losófi ca e da literatura. Esse pensamento gödeliano — uma vez iniciado, através de sua nova prática de tratar o movimento, bastante distinta da convencional — arrastou outros autores na mesma caminhada e deu início à moderna versão científica da noção de *viagem ao passado*.

UNIVERSO EM ROTAÇÃO:
AS FANTASIAS DE GÖDEL

No dia 31 de agosto de 1950, perante o Congresso Internacional de Matemática ocorrido em Cambridge, Massachusetts, o professor Kurt Gödel realizou uma conferência que provocaria uma tremenda modificação em nossas

idéias sobre a questão do tempo. Tentarei agora descrever, em linhas gerais e sem detalhes técnicos, o que Gödel disse não somente naquela aula, mas também em observações complementares num artigo científico anterior.

Com efeito, em 1949, Gödel apresentara a descoberta de uma nova geometria para caracterizar a estrutura métrica do universo. Embora essa geometria tivesse legitimado sua constituição por ter sido obtida como uma particular solução exata das equações de Einstein da gravitação, ela possuía uma propriedade que a singularizava dentre todas as demais soluções, não só aquelas conhecidas à época mas mesmo posteriormente, até os dias de hoje. A geometria de Gödel é efetivamente tão estranha, possui características tão novas, coloca questões de fundamento tão difíceis de serem resolvidas no interior da teoria da relatividade geral que não deveria causar espanto o fato de que ela tenha alcançado um *status* extremamente alto dentre todas as possíveis geometrias. E curiosamente, que pelo mesmo motivo tenha sido descartada de imediato como candidata possível a representar alguma etapa da história global do nosso universo.

A GEOMETRIA DE GÖDEL

Em todos os modelos cosmológicos criados anteriormente ao proposto por Gödel, e que descrevemos brevemente na seção anterior, tanto a geometria do espaço-tempo quanto a matéria responsável pela modificação dessa estrutura constituem configurações idealizadas. A geometria possui certas simetrias que lhe dão uma apresentação simples e tratável matematicamente; e, por outro lado, a matéria é identificada a um fluido perfeito, ideal, livre de qualquer forma de ação externa. Alguns desses modelos admitem, além daquela matéria, uma contribuição adicional vinda do vácuo. Essa energia do vácuo constitui a contribuição total de todos os campos existentes, em seus estados fundamentais, e aparece como uma conseqüência direta de efeitos quânticos, isto é, da dualidade e da descontinuidade escolhida no mundo. Não entraremos aqui nos detalhes técnicos que a envolvem. Diremos somente que é possível caracterizá-la

por uma constante única, e que, por tradição, desde a época de sua criação por Einstein, chamamos de *constante cosmológica* e representamos pela letra grega λ (rambda).

O esquema de Gödel para construir sua geometria não difere em nada daqueles previamente apresentados em seção anterior. Como toda geometria que se estabelece a partir da teoria da gravitação, também possui como fonte principal dois termos:

• Um fluido perfeito, sem nenhuma interação entre suas parte.

• Aquela energia do vácuo, representada por λ.

Não há aí nada de especial que a singularize. A sua particularidade aparece ao procurarmos caracterizar o estado de movimento da matéria que gera aquela geometria, isto é, as características cinemáticas daqueles observadores que se locomovem com a matéria. Dito de outro modo, devemos investigar como se movimenta a matéria aí, neste espaçotempo. Aqui aparecem grandes novidades. A mais importante delas, e que está na base de toda nossa discussão futura sobre este modelo, consiste no fato, observado primeiramente por Gödel, de que, embora essa estrutura composta de matéria-geometria seja estática, não possua uma evolução temporal, o fluido cósmico que provoca essa geometria possui uma rotação intrínseca. Não é um processo global de rotação, isso requereria, para ser medida, um observador externo a este universo e, conseqüentemente, tornaria tal situação impossível de ser efetivada. Trata-se não de um movimento solidário de todas as partes deste universo, mas sim de uma rotação local, uma vorticidade associada a cada parte do substrato material gerador dessa geometria. Os físicos sabem reconhecer, através de medidas locais, a existência de tal vorticidade. Note-se que nada é dito sobre a eventual origem da rotação. Os modelos típicos de geometrias do universo constituem-se precisamente, desta forma, como configurações simples idealizadas que se esgotam em si, gerando um sistema fechado sem uma origem ulterior.

Tudo se passa, nesse universo de Gödel, como se a matéria em todos os

pontos estivesse girando em torno de um eixo de rotação local. Essa propriedade aparentemente inocente, a existência dessa rotação, tem uma conseqüência fantástica: permite a presença, nessa geometria, de curvas do tipo-tempo fechadas. Ora, sabemos que uma curva do tipo-tempo é um possível caminho de um observador, de qualquer corpo material. Isso significa que, ao percorrer essa trajetória, este observador, esta matéria, estaria violando uma de nossas mais sólidas certezas sobre a questão temporal, aquela que estabelece que todo corpo material só viaja para o futuro e, assim fazendo, se afasta de seu passado. Por que isso não ocorre, em geral, neste universo de Gödel? Qual a origem e as conseqüências de uma propriedade tão... escandalosa?

CTC

Esta seção examinará curvas do tipo-tempo fechadas, que designamos CTC, e explicará com um pouco mais de detalhes o que os cientistas entendem por essa denominação, e as conseqüências que decorrem de sua existência no mundo. Veremos como é possível descrever tecnicamente o significado do que chamamos *viagem ao passado* como nada mais do que um passeio através de uma CTC.

Ao examinarmos esta curva, e para que possamos apreender o que ela tem de especial, de inusitado, é útil um pequeno esclarecimento para aqueles que não estão acostumados com o tipo de representação que empregamos. Vimos, em seção anterior, como os físicos descrevem acontecimentos, eventos no mundo. Sua caracterização contínua, isto é, sua história, se identifica com uma curva no espaço-tempo quadridimensional. Assim, devemos estar atentos ao fato de que uma curva fechada, neste quadriespaço, representa um fenômeno inusitado, fora de nosso cotidiano. Note-se que essa figura não deve ser confundida com representações espaciais convencionais.

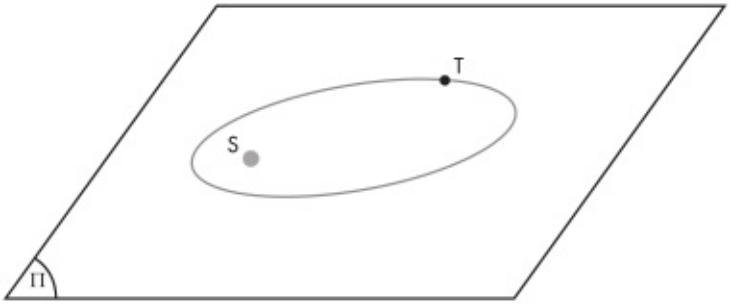


Figura 6.1 **Movimento da Terra em torno do Sol. Representação espacial. A evolução do movimento da Terra, o componente temporal, não se encontra representada.**

Explico-me: quando representamos um movimento no espaço tridimensional, digamos, o movimento de um planeta (a Terra, por exemplo), a aparência dessa representação é bastante semelhante à da Figura 6.1. Entretanto, há uma diferença fundamental entre elas que faz com que a representação do movimento da Terra seja convencional, compreensível, e torna aquela outra curva no universo de Gödel altamente suspeita e incompreensível. A razão está relacionada ao fato de que a figura do movimento da Terra nada mais é que um instantâneo, uma fotografia em um dado momento da situação da trajetória que a Terra executa. Ela não está representando a ação, o movimento como tal: só o seu caminho no espaço. Se quisermos representar a verdadeira trajetória da Terra, teremos que incluir na figura a componente temporal ausente daquela representação anterior. A Figura 6.2 faz precisamente isso.

Espero com esse pequeno exemplo ter esclarecido a diferença fundamental entre as duas figuras e como devemos compreender a curva fechada de Gödel, uma verdadeira novidade em nossa descrição temporal do mundo. É importante que nos detenhamos um pouco para compreender este ponto, caso contrário encontraremos dificuldades em entender o significado que devemos atribuir à expressão CTC, cerne de nossa questão aqui. Isto dito, podemos retornar à nossa análise.

Uma curva do tipo-tempo fechada (CTC) consiste, portanto, numa violação explícita das idéias mais primitivas da ciência com relação às características do

tempo.

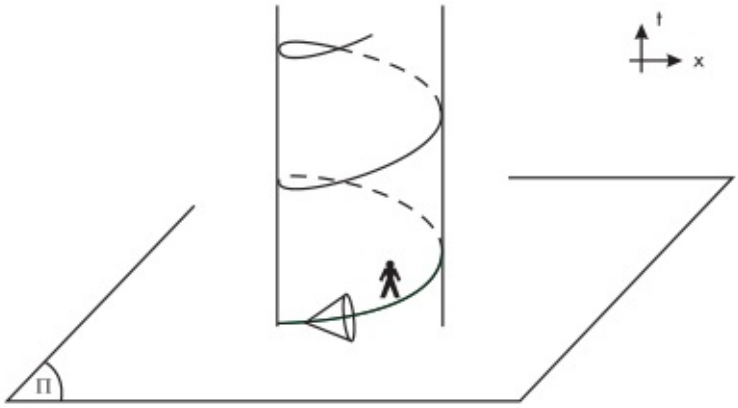


Figura 6.2 **Movimento da Terra em torno do Sol. Representação espaço-temporal. Note-se que a figura anterior pode ser obtida a partir desta por meio da projeção do movimento da Terra sobre o plano Π.**

Com efeito, consideremos a representação do universo vazio de Minkowski (Figura 3.5). Ao representarmos o eixo *t* perpendicular à superfície Σ, defi nimos naturalmente os cones de luz como representados por retas que fazem um ângulo de 45º com os eixos. Desse modo, um corpo material, pelo que vimos anteriormente, deve movimentar-se somente pelo interior desses cones. Segue daí que a representação do estado de movimento de um corpo qualquer por esta linha só pode cruzar aquela superfície Σ uma e somente uma vez. Dito de outro modo: na geometria de Minkowski,[{39}] a propriedade local de que todo corpo deve se movimentar pelo interior do cone nulo local implica que todo movimento para o futuro afasta este corpo de seu passado. Devemos precisamente a naturalidade, ou melhor dito, a trivialidade dessa observação à nossa experiência comum cotidiana. Olhemos então para a Figura 6.3. Consideremos os pontos *P* e *Q*. O que está aqui acontecendo?

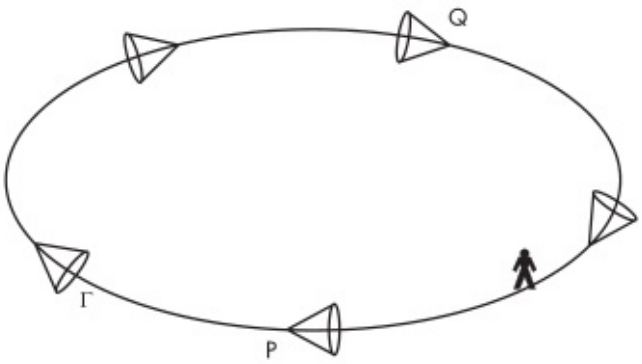


Figura 6.3 **Um exemplo notável da modificação das propriedades dos cones de luz (os caminhos da luz), representando situação típica da geometria de Gödel (1949) de um universo onde a matéria incoerentemente distribuída no espaço (isto é, sem interação entre si) possui um movimento de rotação local. Neste universo, existem curvas aceleradas, caminhos possíveis de corpos reais, fechadas como mostra a figura. Isto significa que um observador que se movimentasse sobre esta curva Γ poderia retornar a seu passado. Note que isso inibe a possibilidade de construção de um tempo cósmico (global) neste universo. Lembre-se de que todo movimento real deve ser realizado pelo interior do cone de luz local.**

Sabemos que localmente qualquer corpo viaja por dentro do cone de luz local. Esta é a imposição que se deve ao fato de que não é possível a nenhum corpo material mover-se com velocidade igual ou maior que a da luz. Assim fazendo, estamos localmente e em qualquer momento satisfazendo as leis físicas bem como nossas idéias primitivas sobre a evolução no tempo. Tanto no ponto *P* quanto em *Q* ou em qualquer outro, não existe aparentemente nada que nos faça suspeitar de uma catástrofe temporal iminente. Mas ela está acontecendo! Um simples olhar para a figura nos mostra que alguma coisa incontrolavelmente diferente está ocorrendo. E mais: perguntamo-nos como é possível que, embora esteja sendo satisfeita a regra máxima de que os corpos caminham sempre por dentro do cone de luz local, isto é, respeitando em cada ponto desta curva a estrutura causal local, o ponto *P* possa ser visitado mais de uma vez! Pois é precisamente isso o que está acontecendo. Um observador que se movimenta

nesta curva poderia passar duas e, conseqüentemente, infinitas vezes pelo mesmo ponto no espaço-tempo! Ou seja, ao percorrer essa trajetória um observador experimenta o fenômeno de volta ao seu passado. Um exame das origens da possibilidade de existência de uma tal curva nesta geometria mostra que é a força gravitacional, ao encurvar os cones da luz, a responsável por isso.

Segue-se, então, que a propriedade local de obedecer à regra de que não existe velocidade maior que a da luz não garante que um observador esteja impossibilitado de voltar ao seu passado. Embora a existência, em princípio, dessa curva temporal fechada seja conseqüência da interação da gravitação com a luz, isso não implica que um corpo material somente submetido à força gravitacional possa efetivamente circular por sobre essa trajetória temporal fechada. Ao contrário, é possível mostrar que, para que um corpo material possa seguir esse caminho, é indispensável que uma força externa de origem não-gravitacional atue sobre este corpo.{40} Como entender tal situação? Como imprimir a um corpo material a força necessária para fazê-lo seguir uma CTC? Vamos procurar esclarecê-lo a seguir. Antes, porém, segue um breve comentário relativo à atitude geral dos cientistas em face desta questão.

CTC: AS DIFERENTES OPÇÕES

Vamos nos deter um pouco aqui para descrever, em linhas gerais, as atitudes dos cientistas envolvidos nestas pesquisas, isto é, os princípios básicos a que eles se referem para manter a coerência interna da física, ao tratar processos que admitem a presença de curvas tipo CTC. Em geral elas podem ser caracterizadas de um modo esquemático em três categorias que podemos sintetizar nas afirmações básicas seguintes:

1. As leis da física proíbem o aparecimento de CTC.
2. As leis da física permitem o aparecimento de CTC e a natureza as exibe.
3. As leis da física permitem o aparecimento de CTC, mas a natureza

organiza-se de tal modo a escondê-las de um observador externo, isto é, que não viaje por ela.

Vamos esclarecer brevemente cada uma dessas atitudes. Comecemos pela primeira atitude acima. Do ponto de vista de um físico, a maior dificuldade em conciliar a presença de CTC com nossas idéias convencionais de evolução das estruturas materiais prende-se ao chamado princípio de Cauchy. Para entendermos esse princípio, devemos lembrar que a física moderna, pós-newtoniana, se organiza através da linguagem matemática das equações diferenciais. Tais equações caracterizam e representam simbolicamente a contigüidade espaçotemporal do mundo. Elas permitem realizar simbolicamente, com uma linguagem formal própria e autocoerente, a idéia de *processo*. A estrutura do mundo newtoniano adquire a forma de uma complexa teia de inter-relações na qual cada acontecimento encontra-se umbilicalmente relacionado a uma seqüência de eventos ou *processos* que constituem sua cadeia de estrutura causal. O princípio de Cauchy introduz uma ordenação nesta cadeia, nela distinguindo uma direção seqüencial. Essa distinção estabelece assim uma evolução dos processos naturais que passa a ser identificada como a *natureza temporal do mundo*. Tudo se passa como se em cada elemento (ou evento) daquela cadeia estivesse embutida uma série de *dados iniciais* a partir dos quais toda seqüência posterior (e/ou anterior) poderia ser teoricamente conhecida. Isso significa{41} que podemos transportar boa parte de nossas idéias convencionais sobre os acontecimentos com que nos deparamos em nosso cotidiano para o mundo da ciência.{42}

Do que vimos anteriormente, a existência de uma curva CTC elimina *ipso facto* a possibilidade de sustentação do princípio de Cauchy.{43} Assim, para sustentarmos toda a estrutura clássica causal descrita anteriormente, deveríamos adotar a primeira hipótese acima descrita.

A segunda posição, como veremos em seção futura, defendida recentemente por vários físicos liderados pelo grupo da Califórnia, é a que mais se afasta da atitude conservadora, característica da grande maioria dos cientistas. Aqui não

há muito a comentar. A sua visão é claramente revolucionária, transgressora de idéias que compõem o cenário convencional da física.

A terceira posição é mais complexa e exige uma explicação um pouco mais detalhada para ser compreendida. Embora ela seja examinada com detalhes mais adiante, torna-se esclarecedor adiantarmos algumas informações sobre sua formulação. A idéia principal baseiase numa tentativa de conciliar as posições anteriores. Desse modo, ao reconhecer que a física não pode, usando a totalidade de suas leis, proibir o aparecimento de CTC, e, por outro lado, reconhecendo as dificuldades formais caso tal curva possa efetivamente aparecer em nosso universo, trata-se de encontrar alguma forma de gerar uma situação na qual a parte do universo a que temos acesso fosse isenta de exibir explicitamente (ou de a ela termos acesso) tais dificuldades causais, afastando-as, ou melhor, restringindo-as a regiões inacessíveis. Essa posição tem um mérito: o de manter intacta a totalidade da física e, ao mesmo tempo, permitir entender processos tão estranhos e inesperados (como uma CTC) conviverem no mesmo universo.

COMO VISITAR SEU PASSADO NO UNIVERSO DE GÖDEL

Em seção anterior, vimos que um corpo livre de outras forças que a gravitacional move-se ao longo de uma curva especial que os matemáticos chamaram de *geodésica*. Esta curva é entendida como aquela que minimiza a distância entre dois pontos do espaço-tempo. Por seguir uma curva especial com características tão notáveis, diz-se que a gravitação não exerce, na verdade, uma força sobre um corpo, mas tão-somente age sobre os caminhos no espaço-tempo possíveis de serem seguidos pela matéria.{44}

Quando se descobriu a possibilidade da existência de uma curva CTC na geometria de Gödel, duas questões apareceram imediatamente:

- Pode uma curva CTC no universo de Gödel ser geodésica?
- Se a resposta à questão anterior for negativa, qual a característica da força

capaz de induzir a matéria a seguir uma CTC?

Responder a essas questões é um grande passo para entender como seria possível, ao menos em princípio, imaginar a elaboração de um artefato que permitisse um corpo material a voltar ao seu passado, funcionando como máquina do tempo.

A demonstração de que, no universo de Gödel, uma curva CTC não pode ser geodésica foi obtida imediatamente após a descoberta desta geometria. Isso significa que, para manter ou iniciar um movimento de retorno no tempo, é necessária a atuação de alguma força de natureza nãogravitacional.[45] Duas propostas independentes de caracterização efetiva dessas forças foram realizadas. Falaremos um pouco de cada uma delas agora.

AS FORÇAS DE ARRASTE PARA O PASSADO

Uma primeira tentativa de produzir um modelo teórico capaz de caracterizar as propriedades de um sistema que permitisse efetivamente um corpo material caminhar sobre uma CTC na geometria descoberta por Gödel foi proposta por David Malament no início da década de 1980. A idéia dessa proposta é simples. Uma vez reconhecido, desde o trabalho original de Gödel, que, para seguirmos uma trajetória para o passado nesta geometria, seria necessário que uma força atuasse sobre ele produzindo uma aceleração, a questão seria como caracterizar esta força. Um foguete com suficiente combustível poderia fazer esse papel? Malament argumenta que sim, embora, ao calcular explicitamente a quantidade de combustível necessária, uma estranha dificuldade pareça acontecer. Por razões técnicas, a velocidade média desse corpo deveria ser extremamente elevada: da ordem de 0,7 vez a velocidade da luz. O consumo de combustível, para este movimento fechado no espaço e no tempo (digamos, ao longo de uma órbita circular como a que examinamos anteriormente), é extremamente elevado. Tão elevado que, além do combustível armazenado para esta viagem, boa parte da própria massa do foguete deveria ser transmutada em energia a ser consumida

na jornada! Esse resultado inviabiliza tal construção, posto que é de supor que um observador queira retornar inteiro ao seu passado!

Vamos agora descrever uma outra possibilidade de permanência naquela trajetória CTC, recentemente produzida. Esse modelo faz apelo a uma força específica bem conhecida: a força eletromagnética. Contrariamente ao caso anterior, não estamos interessados em produzir um veículo para transporte de corpos materiais, mas queremos examinar a possibilidade de uma ação externa, isto é, controlável do exterior, induzir um corpo material a viajar por uma CTC. Esta situação, bem distinta da anterior, poderia em princípio se mostrar mais conveniente, pelo menos para um exame teórico, deixando as dificuldades técnicas associadas à efetiva produção de um artefato que a utilizasse para uma etapa ulterior. Consideremos a Figura 6.4. Aí estamos representando uma partícula possuindo carga elétrica e que denotamos pela letra grega ε. Por simplicidade, trataremos do movimento de um elétron, isto é, uma partícula elementar estável e que contém uma unidade mínima de carga. O argumento, claro está, pode ser generalizado sem maiores dificuldades teóricas, para um verdadeiro corpo macroscópico, mas cujos detalhes não apresentaremos aqui.

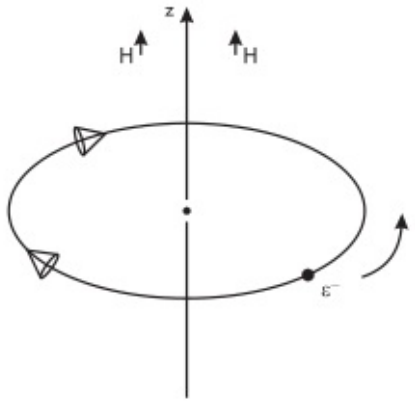


Figura 6.4 **Aí combinação de campos eletromagnético e gravitacional induz uma partícula (o elétron, ε^-, por exemplo) a viajar ao longo de uma curva do tipo-tempo fechada.**

Trata-se então de examinar as conseqüências que decorrem ao submetermos o elétron a uma particular combinação de campos de forças. Além do campo gravitacional do tipo que estamos examinando (associado à geometria de Gödel), iremos atuar sobre o elétron com um campo magnético tal como descrito na figura, isto é, um campo *H* tal que sua direção seja paralela à direção de rotação local da matéria desse universo. A análise técnica desse complexo sistema de forças, contrariamente ao que se poder imaginar à primeira vista, é particularmente simples. Suas conseqüências podem ser estabelecidas até mesmo em uma linguagem não-científica. É o que faremos agora.

A tendência do campo gravitacional é fazer com que a partícula, no caso em questão, o elétron, siga uma geodésica. Entretanto, a propriedade de o elétron de ser carregado e, conseqüentemente, de ser atuado também por um campo magnético desvia sua trajetória para uma curva acelerada. É possível conhecer com precisão quanto o elétron se desviará da trajetória geodésica se conhecermos as características desse campo magnético. Assim, não é difícil imaginar que, controlando com precisão o campo magnético, poderemos fazer com que o elétron adquira a aceleração necessária para que ele siga uma CTC. O cálculo da intensidade desse campo magnético mostra que ele depende das características da partícula (sua massa e carga) e da intensidade da rotação de Gödel.

O modelo é ao mesmo tempo bastante engenhoso, simples e competente para realizar o que dele se pretende. Não irei aqui entrar em maiores detalhes técnicos sobre ele, remetendo alguém mais interessado às referências citadas na bibliografia. Mas gostaria de acrescentar uma observação complementar. Ao ser submetido à aceleração, o elétron começará a irradiar. É preciso conhecer como essa radiação afetará seu movimento para então variar convenientemente o campo magnético externo, de modo a compensar o correspondente desvio de sua trajetória. Essa questão não constitui uma dificuldade maior.

Do que vimos acima, podemos concluir que há pelo menos duas

possibilidade, em princípio, para realizar efetivamente uma viagem ao passado no universo de Gödel. No primeiro modo, um foguete carregando combustível suficiente produziria a aceleração capaz de induzilo a seguir uma CTC. No segundo modo, poderíamos imaginar uma sonda acoplada a uma nave-mãe que, do exterior, criaria condições para manter um campo magnético conveniente para que um corpo não eletricamente neutro, que dela saísse, pudesse ter acesso à curva CTC.

OBSERVAÇÃO

Extensão não-estática da geometria de Gödel

Durante os anos 1970, comecei a me interessar pela geometria descoberta por Gödel. Afora alguns detalhes técnicos que não são relevantes aqui, minha atração por essa geometria vinha do fato de nela existirem caminhos que poderiam fazer um observador não-inercial viajar ao seu passado. Durante algum tempo, eu e um estudante à época procuramos estender as idéias de Gödel para além do limitado território estático que ele havia criado. Embora tenhamos feito algum progresso nessa direção, as soluções que propusemos àquela época não me satisfizeram. Por um longo período não consegui examinar seriamente esta questão. Eu sentia que faltava algum ingrediente mais fundamental, ou melhor, um olhar novo sobre ela, capaz de produzir realmente algum avanço digno de nota. Foi somente nos últimos anos que entendi como se deveria proceder para conseguir uma visão nova e mais abrangente dessa questão sobre caminhos para o passado, em configurações do tipo proposto por Gödel. Comentarei essa nova investigação nos próximos capítulos.

Gödel e Einstein

A dificuldade com a estrutura temporal dessa geometria não é história

recente. Na verdade, ela apareceu quase no mesmo momento em que Gödel deu publicidade à sua descoberta. Curiosamente, seu biógrafo principal, o doutor Hao Wang, dedica somente três das 335 páginas de seu livro sobre Gödel à questão temporal. Embora Wang tenha seu interesse pessoal, como lógico, centrado nos trabalhos dedicados a esta ciência, ao considerarmos a importância universalmente reconhecida dos estudos de Gödel sobre o tempo, o aparente descaso causa estranheza e passa a merecer uma reflexão e uma explicação melhor. Pode-se argumentar que tal fato deveria ser entendido na justa medida da importância do professor Gödel em outras áreas científicas. Penso, entretanto, que se trata de um pouco mais do que isso. Talvez esse esquecimento não fosse fortuito, mas quase intencional. Explico-me: penso que o tão reduzido comentário que Wang faz à descoberta de Gödel pode ser interpretado como constituindo um ato, embora involuntário, de diminuir a importância da atuação de Gödel nesta área da física, quase a escondê-la, por considerá-la não relevante em face da grandeza de sua obra em outro setor, na lógica, por exemplo. Como apoio à minha sugestão, lembraria um incidente que ocorreu quando o professor Gödel apresentou sua geometria numa conferência em homenagem ao grande cientista do século XX, Albert Einstein. Este, que estava presente à conferência — e que talvez fosse um dos poucos na platéia que pudesse compreender todo o alcance da solução de suas equações da gravitação que Gödel havia apresentado —, teria dito ao término da exposição, ao ser perguntado sobre o que pensara dela: “*I do not like it*.” Isso era o máximo que ele podia dizer, pois a brilhante exposição de Gödel, bem como a profundidade dos aspectos matemáticos da solução que ele apresentara, merecia respeito. Dessa forma, sobrara pouco para uma crítica mais contundente, o que deixou a Einstein somente a possibilidade da crítica subjetiva.[{46}] Tudo leva a crer que o criador da teoria da relatividade havia percebido de pronto o alcance da enorme dificuldade projetada sobre sua teoria pela recente descoberta de Gödel. Com efeito, a existência, na geometria de Gödel, de caminhos ao passado, de uma violação explícita de causalidade, tão cara a um espírito, mesmo que rebelde, criado sob as luzes do século XIX, era

certamente uma questão de difícil convivência. Aparentemente, o que se poderia depreender da geometria apresentada naquela conferência era, de modo implícito, uma profunda crítica às equações de Einstein da gravitação, o que criou aquela delicada situação. Desse modo, somos levados a imaginar que, para Einstein, só restava um caminho coerente com seu pensamento: rejeitar como inadequada a geometria de Gödel. Foi precisamente o que ele fez, e, a partir de então, toda a comunidade de relativistas seguiu seus passos.

7. CONFINAMENTO CAUSAL

IMPOSSIBILIDADE DE REPRESENTAÇÃO CONVENCIONAL ESPAÇO-TEMPORAL DA GEOMETRIA DE GÖDEL

Há um modo alternativo ao que estamos empregando até aqui para caracterizar as estranhas propriedades do universo de Gödel e que consiste em exibir a impossibilidade de construir um sistema de descrição dos eventos, nesta geometria, do tipo daquela com que tratamos o universo de Friedmann. Em outras palavras, a questão que iremos analisar agora pode ser resumida como uma tentativa, sem sucesso, de descrever o universo de Gödel utilizando um tempo global.{47} No entanto, antes de começarmos esta análise, seria conveniente nos remetermos às observações anteriores (capítulo 5, “Representação convencional espaço-temporal no universo de Friedmann”) sobre a necessidade, ou melhor, a razoabilidade de tal descrição e nas quais espero ter deixado claro que, sempre que possível, ela representa a forma teórica de caracterizar o mais completamente possível nossas impressões espaço-tempo do mundo. Com efeito, embora tenhamos a tendência de tratar nosso tempo próprio como privilegiado, a possibilidade de identificar esse tempo com uma estrutura global, solidário com outros observadores que descrevem os mesmos processos, torna essa escolha naturalmente atraente. Assim, os físicos são levados, em sua representação formal das dimensões cósmicas, a usar tal globalização, não só porque ela é permitida, como mais do que isso: representa uma visão do universo que se adapta muito bem às nossas imagens pré-relativistas do mundo e que se encontram fortemente ancoradas em nossa visão newtoniana. A naturalidade dessa representação é tão forte que estamos dispostos a pagar um preço alto para permiti-la, mesmo que não tenhamos qualquer indício formal que faculte sua utilização em uma situação arbitrária.

Explico-me.

Tem sido comum, na grande maioria das investigações cosmológicas, admitir-se *a priori* a existência desse sistema gaussiano global de coordenadas, isto é, um sistema no qual se institui a separação do mundo em uma estrutura tridimensional (o espaço) e uma estrutura unidimensional (o tempo). Alguns autores, ao argumentarem que essa escolha de representação é tanto possível como conveniente, são induzidos a um pecado conceitual. Em lugar da aceitação apriorística dessa escolha arbitrária da estrutura topológica do mundo, deveríamos procurar responder à questão: em que condições um tempo cósmico, global, comum a uma classe completa (isto é, cobrindo toda a variedade espaço-tempo) de observadores é possível?

A resposta a essa pergunta é conhecida e provém do estudo das chamadas variedades diferenciáveis, feito pelo matemático alemão Johann Carl Friedrich Gauss. Baseado nessa parte da matemática, podemos afirmar que, embora seja sempre possível — em uma vizinhança de qualquer observador — estabelecer uma separação do mundo em espaço e tempo (e isso é só uma questão de escolha), a extensão desse sistema para a totalidade do universo não é mais arbitrária, mas depende de suas propriedade físicas, ou seja, do comportamento em larga escala do campo gravitacional.

A representação gaussiana local é uma simples escolha conveniente de caracterização temporal dos eventos. Entretanto, a extensão para toda a variedade quadridimensional da representação — ou seja, a definição de um único tempo global — não depende somente de uma escolha arbitrária, mas sim das características físicas em larga escala do mundo. Desse modo, no universo, em suas propriedades básicas, está inscrita a possibilidade ou não de uma globalização do tempo. Essa descrição global, sua estrutura topológica, não é, portanto, uma questão apriorística, mas sim uma característica do mundo, nele impresso.

Dito de outro modo: quando a estrutura geométrica do espaçotempo admite a utilização de um tempo cósmico, é porque é possível definir uma classe de

observadores (livres) fundamentais cuja trajetória (isto é, sua linha-de-universo) é ortogonal a uma dada superfície tridimensional que chamaremos de Σ. Essa superfície separa o mundo em duas partes: pontos que estão no futuro de Σ (região *F*) e pontos que estão no passado de Σ (região *P*). A linha-de-universo de qualquer observador intercepta essa superfície Σ uma e somente uma vez. Podemos dizer que essa propriedade permite caracterizar de um modo simples aquilo que chamamos de retorno ao passado. Este retorno seria, então, identificado por uma trajetória que se fecharia sobre si mesma: o observador que por ela transitasse cruzaria a superfície Σ duas vezes (Figura 7.1)

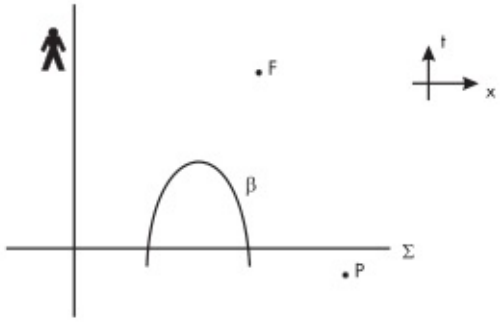


Figura 7.1 **Representação gaussiana para uma variedade quadridimensional, quando a estrutura geométrica do espaçotempo admite a utilização de um tempo cósmico. A superfície Σ separa o mundo em duas partes: pontos que estão no futuro de Σ (região *F*) e pontos que estão no passado de Σ (região *P*). A linha-de-universo de qualquer observador intercepta a superfície Σ uma e somente uma vez. O que chamamos de retorno ao passado seria, então, identificado a uma trajetória que cruzasse a superfície Σ mais de uma vez.**

Recentemente, a idéia de uma estrutura linear do tempo — de topologia semelhante à do conjunto dos reais R^1 —, no qual o caminhar para o futuro implica necessariamente um afastamento do passado, tem sido posta em discussão, como vimos anteriormente, embora não tenhamos qualquer evidência indireta ou remota de que uma eventual estrutura cíclica — de topologia

semelhante ao círculo, fechada sobre si, e que os matemáticos representam por S^1 — exista em nosso universo. Por conseguinte, seria natural dizer que essa situação decorre da existência de um *círculo do tempo*.

Suponhamos que, nesta geometria de Gödel, um observador arbitrário, em um ponto qualquer $\underline{0}$, comece a construção de um sistema de coordenadas gaussianas — o que, como vimos, é sempre *localmente* possível. Ele descobre que, ao se aproximar de um certo valor de distância r_c da origem $\underline{0}$ (valor que depende somente da característica de rotação do modelo), aparece uma barreira impossibilitando a extensão daquele sistema além de r_c. As curiosas propriedades desse confinamento são bem conhecidas, sendo sua conseqüência mais notável precisamente essa limitação, ao raio r_c, da possibilidade do construção de tempo único, do tempo gaussiano.

Ao examinarmos detalhadamente o que se passa na fronteira de r_c, descobrimos que, para além de r_c, é possível o aparecimento de curvas do tipo-tempo fechadas: CTC. Isto é, um observador real poderia em princípio voltar a seu passado. A situação não é somente desagradável do ponto de vista do senso comum, mas cria teoricamente uma série de dificuldades que podem ser sintetizadas numa só sentença: não podemos construir nesse universo de Gödel uma superfície completa de dados iniciais a partir da qual toda informação poderia ser propagada — e, conseqüentemente, uma rede causal unívoca poderia ser estabelecida, realizando o ideal da física clássica.

Se me estendo nessa caracterização é porque quero enfatizar que, hoje, não dispomos de informações suficientes sobre a existência ou não da superfície de dados iniciais em nosso universo. Com efeito, embora seja uma operação fácil eliminar a geometria completa de Gödel como representante da estrutura métrica de nosso mundo, por outro lado a existência de um só tempo cósmico global ainda é uma questão em aberto.

CONFINAMENTO CAUSAL

Para construirmos, em uma dada geometria, um sistema de representação do mundo onde a estrutura única espaço-tempo admita uma separação formal em espaço e tempo do tipo gaussiano, como descrevemos anteriormente, o primeiro passo consiste em identificar uma classe especial de observadores livres, isto é, sobre os quais nenhuma força (exceto a gravitacional) atue. Em termos técnicos, e para usar a nomenclatura precisa que introduzimos no capítulo 3, precisamos conhecer as geodésicas do tipo-tempo presentes nessa geometria. O fato de exigirmos adicionalmente que essas geodésicas sejam do tipo-tempo justifica-se, pois queremos que nesse referencial o tempo utilizado se identifique ao tempo próprio do observador que está construindo o sistema de coordenadas.

Desse modo, o conhecimento da classe especial de curvas privilegiadas existentes nessa geometria é o ponto de partida para a representação gaussiana do mundo que queremos construir. Na prática de examinar essas curvas na geometria de Gödel, deparamos com uma situação pouco comum, insólita mesmo, que está na base de todas as dificuldades relativas às questões temporais dessa geometria e que podemos simplificadamente descrever do modo a seguir.

Um observador livre de qualquer força externa começa por orquestrar a sua rede, sua malha de referências, a partir de um ponto que chamaremos de *A*: isto é, ele designa em cada ponto três número de espaço e um de tempo. Assim vai construindo uma seqüência de números ou, tecnicamente falando, um *sistema de coordenadas* capaz de individualizar cada ponto, ou melhor, cada evento do mundo. Se ele pudesse estender este sistema de modo a poder cobrir todo o contínuo espaço-tempo, isto é, estabelecer uma representação gaussiana de toda a geometria de Gödel, não haveria possibilidade de existir aí nenhuma CTC. Isso se depreende do que vimos anteriormente quando tratamos genericamente de sistemas de coordenadas de Gauss.

Entretanto, graças às características pouco comuns dessa geometria, ao procurar empreender sua tarefa, aquele observador se percebe preso, confinado a uma certa região. Para simplificar nossa exposição e esclarecê-la melhor, vamos chamar esse domínio limitado do observador, a região em que ele pode se

locomover livremente, de $D(A)$.

Aqui uma pergunta nos ocorre imediatamente: o que está acontecendo aqui, em $D(A)$? Por que razão esse sistema de representação do mundo, que pensaríamos depender somente de livre decisão e escolha minha, poderia ser proibido — e, no caso em exame, efetivamente o é?

Responder a essa questão é crucial para entender as origens das confusões temporais com que nos deparamos nessa geometria. A resposta pode ser simplificadamente estabelecida examinando-se o efeito principal da vorticidade sobre os observadores livres. Desse exame, segue-se o seguinte: tudo se passa como se uma força extremamente intensa atraísse o observador para o ponto *A*, de tal modo a impedi-lo de sair daquela região crítica; a menos que sobre ele agisse outra força, de natureza não-gravitacional, para libertá-lo. Mas, ao atuar com uma outra força, qualquer que ela seja, o observador deixa de ser livre, seu movimento não coincide mais com o caminho de uma geodésica: ele deixa de poder construir um tempo único capaz de conceder a essa estrutura de espaço-tempo aquela globalização temporal que buscávamos.

DELIMITANDO A QUESTÃO CAUSAL

As dificuldades causais presentes na geometria de Gödel pareciam bastante desagradáveis e colocavam um problema de difícil compreensão dentro do esquema temporal que havia sido construído com grande eficácia, até então, pelos físicos. Durante algum tempo tentou-se sem sucesso encontrar alguma forma de conciliar essa geometria com a ordem temporal preestabelecida, até que ficou claro que só restavam duas alternativas:

- Abandonar a ordenação passado-futuro.
- Impedir, de alguma forma, a existência de geometrias do tipo proposto por Gödel.

Do que vimos em seção anterior sobre o estado atual de nosso conhecimento astronômico, podemos afirmar que o universo em que vivemos não é do tipo

descrito por Gödel. Essa constatação levava naturalmente a uma saída para aquelas dificuldades, através do reconhecimento de que essa geometria nada mais seria do que um simples exercício teórico, sem nenhum ponto de contato com nossa realidade. Embora as questões causais presentes nessa geometria não pudessem ser assim resolvidas, pelo menos elas deixariam de constituir na prática uma verdadeira fonte de dificuldades. Isso lembra uma atitude curiosa de alguns cientistas que perderam aquele típico espírito de investigação permanente e, quando interrogados sobre questões de difícil ou desconhecida resposta, propõem, como a Rainha Vermelha de Alice: “Vamos mudar de assunto.”

Se, por um lado, esse método parecia resolver a questão específica dentro do cenário proposto na geometria de Gödel — sem exigir um esquema mais amplo, capaz de atacar frontalmente o problema geral de geometrias contendo CTC, por outro lado abria a possibilidade do aparecimento de novas e mais delicadas questões, como mais tarde se compreendeu, tornando esta uma atitude provisória e, logo em seguida, ineficaz. A razão para isso é simples: a solução para a questão temporal acima sugerida deveria ser descartada se, por exemplo, conseguíssemos conciliar as propriedades básicas de parte do universo gödeliano com nossa realidade, o que nos leva de imediato a examinar a questão:

• Pode um *pedaço* da geometria de Gödel estar contida em nosso universo?

Ao respondermos afirmativamente a essa pergunta, estamos desqualificando de imediato aquela tentativa drástica de resolver as questões causais através do procedimento ingênuo de negá-las. Vejamos como se pode construir tal sistema complexo. Faremos isso em duas situações: uma, na qual a questão temporal é resolvida e a dificuldade anterior não aparece; outra, na qual a possibilidade de uma parte do universo de Gödel estar contida em nosso mundo com efeito gera aquilo que chamamos de *máquina do tempo*.

Para compreender como essas construções podem ser examinadas, faremos uma pequena pausa, na qual iremos aprender algumas informações sobre as diferentes geometrias e o modo normal de compatibilizá-las.

CONECTANDO UNIVERSOS – I

Vimos em seção anterior que a matéria não somente tem uma ação sobre a geometria como em verdade a determina. Assim, poderíamos ser levados a imaginar que a estrutura geométrica nas vizinhanças de um corpo material deveria ser distinta da geometria em uma região longínqua, desprovida da presença de matéria. Isso é, com efeito, verdade. Como conseqüência disso, uma questão surge naturalmente: como conciliar as estruturas do espaço-tempo quando geometrias distintas ocorrem em diferentes regiões que possuem uma interface? Ou melhor, como compatibilizar a univocidade da geometria ao longo da fronteira entre duas regiões de geometrias diferentes? Essa questão tem uma resposta técnica simples. Entretanto, como não é meu propósito aqui apresentar essas tecnicalidades, vou limitar-me a apresentar uma análise qualitativa da questão.

Uma fronteira entre duas regiões de geometrias distintas não é uma barreira intransponível. Um observador pode se locomover, pelo menos em princípio, de um domínio para outro sem que isso lhe seja interditado. Podemos atravessar a região limítrofe, até mesmo nas duas direções, a menos que existam condições especiais extras (que não iremos considerar agora) a impedir esses movimentos. A compatibilidade dessas duas geometrias requer um comportamento especial ao longo de suas fronteiras. Para simplificar nossa exposição, denotarei a superfície de separação pela letra grega Σ, e cada um dos lados por ela separados pelas letras *A* e *B*. Segue-se da compatibilidade formal que em Σ as duas geometrias devem ser indistinguíveis. Isso significa que as geometrias das regiões *A* e *B* organizam-se de tal modo que sobre Σ elas provocam a mesma e única estrutura métrica. Para compreendermos como isso é possível, devemos lembrar que uma superfície qualquer mergulhada numa estrutura maior, de dimensão maior, herda daquela estrutura a sua geometria intrínseca. Por exemplo, podemos tratar a superfície de uma esfera de duas dimensões *em si*, ou vê-la como imersa em um espaço de três dimensões, como estamos acostumados a fazer em nosso

cotidiano. Esse espaço tridimensional possui uma geometria, que, a título de exemplificação, consideraremos descrita pela geometria euclidiana. A superfície da esfera *S* possui uma geometria distinta daquela do espaço em que a submergimos, dependente das características de *S*, e que pode ser conhecida direta e completamente graças ao conhecimento de duas propriedades: a geometria euclidiana do meio em que *S* está contida e as propriedades defi nidoras da própria superfície *S*.

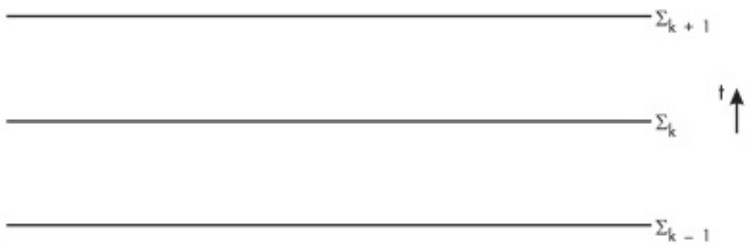


Figura 7.2 **Representação do espaço-tempo de Friedmann. Cada linha denotada pela letra grega Σ representa a totalidade do espaço tridimensional. A estabilidade desse espaço é garantida pela sucessão contínua que conecta em cada momento de tempo uma estrutura espacial, digamos Σ_k à sucessiva Σ_{k+1}.**

Chegamos assim a compreender como é possível conciliar, numa mesma estrutura maior, pedaços de geometrias distintas. Como exemplos esclarecedores, vamos examinar três casos:

1. Sucessivas configurações de geometrias dependentes do tempo.
2. Uma esfera mergulhada em um espaço maior.
3. Um cilindro mergulhado em espaço maior.

No caso 1 (Figura 7.2), a superfície Σ representa a totalidade espaço tridimensional. Vemos que a conexão entre os correspondentes *A* e *B*, aqui, não passa de exemplos do que chamamos espaço tridimensional ou simplesmente *espaço*.

No caso 2 (Figura 7.3), em que consideramos o exemplo de uma laranja, em

nossa vizinhança, a superfície Σ representa a sua casca. Note-se que, embora nosso espaço ambiente seja associado a uma estrutura euclidiana plana, isto é, isenta de curvatura, este meio externo induz pela imersão uma geometria *sobre* a laranja que, graças à especificidade de sua superfície, não é plana.

No caso 3, estamos representando uma situação que abrange os dois exemplos anteriores. Trata-se de um cilindro imerso em um espaço de geometria não-euclidiana. A geometria de Σ, que identificaremos pela caracterização de que seu raio *r* é constante (Figura 7.4), possui propriedades herdadas da geometria do meio externo.

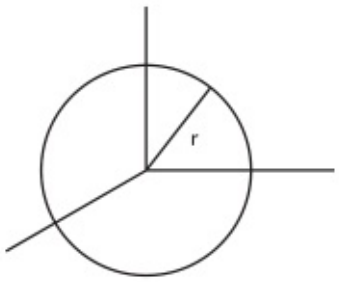


Figura 7.3 **Esfera, de raio *r*, imersa na geometria euclidiana.**

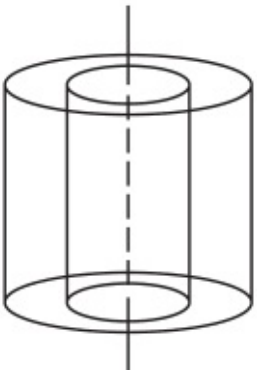


Figura 7.4 **Cilindro imerso em uma geometria do tipo Gödel.**

Estamos, portanto, de posse de um instrumento formal capaz de gerar as formas ideais dos diferentes exames empreendidos nas questões sobre CTC. Agora vamos aplicá-lo aos nossos casos em estudo.

8. CÁPSULAS DE PROTEÇÃO CAUSAL

Por diversas vezes ao longo deste texto nos referimos à atitude de alguns físicos de rejeitar como irreal a existência, neste nosso universo, daquelas geometrias que admitem CTC. Durante muito tempo, pareceu razoavelmente seguro eliminar as difíceis questões de interpretação das CTC, presentes na geometria de Gödel, com a simples argumentação de que essa geometria não parece representar nenhum período da história de nosso universo, pois ela possui propriedades incompatíveis com as observações astronômicas. Dentre essas questões, a mais importante e definitiva é aquela que mostra não existir rotação das galáxias, e que o universo é dinâmico, e não estático.

Entretanto, uma elaborada proposta sobre a formação de uma estrutura complexa contendo somente uma parte do universo de Gödel veio mudar radicalmente o *status* dessa geometria no cenário que estamos examinando. É essa proposta que vou agora descrever. Nossa tarefa, nesta seção, se limita a construir uma estrutura que possa conter parte do universo de Gödel imersa em outra geometria bem-comportada, isto é, uma configuração métrica desprovida de dificuldades causais. Essa operação serviria para exibir a possibilidade formal de existir em nosso universo uma região que admitiria, em seu interior, uma parte da geometria de Gödel. Isso significa substituir a métrica da região onde CTC poderiam aparecer por outra, na qual todos os caminhos possíveis seriam causalmente bem-comportados. Os físicos sabem — usando as equações da gravitação associadas a distribuições de matéria/energia convenientes — como empreender teoricamente essa fabricação. Restaria saber se a natureza teria usado tal construção. Mas essa é uma informação que ainda não temos. Na seção seguinte, trataremos da idéia complementar, generalização desta, usando para isso uma construção formalmente semelhante à que descreveremos aqui, mas com a crucial diferença de poder gerar uma máquina do tempo. Isso ocorreria

quando o mecanismo de proteção causal apresentado nesta seção falhasse.

A idéia que examinaremos agora tem uma história curiosa, pois nasceu a partir de uma simples brincadeira de cientistas. Numa reunião informal de um grupo de cosmólogos no Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas, alguém sugeriu que a dificuldade com as questões temporais do tipo que ocorrem na métrica de Gödel parecia uma verdadeira doença causal corrompendo todo o sistema global que chamamos universo. Assim, perguntou-se inocentemente: “Não poderia a natureza proceder aqui por analogia biológica?” Quando um sistema vivo depara-se com alguma forma adversa, com algum intruso em seu meio e que lhe pareça hostil, o sistema imediatamente reage, provocando sua morte ou limitando seu território de ação através, por exemplo, da construção de um invólucro, formando uma verdadeira *cápsula de proteção*.[{48}] Não poderíamos imaginar a imitação deste fenômeno em relação à questão que estamos aqui examinando? Isto é, seria possível delimitar uma região do espaço-tempo que poderia, caso não fosse bloqueada, gerar curvas acausais? Curiosamente, a resposta, positiva, veio de um antigo procedimento que permite, a partir de uma dada geometria, fazer sua extensão, englobando-a por outra geometria, ou melhor, através da conexão de geometrias, como descrevemos acima.

Vimos que, para um dado observador, as dificuldades causais começam quando ele se afasta de sua origem de uma distância precisa e que denotamos como sendo dada por r_c. O modo mais direto de reconhecer isso é considerar a formação de um sistema de coordenadas gaussiano e depararmos com a impossibilidade de estendê-lo além do raio crítico r_c. Assim, se pudéssemos eliminar do mundo a região externa ao raio crítico, substituindo-a por uma outra estrutura mais bem-comportada, poderíamos acalentar a idéia de produzir um universo que fosse uma possível extensão do de Gödel — e de tal modo que essa complexa configuração não admitisse a existência de CTC.[{49}] Isto é, estaríamos procurando uma nova configuração que possuísse as propriedades acima, consistindo assim de duas partes solidárias:

• Geometria de Gödel limitada à sua região causal.

• Região externa causalmente bem-comportada.

Essa construção teórica pode e foi efetivamente construída para um caso particularmente interessante: aquele no qual a geometria externa se identifica a um espaço de Minkowski deformado, uma estrutura muito próxima daquele substrato idealmente vazio e que chamamos antes de universo de Minkowski (Figura 7.4, capítulo 7). É bem verdade que este universo deformado de Minkowski deveria manifestar, através de suas propriedades, a presença, em seu interior, daquela configuração identificada a um pedaço do universo de Gödel. A construção em questão não é difícil de ser imaginada. Bastaria conectar uma região compreendendo uma faixa cilíndrica da geometria de Gödel que tivesse um raio inferior a seu raio crítico. Assim procedendo, estaríamos, *ipso facto*, eliminando a possibilidade de permitir a presença de curvas do tipo-tempo fechadas. Tal procedimento é capaz de eliminar as dificuldades causais, sem que para isso tenhamos de ser drásticos e suprimir totalmente a possibilidade da solução criada por Gödel estar contida, de algum modo, em nosso universo.

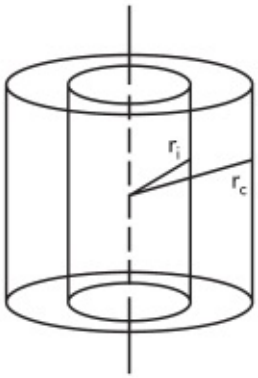


Figura 8.1 **Representação da configuração Gödel-Minkowski descrita no texto. A região r_i representa um pedaço do universo de Gödel. A figura mostra o raio crítico r_c no exterior da superfície de conexão. Note-se que é possível construir globalmente uma superfície de dados iniciais ou de Cauchy. Isto é, podemos determinar um sistema gaussiano global para esta configuração, restabelecendo A estrutura causal anteriormente perdida.**

Entretanto, como ocorre em diversas situações, esse mecanismo poderia não ter eficiência máxima. Isto é, as condições materiais necessárias para produzir esta cápsula protetora poderiam não ocorrer, ou deixar de ocorrer em alguma circunstância, em algum lugar no universo, e isto de várias formas. Ou o sistema de cápsula poderia não ser formado, ou não cobrir toda a perigosa região acausal. Por conseguinte, cabe a pergunta: que conseqüência haveria se, por alguma razão, essa eficiência não fosse completa, se a conexão dessa geometria se desse a um universo possuindo CTC? Ou seja, pode esta proteção causal falhar? É o que examinaremos agora.

9. UM PEDAÇO DO UNIVERSO DE GÖDEL EM NOSSO MUNDO: UM CAMINHO INESPERADO PARA O PASSADO

Ao conectar uma parte do universo de Gödel com uma geometria externa distinta, temos, como vimos na seção anterior, a liberdade de realizar essa operação de vários modos, dependendo não somente da região que escolhemos para fazer a conexão, mas também da forma específica da geometria externa. Para obtermos uma estrutura que seja causalmente bem-comportada em todos os seus pontos precisamos realizar essa conexão em uma região interna ao raio crítico r_c de Gödel. Segue-se daí então que, se realizamos a junção em um raio maior que o raio crítico, o resultado será uma estrutura que também contenha curvas do tipo-tempo fechadas, CTC! Um exemplo particularmente interessante dessa configuração foi recentemente construído, em que o exterior seria idêntico ao universo de Minkowski.{50} Faremos referência a essa estrutura como constituindo uma *máquina G do tempo*, onde a inicial *G* serve para caracterizar a geometria de Gödel da qual ela é intimamente dependente. Tal estrutura poderia efetivamente permitir que um corpo qualquer, um observador real, visite o seu passado. Para isso, ele deveria possuir a mesma forma de aceleração que na geometria de Gödel integral. Assim, a existência, em algum lugar de nosso universo, de uma estrutura do tipo da máquina *G* do tempo permitiria a um observador que nela pudesse penetrar sair de dentro de *G* em um tempo anterior à sua entrada. Como a região que separa a máquina *G* do resto do mundo não é uma barreira intransponível, não é difícil imaginar a situação em que essa entrada e saída da região acausal poderia ocorrer um grande número de vezes, permitindo a um observador empenhado realizar sistemáticas viagens a seu passado.

A possibilidade teórica de viabilizar, em princípio, essa situação que

acabamos de ver coloca de imediato a questão de saber se tal máquina existiria no nosso mundo, como conseqüência de algum processo ocorrido em alguma região no universo. Ou, talvez com conseqüências mais cruciais, se estruturas dessa forma podem ser construídas por nossa civilização.

Na seção seguinte trataremos da segunda possibilidade de formação teórica de uma máquina do tempo: um esquema bem distinto e que se fundamenta não somente em uma particular solução das equações de Einstein, como no caso acima, mas sim na descrição complementar das topologias que a ela estaremos atribuindo. É preciso notar que modificações afetando globalmente as soluções dessas equações podem ser feitas, sem que com isso estejamos abandonando o cenário imposto pela teoria da relatividade geral. Contrariamente à proposta descrita nos capítulos precedentes, dedicados à estrutura da geometria de Gödel, e no qual uma CTC se encontra naturalmente embutida, descreveremos agora a possibilidade de existência de curvas CTC graças a alterações na topologia do espaço-tempo.

10. PONTE DE CONEXÃO OU PONTE DE EINSTEIN-ROSEN

UM EXCLARECIMENTO

Neste capítulo, focalizaremos outra formulação que os físicos elaboraram na produção de estruturas capazes de conter caminhos para o passado. Ainda aqui elas consistem em configurações geradas pela força gravitacional. Para entendermos um pouco melhor as idéias que estão na base dessa proposta, é importante enfatizar que as equações da gravitação na teoria da relatividade geral de Einstein constituem um sistema local, tratam de processos contíguos no espaço-tempo. As propriedades globais, que chamamos *topológicas*, não são determinadas por aquelas equações.

Esse ponto de partida requer um comentário extra. A idéia de universo, que faz parte de nossa herança cultural, proíbe sua extensão. Não podemos realizar a operação que apresentamos na seção anterior — estender analiticamente um dado espaço-tempo, a sua estrutura geométrica — se ele for identificado com a totalidade. Não sabemos nem mesmo como, classicamente,{51} poderíamos interpretar uma eventual extensão, posto que concordamos em denotar por *universo* a totalidade do que existe: matéria, energia e espaço-tempo. Entretanto, em certas situações de interesse, sabemos como unir universos conectáveis, isto é, como dar sentido a esta união. Trata-se aqui de estruturas formais, *gedanken*, sistemas ao qual uma determinada geometria foi idealmente atribuída.{52} Talvez o modo mais simples de esclarecer esse ponto seja agindo sobre ele. Dito de outro modo, respondendo à questão: como é possível conectar universos?

CONECTANDO UNIVERSOS – II

No capítulo 7, na seção “Conectando universos – I”, consideramos a conexão de diferentes geometrias. Tratava-se então de estruturas localizadas, compactas, ou de um só universo, entendido como um processo: a conexão temporal de uma estrutura global consigo mesma, gerando uma dinâmica que identificamos com o modelo de Friedmann. Aqui trataremos de uma nova forma de união. Uma união entre conjuntos globais, entre estruturas que constituem *em si* uma unidade que estamos chamando *universo de Minkowski*.

Há vários modos de pensar essa questão. Mas, dentre estes, um parece ser extremamente atraente para nossos interesses aqui, pois permite dar um novo sentido à expressão máquina do tempo.

CONECTANDO DOIS UNIVERSOS VAZIOS

Consideremos dois universos vazios do tipo de Minkowski. Para simplificar nossa exposição e esclarecê-la, serão visualizadas como na Figura 10.1. Como ambos universos não possuem curvatura, podemos representá-los por planos *A* e *B*. Entre estes universos existe uma conexão, que chamaremos de β. Sabemos como representar através de expressões algébricas a geometria completa dessa configuração. Usaremos somente gráficos para esclarecer nossa análise.

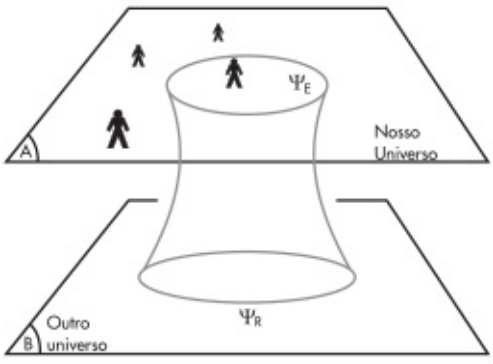


Figura 10.1 **Universos de Minkowski** A **e** B **conectados por uma ponte β. Chamamos** Ψ^E **e** Ψ^R **as duas bocas de contato com os dois planos.**

A função deles será diminuir as conseqüências da ausência aqui da utilização de uma matemática mais sofi sticada.{53}

O universo, quando abstraímos os processos gravitacionais,{54} pode ser identificado com uma dessas configurações, digamos *A*. Assim, *B* seria um outro universo ao qual estaríamos conectados através da ponte *b*. Como os cientistas conseguiram construir teoricamente, dentro da restrita observância das leis físicas, aquela conexão, não é absurdo imaginar que estruturas complexas como as descritas acima poderiam ser conhecidas também pela natureza.[5]

CONECTANDO O MESMO UNIVERSO

Do que acabamos de ver, sabemos ser possível conectar dois universos distintos. Isso poderia nos levar a pensar uma situação semelhante e procurar responder à questão:

- Pode essa *ponte* conectar duas regiões longínquas de um mesmo universo?

Se a resposta for sim, então fi ca caracterizada a segunda forma ideal de mecanismo produtor de uma curva-para-o-passado, uma CTC (Figura 10.2). O passo imediato a seguir seria examinar as circunstâncias de formação dessa ponte de conexão para tentar estudar sua possível existência em nosso próprio mundo. Ocorre que efetivamente a resposta àquela questão é afirmativa, e isso pode ser entendido do seguinte modo: continuando a examinar o exemplo particular do universo ideal de Minkowski,[6] devemos enfatizar que, além da estrutura geométrica local, tal configuração de mundo possui também uma topologia. Já nos referimos à propriedade de independência da estrutura topológica do espaço-tempo com relação às equações de Einstein da gravitação. Dito de outro modo, as equações de Einstein não fi xam nem restringem as características globais do mundo. Na verdade, a natureza das forças que determinam a topologia do espaço tempo ainda hoje não é conhecida. Alguns físicos, motivados por variadas razões, têm sugerido vez por outra algum

esquema responsável pela determinação da topologia. Nos últimos anos, uma proposta tem atraído a atenção de alguns cosmólogos. É a que associa a origem da topologia do universo às propriedades que uma completa teoria quântica da gravitação deveria possuir. Com efeito, nessa proposta, as características topológicas poderiam flutuar entre diversos valores, assim como faria a própria geometria, graças às flutuações quânticas do campo gravitacional. Não entraremos aqui em maiores detalhes dessa questão ainda aberta sobre as origens topológicas do mundo. No próximo capítulo, daremos um exemplo de como o processo de identificação topológica pode levar a uma visão do mundo tão admirável quanto fantástica. Depois desse pequeno desvio, podemos retornar à nossa principal questão.

Existem várias soluções das equações de Einstein que podem ser caracterizadas como exemplos de ponte de Einstein-Rosen. Ao longo de seu exame teórico, e até recentemente, o caso típico conhecido consistia precisamente na configuração original (examinada por Einstein e Rosen) do campo gravitacional de uma estrela, de um corpo com simetria esférica. Entretanto, na década de 1990, outros modelos passaram a ser estudados. A razão para esse interesse renovado nessas curiosas formas está intimamente ligada ao tema de nosso livro. Com efeito, dentre todas as propriedades que estas pontes teriam, para nosso propósito aqui, a principal característica que devemos examinar leva a classificá-las como de dois tipos:

- Ponte não-transponível.
- Ponte transponível.

Como o próprio nome está indicando, trata-se de uma divisão entre estruturas que permitem ou não seu efetivo emprego como máquina do tempo, como na Figura 10.3. Essa máquina poderia ser definida pelas seguintes propriedades:

- É uma solução das equações da teoria da relatividade geral.
- É possível conectar as duas regiões assintoticamente planas que ela possui, por meio de uma ponte atravessável.

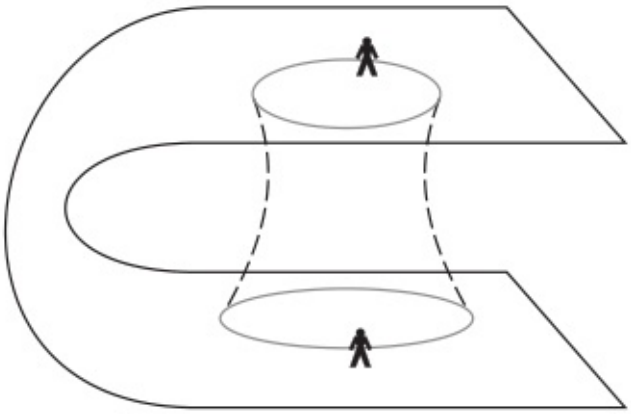


Figura 10.2 **Universos de Minkowski** *A* **e** *B* **da figura anterior coalescem constituindo um só, com uma topologia distinta da anterior. Neste caso, a ponte β conecta regiões longínquas do mesmo espaço.**

As características de transponibilidade dependem de propriedades geométricas que, pela TRG, são associadas às da distribuição de energia e matéria, criadoras da ponte.{55} O exame dessas propriedades foi responsável, durante um longo período, pelo abandono da idéia de sua utilização efetiva como mecanismos de violação da ordem causal convencional. Foi possível mostrar que as condições perfeitas para a produção de CTC demandariam propriedades esdrúxulas da matéria. Entre estas, a mais fundamental consiste em abandonar a condição de positividade da energia (na verdade, trata-se da chamada condição fraca de energia), um preço que os físicos consideram alto demais para pagar, dentro de um cenário clássico. Entretanto, no começo da década de 1990, o reexame da questão, usando-se argumentos de natureza quântica, despertou a curiosidade para essas estruturas, culminando com a publicação de artigos na *Physical Review Letters* a que me referi na “Introdução”. Com efeito, embora ainda não se tenha produzido um modelo teórico totalmente satisfatório, apoiado sobre as peculiares propriedades do mundo quântico, foram apresentados alguns argumentos que deixam entrever a possibilidade de violação necessária das condições clássicas de energia ser verdadeira em algumas circunstâncias

especiais.

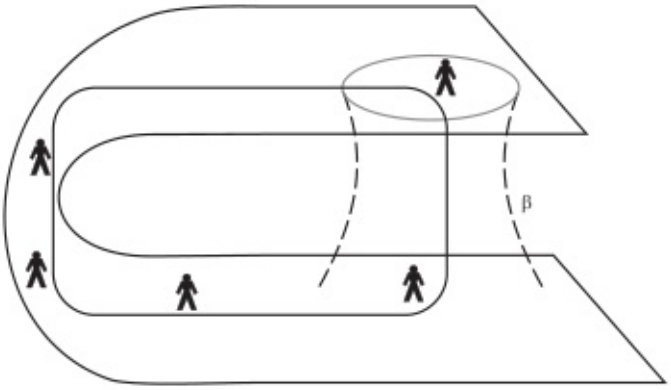


Figura 10.3 **Observadores reais podem usar uma ponte para voltar ao seu passado.**

Aceitando argumentos de natureza quântica, mostra-se que, em princípio, as condições necessárias para conectar de modo efetivo duas regiões desse universo através de uma “ponte de Einstein-Rosen” poderiam ser satisfeitas. Isto é, curvas CTC poderiam ser geradas por meio dessa configuração. Esse conhecimento formal conduziu alguns físicos à argumentação de que era possível construir uma máquina do tempo usando-se tal ponte de conexão. Entretanto, essa conclusão está além do que foi efetivamente demonstrado. A razão para isso deve-se ao fato de que não sabemos como, na prática, construir e manter de maneira controlada a característica de ela poder ser efetivamente atravessada.

OBSERVAÇÃO

Uma versão dos paradoxos causais que ocorrem em presença de CTC, dentro do cenário que acabamos de descrever, foi discutida recentemente por alguns físicos. Vamos apresentar simplificadamente o argumento principal, verificando assim como essas dificuldades se espalham em todos os níveis, no mundo macroscópico assim como no microscópico.

Consideremos uma situação em que uma ponte de Einstein-Rosen (que, para simplificar, denotarei como ponte *E/R*) exista e que Ψ^E e Ψ^R sejam as duas bocas

(Figura 10.4).

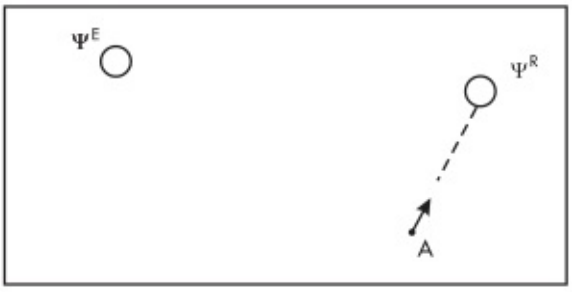


Figura 10.4 **A partícula** *M* **é atirada em direção à boca** Ψ^R **do ponto** *A* **em** *t = 9:00h.*

Como conseqüência da CTC que liga essas bocas, podemos afirmar que, quando um corpo qualquer (digamos uma partícula *M*) penetrar em Ψ^R então um certo tempo *antes* o corpo *M* aparece saindo de Ψ^E.

Devemos notar que estamos nos referindo não ao tempo próprio de *M*, mas sim ao tempo de um observador externo.



Figura 10.5 **A partícula** *M* **chega em** Ψ^R **no instante** *t = 9:45h.*

As Figuras 10.5, 10.6 e 10.7 representam uma seqüência temporal (vista por um observador externo ao corpo *M*), em que aparece um problema: ao longo da trajetória para a boca da ponte Ψ^R pode acontecer um choque material entre *M* e sua réplica vinda de Ψ^E, inviabilizando mecanicamente a possibilidade de *M* penetrar em Ψ^R e, conseqüentemente, sair através da ponte pela boca Ψ^E (Figura 10.7).

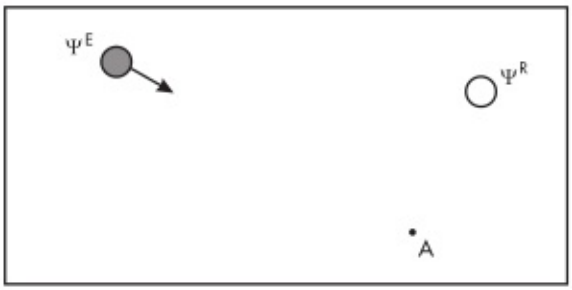


Figura 10.6 *M* **sai pela outra boca da ponte,** Ψ^E**, em** *t = 9:15h.*

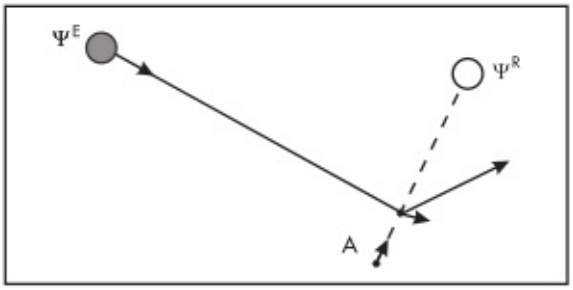


Figura 10.7 **A partícula** *M***, vinda de** Ψ^E**, intercepta a partícula** *M,* **em sua viagem para** Ψ^R**, no instante** *t = 9:30h***, impedindo sua réplica mais jovem de atingir** Ψ^R**.**

Mas, se este for o caso, então não poderia haver o choque! Essa versão do paradoxo causal no nível microscópico tem as mesmas características desagradáveis que sua versão macroscópica, e, possivelmente, as mesmas soluções (o exemplo foi dado por Joseph Polchinski e citado por Kip Thorne). Por ser uma configuração elementar, mais simples de ser examinada, trataremos somente delas.

Soluções especiais versus leis físicas

É possível aplicar às pontes a mesma crítica à estrutura de Gödel. Poderíamos associá-las a configurações permitidas pelas leis da física, mas não realizáveis em nosso mundo. No estágio de nosso conhecimento atual, tal crítica não pode ser entendida como uma afirmação ou negação da existência daquelas estruturas, mas simplesmente um questionamento a ser ulteriormente respondido.

Este capítulo termina de um modo bastante semelhante àquele envolvendo a máquina de Gödel, e com a mesma argumentação: afirmando que essas duas estruturas constituem exemplos simples, claros e em completo acordo com todas as leis físicas conhecidas, permitindo realizar a experiência notável de volta ao passado. Para que fossem mais que simples exercícios teóricos, deveríamos poder indicar, pela observação, que elas existem em algum lugar nos confins de nosso cosmo. Veremos, algum dia, chegar esse momento?

11. O ETERNO RETORNO

Uma situação particularmente interessante, e com conseqüências que levam a imaginação muito além do que tradicionalmente a ciência parecia permitir, envolve um particular caso de modificação da topologia que, penso eu, vale a pena ser comentado.

Para entendermos o que está em jogo, voltaremos a considerar a estrutura geométrica do universo de Friedmann. Sabemos, pelo que vimos em capítulo anterior, que não existe um só modelo de Friedmann, mas uma classe inteira, dependendo cada um deles da particular distribuição de matéria/energia contida neste universo e que constitui, através das equações de Einstein da TRG, a fonte geradora da curvatura do espaço-tempo. Consideramos anteriormente alguns casos particulares. Aqui vamos nos deter em um exemplo desta classe, cujas peculiaridades serão descritas agora.

Toda geometria do tipo Friedmann caracteriza-se por uma única função do tempo, $A(t)$: aquilo que chamamos de *raio do universo*.[{56}] Em geral, esta função possui uma forma como na Figura 5.2 (capítulo 5). Isto é, em algum momento ela tem o valor zero, que então identificamos como a origem da contagem dos tempos: neste ponto, a estrutura geométrica do mundo é singular. Entretanto, no caso que quero examinar aqui, esta função $A(t)$ é simétrica em relação ao tempo, [{57}] sem passar pela origem, como na Figura 11.1. Uma análise desta função permite concluir que ela possui duas regiões assintóticas, correspondendo aos dois valores de tempo iguais $a + \infty$ e $- \infty$ (mais e menos infinito). Essas regiões são isentas de curvatura, de qualquer vestígio material. Isso permite compreender a interpretação convencional dada à geometria deste universo, constituído de três partes distintas:

• No infinito passado, ele se identifica com um universo vazio do tipo descrito pela geometria de Minkowski.

• Um período de colapso no qual o raio do universo descresce; atinge um valor mínimo distinto de zero e depois entra em um período de expansão indefinida.

• No infinito futuro, ele se identifica com um universo vazio do tipo descrito pela geometria de Minkowski.

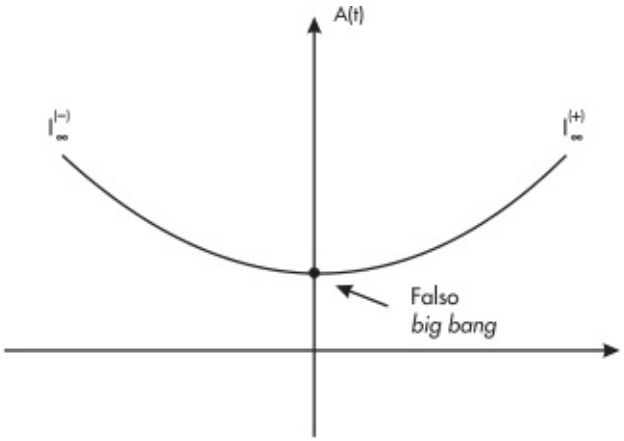


Figura 11.1 **Representação da dependência temporal do raio do universo** $A(t)$**.**

Uma simples inspeção do gráfico da Figura 11.1 permite realizar a síntese deste modelo como se segue (para detalhes técnicos, veja as referências na bibliografia):

• A evolução do universo começa no remoto infinito passado, graças à instabilidade de um universo vazio do tipo Minkowski.

• Tal universo, isento de matéria/energia, tem sua geometria alterada graças a uma estrutura subjacente (de natureza quântica), que pode ser descrita como um colapso adiabático (isto é, suave, sem viscosidade, sem modificação de sua entropia inicial) até o momento em que ele atinge o seu raio mínimo.

• No processo deste colapso, a taxa de variação de seu raio é permanentemente alterada: o movimento é acelerado.

• Próximo à região de condensação máxima, a evolução cósmica entra em um regime não-adiabático, graças ao qual o colapso é revertido em um processo de expansão.

• Assim que a fase de expansão se inicia, matéria (principalmente fótons) e

eventuais flutuações de entropia são exponencialmente amplificadas.

• Esse mecanismo de produção da matéria e entropia satura rapidamente, e a evolução cósmica passa a se comportar como uma geometria convencional de Friedmann, tal como se fosse gerada por um gás de fótons convencional.

• O fim dessa expansão, no remoto infinito futuro, é um universo vazio do tipo Minkowski.

O ponto de máxima condensação, por questão de compatibilidade com recentes observações, é extremamente reduzido. Isso nos levaria a chamar esse modelo não como no caso padrão, que usa a onomatopaica expressão inglesa *big bang*; mas sim *big — but fi nite — bang*, querendo com isso a um só tempo apontar as semelhanças e a distinção entre ele e a natureza singular, de explosão infinita, do modelo padrão.{58}

O resultado desse programa arrasta-nos a uma visão de um universo com uma duração infinita. Mas um só. Isto é, o universo único origina-se no vazio a um tempo infinito; e terminará, no infinito futuro, no vazio. Note-se que, em princípio, essas duas regiões assintóticas, esses vazios, não deveriam ser identificados: eles representam configurações independentes.

Por analogia com o que vimos anteriormente a respeito da solução estática, poderíamos nessa configuração representar nosso mundo como uma *ponte de conexão não-estática de dois universos vazio de Minkowski* (Figura 11.2). Assim, algum poeta que, por acaso e talvez por descuido, estivesse lendo as notas acima, poderia declarar que nosso universo não passaria de uma ocasional conexão entre dois vazios. Algum outro poderia, de modo mais eloqüente, proclamar que nós, não somente homens e mulheres, mas *tudo-que-existe*, viemos do nada e ao nada deveremos retornar.

Esta, entretanto, não é a única interpretação que descreve convencionalmente as características da configuração. Existe uma outra possibilidade, e ela consiste precisamente na analogia da segunda interpretação com a qual lidamos anteriormente, no caso da ponte de conexão. Para construí-la, procederemos de modo bastante semelhante àquela alteração topológica então

referida. Isto é, examinaremos a situação que resultaria se a topologia dessa estrutura fosse tal que permitisse identificar aquelas duas regiões assintóticas, aqueles dois *vazios*.{59}

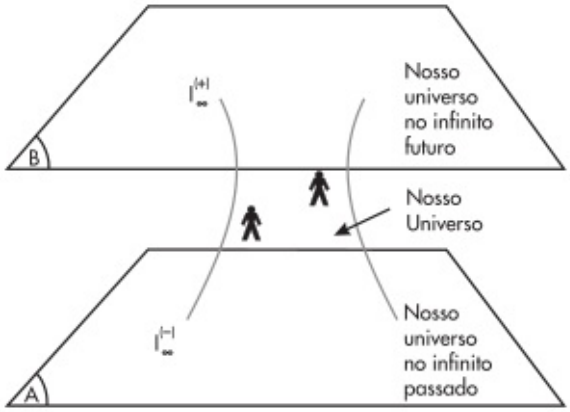


Figura 11.2 **Universos de Minkowski** *A* **e** *B* **conectados por uma ponte Γ, identificada com o eventual colapso primordial e a atual fase de expansão de nosso universo.**

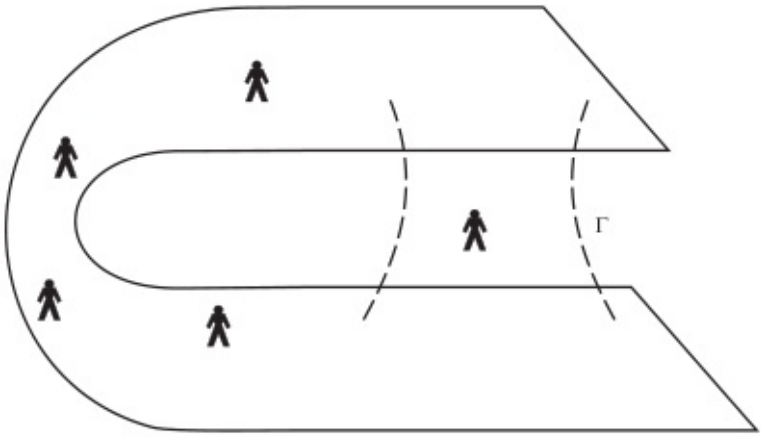


Figura 11.3 **Universos de Minkowski** *A* **e** *B* **da figura anterior coalescem constituindo um só, com uma topologia distinta da anterior. Neste caso, a ponte Γ conecta regiões do mesmo mundo.**

Neste caso, teríamos a configuração exibida na Figura 11.3: um ciclo contínuo e repetitivo *ad infi nitum* de um mesmo universo. O que chamamos acima de universo seria uma unidade *elementar*, constituiria uma totalidade que se repetiria um número indefinido de vezes, eternamente. Estaríamos na presença de uma estrutura contínua e completa de curvas CTC. Na verdade, todo

o universo se prestaria a essa fantástica dança para a frente e para trás, depois de encerrado um ciclo (um colapso seguido de expansão) de duração... infinita![60] Alguém poderia, horrorizado com essa configuração, considerar o modelo desprovido de suporte observacional, além de ser, digamos assim, desagradável. Entretanto, do que vimos acima, devemos inferir que não há nenhum argumento maior capaz de impedir que ela faça parte dos compossíveis mundo que nosso conhecimento atual da ciência produz.

Depois desse longo desvio que foi, reconheço, por demais técnico, e se me fosse permitida uma pequena liberdade poética, eu terminaria este capítulo com a seguinte observação, inspirado na semelhança desse modelo com o castigo infligido a Sísifo pelos deuses. Conta a lenda que, por ter desagradado aos deuses, Sísifo estaria obrigado para sempre a rolar uma pedra por um plano inclinado e, depois, buscá-la, levá-la uma vez mais até o alto da montanha e de novo soltá-la, deixando-a rolar montanha abaixo, por seu próprio peso. E assim sucessivamente, através de sua vida, eternamente. Esse trabalho inútil e sem significado aparente seria, como diz Camus, o pior castigo que os deuses teriam imaginado. Do modelo cósmico apresentado acima, seria possível identificar nosso universo a semelhante atividade contínua e repetitiva de ciclos à qual o mundo estaria entregue compulsivamente. Resta saber se essa repetição infinita do universo seria menos dolorosa por ser coletiva, global. O cenário leva-nos a afirmar que talvez o serviço mais trágico que os cientistas poderiam no futuro prestar à humanidade seria este: desvendar, exibindo aquela eventual seqüência infinita de repetições do mundo, esta subjacente situação de Sísifo a que, por razões que desconhecemos totalmente, o universo inteiro estaria entregue.

OBSERVAÇÕES

Além do ponto de condensação máxima

Nos anos 1980, a comunidade dos cosmólogos defrontou-se com uma

pequena-grande crise concernente à questão da existência ou não de um começo do mundo. Por um lado, argumentos eram apresentados apontando a inevitabilidade daquele começo; de outro lado, diversos cenários eternos, em completo acordo com o sistema global da física, eram propostos. O cenário que descrevemos neste capítulo é um entre vários outros, capaz de passar ao largo da noção fantasiosa de uma origem singular do mundo. Desse modo, se o universo é uma estrutura não-singular, então não seria necessário muito esforço para imaginar a seqüência de ciclos de expansão e contração que ele poderia exibir.

Ciclos infinitos

Questão: qual o grau de confi abilidade do cenário apresentando neste capítulo? Ou, mais diretamente: de que modo uma configuração múltipla de mundos, com uma seqüência de períodos de expansão e contração, poderia ser posta em evidência? E, se não fosse possível, poderíamos aceitá-la como candidata a uma descrição científica do universo?

Vamos examinar dois casos distintos, dependentes da especificidade do processo no interior de cada ciclo, e que caracterizamos assim:

- Caso 1: O comportamento do mundo em cada ciclo é igual ao precedente.
- Caso 2: Pelo menos em algum ciclo, aparece um comportamento novo.

No primeiro caso, a possibilidade de gerenciar observacionalmente este cenário parece mínima. No segundo, vestígio de ciclos passados, de antigas histórias ocorridas em outras épocas poderiam ser registrados. Por exemplo, se os processos globais ocorressem não-adiabaticamente, se a produção de entropia global não fosse nula em algum ciclo, alguma forma de pegada, por mais tênue que fosse, estaria inscrita no corpo do mundo, na sua configuração geométrica, escondida nas propriedades da matéria ou no próprio tecido espaço-temporal. E se isso fosse verdade, se esta fosse a situação concreta deste mundo, então, inevitavelmente, cedo ou tarde, os cientistas seriam algum dia capazes de pô-la em evidência. Estaria assim chegado aquele momento de contemplação de um

processo inesgotável, cíclico, indefinido e para sempre incompleto, conforme o descrevemos acima (Figura 11.4).

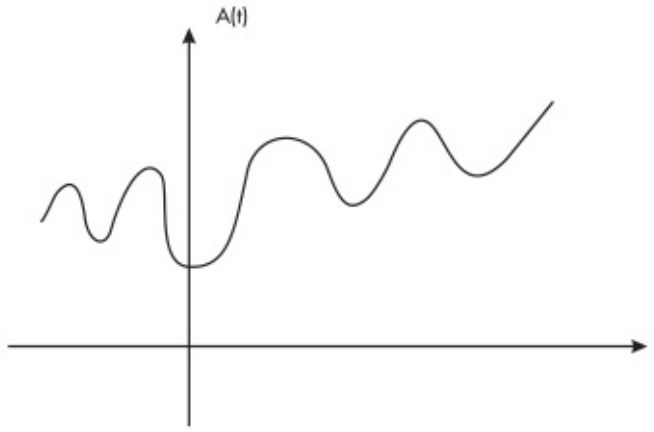


Figura 11.4 **Representação da dependência temporal do raio do universo** $A(t)$ **através de uma seqüência ilimitada de ciclos sem singularidade.**

12. MUDANDO O PASSADO

Por meio da análise direta dos dois exemplos de configurações geométricas admitindo CTC, que estudamos até aqui, vimos que não há nenhuma forma de incompatibilidade entre o retorno ao passado e as leis da física. Há, entretanto, uma questão subjacente a essa discussão, que coloca um dilema bastante dramático neste exame e que consiste no fato de que andar por uma CTC induz paradoxos como aquele que permitiria a uma pessoa alterar o seu passado.

Somos, então, levados a tratar uma das conseqüências mais delicadas com que nos deparamos ao examinar a existência de CTC no universo e que pode ser sintetizada de um modo simples e direto:

• Podemos, ao percorrer uma curva do tipo-tempo fechada (CTC), modificar acontecimentos de nossa história passada?

Se a resposta a essa questão for sim, então entramos em um território que se afasta por demais das idéias convencionais, de difícil compreensão e onde nos defrontamos com um cenário conflitante. Se, por outro lado, essa alteração retroativa não for permitida por alguma lei física (que desconhecemos hoje e que, ao aceitarmos essa hipótese, deveríamos procurar conhecer), deparamo-nos com a igualmente estranha situação que nos permitiria ser simples espectadores de nosso passado, por ele podendo passar sem nele interferir, e isso possivelmente mais de uma vez. A questão tem sido tratada na literatura de ficção científica ou examinada, sob diversos ângulos, por filósofos. Não deixa de ser um fato notável, digno de atenção, reconhecer que hoje a ciência tem-se arriscado frontalmente a estudar uma questão de difícil formulação dentro dos esquemas científicos convencionais.

Como havia anunciado, não farei um inventário das diversas propostas sugeridas para eliminar ou pelo menos diminuir as dificuldades formais quanto à estrutura causal do mundo. Pelo interesse que despertaram junto à comunidade

científica, examinarei dois exemplos. São eles:

• O princípio da autoconsistência.

• O princípio da bifurcação temporal (alguns autores chamam esta solução de *princípio dos múltiplos universos*).

O princípio da autoconsistência pretende proibir o acontecimento que está na base das dificuldades tradicionais da viagem ao passado, enfatizando peremptoriamente, como uma nova lei física, que simplesmente... não se pode alterar o passado! Podemos provisoriamente formulá-lo assim:

• Nenhum corpo material pode voltar a ocupar um estado físico completamente equivalente a um estado anteriormente realizado.

À primeira vista isso parece trivial. Será? Vamos examinar um pouco essa sentença. O que podemos entender pela expressão *alterar o passado*? Um processo, um evento que ocorreu e que está registrado como causa de vários outros processos constituindo uma cadeia de acontecimentos pode ser eliminado dessa cadeia? Sobre o que se apoiariam aqueles outros membros da cadeia, aquilo que chamamos *suas conseqüências*?

Mas é disso mesmo que se trata? Podemos voltar ao passado sem registrarmos os processos que ocorreram durante a viagem? Sejam *A* e *B* pontos da Figura 12.1. Ao retornar{61} de *B* para *A*, o observador pode esquecer os eventos intermediários para chegar em *A* como da pri meira vez, com as mesmas características, as mesmas propriedades? Esta volta ao passado constituiria aquilo que os físicos chamam de processo adiabático, isto é, reversível? Ou seria, ao contrário, um processo viscoso, isto é, ao qual se atribui inexoravelmente uma direção de propagação que pode, conseqüentemente, gerar distinções entre uma passagem por *B* de uma outra eventual passagem?

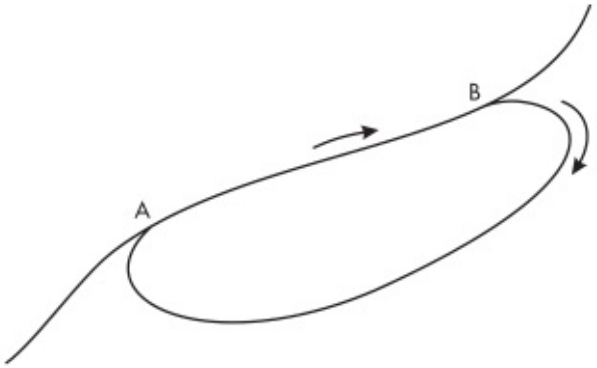


Figura 12.1 **Representação espaço-temporal de um movimento. O observador vai de *A* para *B* por um caminho e ao chegar em *B* bifurca para retornar a *A*.**

Pensar que o processo é viscoso cria de imediato a impossibilidade de manutenção da quantidade de informação em curva temporal fechada. Voltar ao passado seria como estar de novo diante de uma escolha de caminho, em uma bifurcação. Entendemos então que toda essa questão pode se limitar ao conhecimento que é mantido ao percorrer-se uma CTC. Essa é a chave de que precisávamos para penetrar no íntimo do problema. Reconhecendo isso, a física vai, a partir daí, concentrar-se neste exame, para tentar compreender o mecanismo pelo qual podemos efetivamente reter nessas trajetórias a quantidade máxima de informação que possuíamos ao começo dessa caminhada.

Assim como no caso da criação do universo, aqui também estamos em face de uma situação que exige mudança de atitude e de compreensão do significado que devemos atribuir aos limites, à fronteira de nosso conhecimento. No primeiro caso, estamos tratando da generalização de uma totalidade que pensávamos fosse a última grande globalização que a física poderia admitir. Sabemos, entretanto, como controlar, do seu interior, as diferentes possibilidades teóricas que se apresentam. No caso das CTC, devemos examinar configurações ideais que apontam para uma superação da noção de univocidade factual?

ALGUMAS SOLUÇÕES POUCO CONVENCIONAIS

Embora tenha limitado todo nosso exame até aqui a estruturas bastante convencionais — conforme compromisso previamente assumido às primeiras páginas deste livro —, neste capítulo irei um pouco além dessa limitação para apresentar algumas idéias e programas especiais que têm aparecido em diversas áreas da física. Apesar de não diretamente referentes à questão aqui tratada, estão a ela relacionados, podendo constituir visões alternativas às que estamos examinando. Como serão descritas aqui apenas por complementaridade, não entrarei em maiores detalhes em nenhuma delas.

Além do espaço-tempo quadridimensional

Uma solução completamente diferente das propostas anteriores, mas que resolve de um modo radical as contradições ligadas à questão da volta ao passado, consiste em argumentar que o número de dimensões do espaço é maior do que tradicionalmente se tem admitido. Na verdade, essa visão não pretende resolver a questão temporal, mas sim desqualifi cá-la.

Na base dessa hipótese encontra-se a idéia de unificação da física, que tem permeado esta ciência ao longo do século XX. Antes de qualquer outro comentário, é preciso alertar que os físicos reconhecem estar ainda longe de realizar tal programa, embora várias tentativas, e com algum sucesso, tenham sido feitas. A procura de uma unidade formal na natureza passou por um sem-número de formas distintas, dependentes dos autores que a desenvolveram, mas creio que podemos sintetizá-las todas como nada mais que tentativas de encontrar um esquema matemático único, capaz de ser, a um só tempo, suficientemente amplo para conter todas as formas de interação conhecidas e prático, isto é, de fácil utilização nas descrições dos múltiplos processos observados na natureza. Trata-se de argumentar que todos os processos observados, todos os fenômenos físicos detectados admitem uma explicação em termos de um número pequeno de forças (hoje este número é aceito como sendo

quatro) que, por sua vez, admitiriam uma formulação unificada, em uma só estrutura formal. Esta unidade de descrição tem encantado os cientistas, que, por razões pouco conhecidas, possuem uma paixão desmesurada pela unidade, resquício de uma simplicidade que se perdeu.

Dentre as várias tentativas, interessa-nos aqui examinar uma em particular, fundamentada sobre a idéia de que o espaço-tempo teria mais de quatro dimensões.{62} Nos últimos anos desenvolveu-se uma proposta segundo a qual estas dimensões poderiam ter ocorrido em épocas remotas do universo, quando este estava extraordinariamente quente, a altíssimas energias, nos momentos iniciais da atual fase de expansão em que se encontra. Dessas propostas, precisamos reter somente a possibilidade de que existiriam mais do que quatro dimensões do mundo.

Como isso poderia afetar nosso problema e resolver a questão da CTC? Do modo mais simples possível: bastaria considerar que o fechamento sobre si mesma de uma curva CTC que um observador percorreria é fictício, uma vez que se trata somente da projeção de uma trajetória mais complexa, que não se fecharia em sua verdadeira e completa caracterização nas dimensões extras.

Curiosamente, o problema é resolvido do modo mais absoluto possível: desqualificando-o como tal. Poderíamos perguntar se não existiria uma outra correspondente situação para uma curva fechada no grau máximo de dimensões permitido. Mas esta é uma pergunta que nos levaria a uma investigação além daquilo que chamamos a imagem espaço-temporal do mundo. E isso não é nossa tarefa aqui.

Uma descrição sem espaço e sem tempo: o pré-universo

Vimos, no capítulo 4, como uma nova atividade nasceu na cosmologia: a utilização das leis físicas na produção formal do universo. Os cientistas estão produzindo modelos de configurações que estariam na origem deste mundo, desembocando naquilo que chamamos de *realidade espaço-temporal*. Esse pré-

universo não admitiria uma descrição no espaço e no tempo. Na verdade, estaria na origem dessas qualidades. Caminhamos assim na direção oposta ao cenário que descrevemos na seção anterior. As relações formais nas quais nos baseamos para montar essas idéias encontram-se no território da estrutura quântica do mundo.

Alguns autores, baseados na analogia das características especiais — quer na situação-limite da singularidade do universo, do seu começo, quer nas regiões por onde passam curvas do tipo-tempo fechadas —, argumentam que estaríamos, em um e em outro caso, impossibilitados de produzir uma imagem contínua das diferentes configurações. E possivelmente pelas mesmas razões: graças às propriedades quânticas que arrastariam para fora do cenário de *localizabilidade* dos eventos a representação do que existe. Segue-se então que essas estruturas não admitiriam descrições convencionais do espaço-tempo, desqualificando uma vez mais o problema.

COSMO E CONTEXTO

Estávamos utilizando, nas considerações acima, a noção de unidade da partícula ideal isolada ou em interação, de acordo com a tradição da física. Entretanto, da seção anterior, podemos concluir que a presença de CTC no universo induz uma série de situações novas que exigem uma mudança de tratamento, não só em relação à análise da estrutura espaço-temporal dos processos, mas uma reforma profunda de nossa descrição da realidade.[{63}] É de duas dessas novas formas de descrição que falaremos agora.

Termodinâmica da partícula isolada

Uma das idéias conflitantes que estamos observando pode ser identificada à impossibilidade formal de tratar o universo como um sistema observável do exterior. Não é operação simples e, para alguns, nem mesmo realizável

considerar o lado de fora do mundo. Entretanto, em algumas teorias cosmológicas, esta operação formal não somente é permitida, mas torna-se uma necessidade para a construção dos diferentes modos de formação do universo. Entender o significado dessa expressão é a nossa função agora. A questão pode ser resumida à tarefa de produzir sentido para a idéia de considerar o *lado de fora* de uma totalidade.{64}

Quando o professor Louis de Broglie deu o título com que nomeamos essa seção para um de seus cursos, parecia que ele estava pretendendo causar um verdadeiro espanto junto a seus pares. A razão é fácil de compreender: pela sua própria fundamentação, a parte da física que chamamos de termodinâmica trata não de um processo individual,{65} mas sim de processos coletivos, envolvendo muitos corpos. Ao empreender tal exame — e para permanecer vinculado, ou melhor, apoiado sobre um arcabouço teórico sólido — Broglie utilizou as teorias convencionais empurrando-as para o limite mais externo possível de sua extrapolação. A idéia pode ser resumida na seguinte operação mental: uma partícula é colocada numa caixa; esta caixa, por sua vez, está imersa num meio tal que lhe garante uma constância completa e absoluta de temperatura, aquilo que chamamos de *banho térmico*, para todas as considerações referentes ao comportamento da partícula, essa temperatura funciona como se fosse imposta por um reservatório com capacidade ilimitada de manter o sistema em tal situação. Nada pode ser dito sobre a origem dessa capacidade. Do ponto de vista do exame da partícula, isso não tem importância. Afinal, a idealização em questão pode ser sempre aproximada a qualquer nível que se desejar. Como processos internos à partícula não podem interferir na situação externa, pois esta é precisamente a condição de inesgotabilidade das fontes que mantêm o exterior estável, segue-se que essa construção pode referir-se seja a uma partícula elementar, seja a um universo. Trata-se de totalidades que não influênciam o exterior. Desse modo geramos sentido para a expressão *extensão de uma totalidade*. É bem verdade que criamos (artificialmente?) uma outra dificuldade: a de compreender como se produz o reservatório térmico, o *exterior*. Mas essa é

uma questão ulterior que confirma aquilo que, de um modo brincalhão, mas totalmente verdadeiro, alguns cientistas afirmam: na natureza, *there is no free-lunch*, não há almoço grátis: o grau de dificuldade de uma questão pode ser negociado com outra questão, mas não ser totalmente eliminado.

A formulação dos múltiplos universos

Vamos encontrar as origens dessa proposta em um programa de interpretação da mecânica quântica, originalmente apresentada pelo físico H. Everett e posteriormente modificada e difundida por J.A. Wheeler. Para que se possa compreender seu uso na presente questão das curvas CTC, talvez não fosse necessário rever suas origens quânticas.{66} No entanto, se puder apresentar sua formulação original em seu campo de ação, para o qual ela foi originalmente criada, creio que se poderá ganhar uma visão bem mais coerente e profunda do que a proposta tem a dizer. Além disso, o leitor será introduzido numa curiosa formulação dos mecanismos de construção da realidade, em uma versão especial de análise do mundo quântico. Não estou aqui defendendo esse ponto de vista, mas somente expondo essa interpretação da mecânica quântica.

Tradicionalmente, considera-se que o significado maior e completo da ordem quântica do mundo só pode aparecer quando, de alguma forma, o papel do observador é levado em conta. Aprendemos, em diferentes versões, que a objetividade e isenção do mundo clássico foram corrompidos pela física quântica. Alguns autores chegam até a falar de seu caráter subjetivo, querendo enfatizar o papel desempenhado pela medida efetivamente realizada. Dessa forma, a própria idéia de algum dia conseguirmos descrever a natureza quântica do universo considerado em sua totalidade estaria, na formulação convencional, fora do domínio da ciência, posto que não podemos associar a figura de um observador externo ao universo. A proposta que consideraremos agora, conhecida como dos múltiplos universos, pretende exibir um novo sentido para essa descrição, permitindo que a aplicação de métodos convencionais de

quantização possam ser aplicados à totalidade espaço-tempo.[67]

De um modo simplista, a idéia de univocidade do mundo, associada à interpretação de que uma medida efetiva deve apresentar uma única resposta — conseqüentemente, as possíveis respostas alternativas estão eliminadas da realidade —, é aqui ultrapassada: argumenta-se que existem tantas realidades quanto eventos possíveis, e, ao realizar uma dada medida, obtendo um valor e não um outro, isso não retira a realidade dos valores compossíveis, mas somente os projeta para outros mundos que não realizamos naquela particular observação. Estes outros mundos teriam tanto direito quanto o observado a requerer o certificado de realidade. Tais mundos bifurcados estariam em realidade sendo igualmente vivenciados. No dizer do físico, não podemos ter acesso ao passado, a uma história, mas somente a lembranças, memórias. Retirando a ênfase tradicionalmente dada ao observador, retirando-o de foco, essa interpretação dos eventos quânticos nos prepara para dar sentido direto e preciso à noção de estrutura quântica do universo. Alguém poderia argumentar que o preço a pagar é alto. Os defensores dessa idéia, entretanto, consideram-no indispensável a qualquer teoria física que pretenda ser aplicada a totalidades.

Apliquemos essa proposta à nossa questão. Cada vez que vou de *A* para *B*, defi no um ramo de mundo, ou melhor, um mundo possível dentre os vários que *realmente* existem. Cada observador só tem memória no interior de cada ramo. Desse modo, quando viajo ao longo de uma curva fechada no tempo, a *segunda* ou enésima vez que vou de *A* para *A*, não conservo a memória anterior: não conservo a memória ao passar de um evento para outro quando posso usar diferentes caminhos no espaço-tempo. Ou melhor, nos possíveis espaços-tempos. Na verdade, viajar para trás no tempo, dirigir-se para o passado, ganha aqui uma nova interpretação, como se o ponto *A*, duas vezes atravessado, fosse o umbigo de conexão de distintos ramos de mundo.

A crítica que poderíamos fazer a essa proposta, pelo menos do modo simples como a estamos tratando aqui, é esta: não temos evidência alguma de que tal multiplicação do mundo possa ser experimentada. E, mais grave ainda,

não poderíamos sequer argumentar seriamente que aquilo que chamamos estrutura espaço-tempo possa admitir uma unidade se o próprio universo se encontra incontrolavelmente multifacetado. Mas isso pode não ser uma verdadeira crítica, posto que estamos tratando de configurações quânticas. Como tal, a noção clássica de um substrato espaço-tempo deve ser repensada.

Espero ter deixado clara a fraqueza, ou melhor, a limitação associada a essas duas tentativas de solução que os cientistas têm considerado e cujo lado insatisfatório me parece grande. Durante algum tempo procurei uma alternativa que funcionasse mais como um programa de resolução dos paradoxos causais do que como camisa-de-força, como aquelas duas propostas formais pareciam ser. Finalmente, depois de algum tempo, ocorreu-me examinar essa questão de um ponto de vista totalmente diferente. No capítulo 16 apresentarei este programa. Antes disso, vamos esclarecer um pouco mais as propostas anteriores.

13. O PRINCÍPIO DE AUTOCONSISTÊNCIA

UM PEQUENO ALERTA

Examinaremos agora com um pouco mais de detalhes o princípio de autoconsistência a que nos referimos anteriormente. Antes de qualquer comentário, porém, é importante esclarecer que estamos entrando em um território no qual o único guia parece ser a preservação das estruturas básicas de nossa descrição da realidade, para além do que nos é dado observar. Dito de outro modo: tem sido parte fundamental do procedimento utilizado pelos cientistas, em sua formulação racional do mundo, extrapolar verdades, afirmar comportamentos da natureza, que não estejam no domínio restrito da região comprovada diretamente pela observação. Isso faz parte de uma tradição não somente na física, bem como nas ciências em geral, e que tem produzido uma aceitável, cômoda e eficiente razão do mundo.

Dessa forma, não é de espantar que, na questão que nos ocupa aqui, isto é, de entender e produzir um sentido para a possibilidade de viagens ao passado, e para compatibilizá-las com o resto da física, se tenha lançado mão, em um primeiro momento, de idéias extremamente conservadoras e até mesmo simplista. Vamos considerar agora precisamente uma dessas idéias conservadoras, que possui junto à comunidade científica um *status* bastante elevado, atuando quase como uma versão oficial de tratamento das considerações sobre CTC. Não estou defendendo essa posição, mas simplesmente expondo-a. Embora, pelo que vimos em capítulo anterior, a produção de uma história global, que emerge muito naturalmente dessa análise, seja uma conseqüência admirável dessa formulação, não creio que ela contenha a condição necessária para transformar o exame de curvas para o passado em um caminho sem contradição na física, capaz de produzir efetivamente uma maior

compreensão da natureza. Esta é a razão pela qual apresentaremos mais adiante uma outra proposta de compatibilização.

AUTOCONSISTÊNCIA

Existem várias formas de enunciar o princípio de autoconsistência. Não entrarei nos meandros técnicos da formulação,{68} mas concentrarei o exame em uma versão simplificada que os físicos vêm elaborando nos últimos anos e que dá bem a idéia do que ela tem a dizer em situações genéricas. Comecemos por relembrar aquelas dificuldades gerais que aparecem sempre que um dado corpo material passa duas vezes pelo mesmo ponto no espaço e no mesmo tempo. Surge aqui uma dubiedade que entendemos vagamente como uma bifurcação no tempo e que entra em choque direto com a fé animal (que alimenta nossa razão) na univocidade do mundo. Seja, por exemplo, um corpo material *M* que passa por *XT* (uma posição no espaço e no tempo) duas vezes. Suponhamos que tenhamos acompanhado a primeira vez que *M* passa por *XT*. Sabemos, portanto, qual o caminho que ele seguiu a partir daí, que influências ele exerceu no mundo, quais histórias de outros corpos ele influenciou. Podemos construir, a partir dessa observação, uma descrição racional do mundo. Consideremos agora uma outra observação desse mesmo corpo, quando de sua segunda passagem por *XT*. Aqui estamos nós observando *M*. Neste momento, um pouco antes de ele voltar por *XT*, perguntamos a nós mesmos: o que vai acontecer? Que histórias vai ele influenciar desta segunda vez?{69} Responder a essa questão é precisamente a tarefa que nos é imposta, se queremos descrever racionalmente processos em que curvas CTC aparecem. Mais do que isso: estamos querendo construir um procedimento formal que nos permita manter uma história racional do mundo como parte fundamental do discurso da ciência. E, para isso, um primeiro impulso, uma primeira resposta que nos parece razoável àquela questão, é manter a descrição anterior que tínhamos construído observacionalmente. Isto é, eliminar, na segunda passagem, uma eventual

independência, aquela arbitrariedade de comportamento que *M* possuía quando de sua primeira passagem por *XT*. Dito de outro modo: impedir que *M* tenha um comportamento distinto do anterior, para preservar, como única, a sua história em todo ponto do espaço *X* e do tempo *T*; e poder assim eliminar do mundo a idéia de que o que vemos é mais que uma miragem, é mais que uma circunstância fictícia de momento; queremos pensar que existe uma história no mundo, que existe até mesmo essa entidade estável que chamamos *mundo*. E, para isso, para que não tenhamos dificuldade em apontar para o fenômeno, para que possamos reconhecer o fenômeno, é preciso que ele seja único naquilo que caracterizamos desde sempre como sua identidade: sua univocidade observada. Por todas essas razões, de caráter subjetivo certamente, mas que sustentam nossa idéia da ciência (pelo menos como ela tem se organizado até aqui), impõe-se aquele princípio de autoconsistência, que agora podemos enunciar como segue:

- O princípio de autoconsistência exige que as únicas soluções de leis físicas que podem ocorrer localmente no universo real restrinjamse àquelas que são globalmente autoconsistentes.

Vamos esclarecer um pouco o enunciado. Uma lei física possui diferentes exemplos de sua ação no mundo. Cada evento real é um caso particular daquela lei. Quando a lei é descrita por uma equação, dizemos que cada exemplo particular de sua ocorrência no mundo trata de uma solução particular daquela equação. Sobre a lei, sobre aquilo que chamamos lei física, por ser genérica, não se pode dizer que está no mundo. A lei permeia o mundo; suas soluções são os casos particulares que estão no mundo. Constituem aquilo que chamamos realidade. A lei está no território da fantasia, da minha representação. Exemplos particulares de suas soluções constituem o real, aquilo que convencionamos chamar real. Desse modo, não devemos nos preocupar em demasia com as trapalhadas metafísicas em que uma dada lei da física se envolve, mas certamente devemos prestar atenção às propriedades de soluções reais, verdadeiras, que ela permite, pois são essas soluções que constituem o que

chamamos de *exemplos da realidade*.

Se o leitor não ficou horrorizado com o parágrafo anterior, se o aceitou como parte integrante do jogo da ciência, então não terá dificuldades em me acompanhar na conclusão óbvia que se segue, que sustenta e dá significado ao princípio de autoconsistência. Porque devemos então voltar nossa atenção não para a estrutura das leis, mas única e exclusivamente para o conjunto de suas soluções. Neste ponto, poderíamos nos perguntar se a lei que permite aquelas diferentes soluções não deveria ser tratada como mais fundamental que seus casos particulares, suas especiais soluções. Eu diria que não estamos aqui interessados nesta questão, mas tão-somente em compatibilizar nossa imagem mental do mundo com sua univocidade. Assim, embora seja verdade que as leis físicas constituem os modos de comportamento *permitidos* ao universo, estamos interessados aqui não em compossíveis mundos, mas sim somente naqueles que são realizados. E, por conseguinte, podemos entender a função maior daquele princípio: o de impedir o aparecimento de situações que não seriam proibidas de ocorrer (porquanto compatíveis com as leis físicas), mas que, uma vez ocorrendo, romperiam nossa fé na unidade do mundo.{70} Assim, a existência de CTC não provocaria, necessariamente, as desagradáveis situações que os paradoxos temporais fariam crer, mas pode restringir (por autocoerência, como visto aqui) a seqüência ordenada dos eventos que a física produz. Os dados iniciais não seriam livres! A história local seria só uma restrição útil, em certas circunstâncias especiais, mas poderia não ser possível, se existissem CTC.

Isto é, os fenômenos realizáveis no mundo, e que são a sustentação do real, deveriam, graças a esse princípio, estar livres da proliferação das dificuldades causais e dos paradoxos associados que existiriam caso não fossem proibidos de ocorrer por alguma lei maior que pairasse acima das estruturas formais geradoras de todas as demais leis físicas. Dito de outro modo, os físicos, alguns físicos, pretenderam com esse princípio de autoconsistência obter a tranqüilidade necessária à produção de um universo livre de conflitos causais. Para caracterizar bem esse ponto, retomaremos um exemplo já citado. Um corpo

material, digamos, uma partícula material, que chamaremos simplificadamente de *M*, ao passar uma segunda vez pelo mesmo ponto *XT* do espaço e do tempo, pode ser entendida como se fosse um novo corpo material independente. Vamos simplificar aqui nossa descrição e chamá-la de corpo M_1 quando passa pela primeira vez pelo ponto *XT* e de corpo M_2 quando passa pela segunda vez.

Do que vimos anteriormente, a ausência de algum princípio inibidor de situações novas (tal como, por exemplo, o de autoconsistência) impediria o nosso conhecimento do comportamento futuro, para além de *XT*, quando o corpo passasse pela segunda vez por ali. Isso quer dizer que não seria totalmente absurdo imaginar que esses dois corpos interagissem um com o outro! Mas se isso é possível, então poderíamos conceber uma ação sobre o passado em que o corpo é capaz de interferir, e possivelmente até mesmo de modo catastrófico, sobre si próprio! Assim, parece clara a função formal do princípio de autoconsistência: ele inibiria toda ação que alterasse significativamente o desenrolar dos acontecimentos envolvendo aquele corpo material. As interferências de um corpo sobre si próprio, em um ponto de coincidência espaçotemporal, seriam controladas por este princípio, permitindo que uma ordem no mundo se constitua de uma vez para sempre: a história do mundo seria única.{71} Assim, poderíamos de um modo simplista resumir o que dissemos acima argumentando que a autoconsistência é o instrumento formal que sustenta a condição de um corpo material viajar a seu passado, mas lhe retira qualquer possibilidade de alterá-lo!

Alguém de espírito mais romântico e ativo que pretendesse penetrar nas questões envolvendo viagens para o passado com uma certa vontade de produzir alguma forma de mutação, quer em sua própria história, quer em algum processo maior e mais complexo, de maiores ambições, talvez tenha ficado um pouco decepcionado com a possibilidade de considerar seriamente a aplicação do princípio de autoconsistência a seu mundo. Tudo que eu poderia dizer para minorar sua eventual frustração se resume na observação seguinte: esse princípio

que apresentamos aqui pode não ser mais do que justamente isso, um guia de elaboração de um mundo coerente. Isso não significa que ele seja verdadeiro, nem que sua utilização na manutenção de uma causação no mundo seja obrigatória. Afinal, o fato é maior que sua representação. Maior mesmo que toda nossa ordenação racional da natureza. Talvez até mesmo que sua racionalidade.

PARA ALÉM DO PRINCÍPIO DE AUTOCONSISTÊNCIA

Em outro lugar vimos aparecer uma dicotomia na natureza, com respeito à questão causal, que merece uma análise um pouco mais detalhada. É o que faremos a seguir.

14. O MUNDO QUÂNTICO

Até aqui consideramos as conseqüências da existência de curvas do tipo-tempo fechadas dentro de um cenário clássico, isto é, sem levar em conta que a estrutura mais íntima da matéria derrama-se pelo mundo quântico. Como havíamos prometido, agora preencheremos essa lacuna e nos iremos deter um pouco no exame da influência dessas particularidades quânticas sobre as propriedades analisadas em nossa discussão anterior. Trataremos assim de responder à questão que havíamos enunciado, isto é:

- De que modo o mundo quântico afeta nossa análise sobre o comportamento dos corpos materiais em regiões do espaço-tempo contendo curvas do tipo-tempo fechadas?

A literatura científica exibe um número pequeno de artigos voltados para essa questão. Mais grave ainda, tais artigos limitam-se ao exame de situações aproximadas, nas quais a matéria admite um tratamento quântico, embora a estrutura do campo gravitacional seja tratada classicamente. A razão para isso é técnica. O casamento da teoria da gravitação de Einstein, que a associa à geometria do espaço-tempo, com as características quânticas, está ainda aparentemente longe de ser consumado. Esse método de aproximação semi-clássica a que nos referimos aqui permite, no entanto, examinar as principais questões envolvendo a influência da presença de CTC sobre o comportamento da matéria.

Antes disso, porém, não seria irrelevante questionarmos a própria significância desse exame. Ou, de outro modo, tentarmos esclarecer a questão: o que podemos esperar desse estudo, se ele não é completo? A resposta é simples: assim é como se progride na ciência. É desse modo que evolui nosso conhecimento. Por etapas, passo a passo, uma extensão de análise após outra. E eu adiantaria aqui, no entanto, que mesmo o exame limitado que vem sendo

empreendido produz novidades bastante esclarecedoras.

Por outro lado, alguém mais ansioso poderia querer antecipar-se e argumentar do seguinte modo: se, em vez desse exame limitado que nos está sendo provisoriamente oferecido, considerássemos o tratamento completo do problema, em sua versão integral, incluindo a quantização do próprio campo de interação, não modificaríamos profundamente a questão? Isto é, será que a passagem completa da estrutura clássica para a quântica nos revelaria características e propriedades referentes à questão da direção de nossas viagens no tempo significativamente distintas das que até aqui consideramos? Embora a questão não seja tratada aqui diretamente, pois a ciência ainda não produziu instrumentos eficientes e completos para abordá-la, dedicaremos a ela umas poucas palavras.

Uma primeira análise nos incitaria a procurar responder à questão em um contexto maior, a saber: temos algum indício, ao tratarmos de propriedades da força gravitacional, de que a passagem da estrutura clássica à quântica tenha provocado uma mudança radical do comportamento da natureza, mesmo em setores afastados do nosso, que nos façam ter expectativas de novidades, de grandes e profundas mudanças de comportamento? Para examinarmos isso e esclarecermos um pouco melhor o território que deveríamos penetrar, é necessário nos determos um pouco nesta caracterização, se quisermos proceder por analogia.{72}

Como a questão maior deste livro encontra-se fundamentada em uma teoria da estrutura métrica do espaço e do tempo, faremos um breve comentário a seguir sobre uma questão que passou por situação formal bastante semelhante e que tem, ademais, um interesse em si. Trata-se do exame da chamada singularidade cósmica. Aproveitaremos o exemplo para aprender como uma expectativa, por analogia, pode nos afastar da compreensão maior de um problema, simplesmente por um preconceito que se espalhou rapidamente na comunidade científica, conseqüência de mau uso da similaridade formal de teorias distintas.

ESTRUTURA QUÂNTICA E O COMEÇO DO MUNDO

O cientista, como qualquer pessoa na análise profissional de uma questão técnica de sua especialidade, não pode ser pensado como uma máquina-de-fazer-ciência. Ele possui seus vínculos, suas idiossincrasias, compromissos com sua visão particular do mundo e que, o mais das vezes, nada mais é que uma ligação muito forte com a tradição. Com uma pequena dose de exagero, eu diria que, assim como o artista parece ter horror ao semelhante (a palavra de ordem parece ser: a obra de arte deve ser inovadora!), contrariamente ao que a sociedade parece aceitar e propagar, o cientista parece ter horror ao diferente (aqui, a palavra de ordem parece ser: as leis físicas produzidas ou descobertas pelos homens são verdades eternas). Isto é, a tendência natural do cientista ao utilizar uma estrutura formal, validada em um dado setor da natureza, é estendê-la para além do território de sua observação. Quando aplicado a leis físicas, a processos que podem ser submetidos diretamente à observação, isso não produz nenhuma seqüela científica: observações futuras se encarregarão de comprovar ou criticar aquela extrapolação. Entretanto, quando a generalização trata de um cenário teórico maior, quando ela constitui a própria estrutura, o arcabouço da descrição formal do mundo, então a situação é mais complexa. Causa uma visão distorcida da realidade, embora arrogantemente apresentada, associada àquela comprovação herdada, por extrapolação, de outro território: sua crítica tardará muito a ser empreendida, pela tendência inercial de manutenção de idéias. Para exibirmos isso, vamos ao nosso exemplo.

Nos anos 1960, o maior, ou talvez devêssemos dizer o mais dramático, impasse da cosmologia consistia na aparente descoberta teórico-observacional de que o universo teria tido um *começo*. Tecnicamente, dizia-se que o espaço-tempo teria tido em sua origem uma *singularidade*. Isso parecia indicar que os cientistas deveriam abandonar ali qualquer esperança de compreender

racionalmente a natureza para além desse ponto inicial. A totalidade do mundo, como dissemos em capítulo anterior, não admitia uma formulação racional ao longo de toda a sua história, pois as quantidades físicas, todas elas, divergiriam naquele momento; isto é, os valores de todas as grandezas observáveis, necessárias para uma descrição ulterior, teriam ali o valor infinito! Do ponto de vista observacional, isso consistia em levar às últimas conseqüências a descoberta da expansão global do universo; quanto ao aspecto teórico, argumentava-se que os chamados *teoremas da singularidade*[{73}] impediam a existência de configurações não-estáticas no nosso mundo, associadas a campos gravitacionais intensos, geradas por fonte convencional (isto é, as formas de matéria e/ou energia conhecidas) e que fossem isentas de um começo explosivo.

Isso que poderíamos chamar de uma verdadeira ideologia explosiva tomou conta da grande maioria dos físicos. Convencidos dessa inexorabilidade formal que impediria, no cenário descrito pela teoria clássica da gravitação, a existência de um universo eterno, sem um momento inicial; mas, por outro lado, descontentes com essa limitação que lhes parecia intimamente desconfortável, alguns cientistas começaram a especular se o impasse cósmico não poderia ser resolvido através de uma extensão natural daquele mundo clássico para um mundo quântico. Ou seja: os teoremas, impondo a exigência da singularidade inicial para o nosso universo, haviam sido demonstrados utilizando-se, em sua prova, as equações clássicas de Einstein, sem levar em conta possíveis modificações quânticas. A situação não seria modificada se passássemos a examinar o campo gravitacional quantizado? A sustentação ideológica a impelir a direção dessa mudança foi encontrada precisamente pela analogia formal com a teoria do outro campo clássico conhecido, igualmente de longo alcance: o campo eletromagnético. Com efeito, sabia-se que uma espécie de singularidade[{74}] ocorre ao examinarmos o campo gerado nas vizinhanças do elétron, a menor estrutura carregada então conhecida. Em vez de continuar, de maneira ineficaz, a procurar uma solução clássica para o problema, os físicos perceberam que a questão poderia ser, se não resolvida, pelo menos ultrapassada,

o que é um termo suave para caracterizar a atitude da Rainha Vermelha: “Vamos mudar de assunto!” Como por milagre, a descrição quântica do elétron elimina com efeito o problema, ou melhor, desqualifica-o. Transcende-o.[{75}]

Desse modo, diversos autores começaram seriamente a pensar em tratar o universo nas vizinhanças da eventual singularidade (isto é, quando o campo gravitacional é extremamente elevado) sob seu aspecto quântico. Não entrarei aqui nos detalhes da questão, mas direi somente que os diferentes esquemas utilizados se mostraram ineficientes para produzir alguma forma de previsão do comportamento clássico induzido por aquela fase quântica primordial; ou, quando o fizeram, não geraram nenhuma estrutura radicalmente diferente daquelas que haviam sido anteriormente atribuídas ao universo antes de considerarmos sua estrutura quântica.

Por outro lado, uma análise mais detalhada mostrou que estruturas clássicas um pouco mais sofisticadas e complexas — e que as simplificações anteriores inibiram —, embora permitidas por leis físicas gerais, resultaram em esquemas eficientes o bastante para impedir o aparecimento de estruturas singulares. Isto é, ao perceber que os esquemas de passagem para o nível quântico não corresponderam à expectativa de eliminar a origem singular do universo, os cientistas começaram a considerar com maior seriedade esquemas clássicos menos ingênuos, mais complexos, que haviam sido previamente propostos para representar o comportamento do universo nas vizinhanças do início da sua atual fase de expansão. E que esses esquemas não possuíam aquela propriedade incômoda de conter uma singularidade, ou seja, não reduziam a história do começo do mundo a uma configuração inacessível para o exame racional.

Esse longo comentário serve somente para constatar que não é evidente, *a priori*, que devamos esperar modificações substanciais com respeito ao comportamento da matéria em presença de CTC pelo simples fato de considerarmos o campo gravitacional em seus aspectos quânticos.[{76}] Isso dito, podemos agora tratar da limitada mas efetiva descrição semiclássica a que nos referimos acima. Veremos, com efeito, que algumas mudanças ocorrem, porém a

mais importante conseqüência diz respeito à nova interpretação que dela decorre.

O MUNDO QUÂNTICO E AS TRAJETÓRIAS CTC

Talvez a característica mais incômoda da existência de trajetórias que levam ao passado seja aquela relacionada com os paradoxos que citamos anteriormente. Passar pelo mesmo ponto do espaço *e* do tempo é uma experiência que nos perturba, pois a ela está associada a possibilidade de influenciar decisivamente em nossa história particular. Uma das condições para que isso ocorra está ligada à permanência da informação ao longo dessa trajetória. Isto é, eu preciso ter um conhecimento completo de minha história passada para que possa, ao retornar ao meu passado, alterar sua seqüência. Isso significa que, em cada momento, a informação a que tenho acesso nesse caminho não deveria ser perdida. Se o leitor me acompanhou até aqui nesta análise, compreenderá que nossa primeira indagação ao considerarmos as propriedades de um corpo qualquer, uma partícula, que se propaga ao longo de uma CTC deveria ser esta:

- Perde-se informação ao se percorrer uma CTC?

Para entender o que realmente está em jogo, precisamos ter em mente qual é, Afinal, a descrição do mundo que a física fornece. Vamos considerar uma questão típica. Voltemos ao caso simples em que a estrutura do espaço-tempo é aquela associada ao *vazio* clássico, e que, conseqüentemente, o universo correspondente é plano.{77} Consideremos dois momentos, que chamaremos de t_i, tempo inicial, e t_f, tempo final (devemos notar que o que estamos chamando de *instante de tempo* constitui a totalidade *espaço* naquele momento). Ao tratarmos de sistemas físicos cuja dinâmica é descrita por equações diferenciais, a questão típica que examinamos é esta: se são dadas informações completas sobre o sistema em t_i, podemos usar as equações de propagação para obter informações completas sobre o sistema em t_f. Isso significa que as informações não são *perdidas* no caminho de t_i para t_f.

Existem, porém, na teoria da relatividade geral, situações em que um sorvedouro de informações aparece entre aqueles dois instantes. Vamos examinar um exemplo para esclarecer nossa análise.

OS COMEDORES DE INFORMAÇÃO

Buracos negros

A década de 1980 popularizou uma característica curiosa, envolvendo o colapso de estrelas. Ouvimos falar, a princípio no jornal de domingo e, mais tarde até mesmo no noticiário do dia-a-dia, dessa estranha configuração que os físicos chamaram de *buraco negro*: o estágio final no qual esses corpos celestes estariam destinados a mergulhar e desaparecer. Assim, não será preciso entrar em maiores detalhes quanto a suas propriedades, mas somente lembrar uma dessas características, pois ela será essencial para entendermos o que se segue. Trata-se da propriedade que dá origem ao próprio nome. A força gravitacional exercida pela estrela colapsada é tão forte que, de um ponto de vista puramente clássico, nada poderia sair de um buraco negro: tudo que lhe passa por perto, toda matéria, sob qualquer forma que estiver em sua vizinhança, é por ele capturado, fatalmente atraído e a ele permanecerá preso indefinidamente (isto é, enquanto o buraco negro existir). Até mesmo os fótons, esses grãos elementares da luz, são dessa forma capturados. Essa é uma configuração que a teoria da relatividade geral admite e que consiste no estágio final de uma estrela, através de seu processo natural de evolução. A Figura 14.1 pretende representar tal estágio.

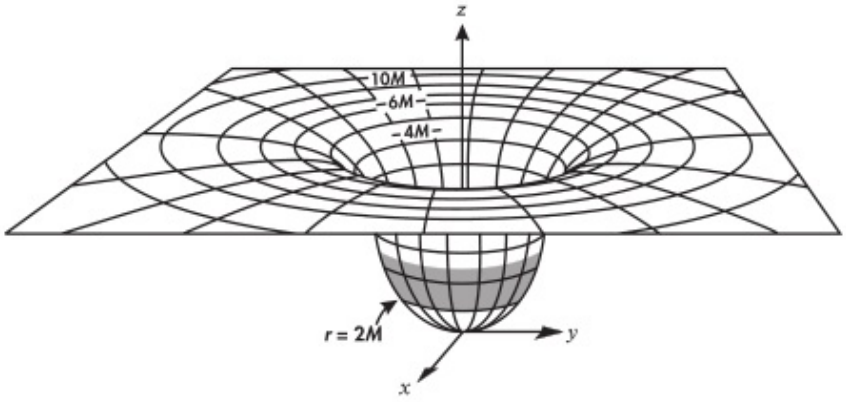


Figura 14.1 **Esquema da estrutura de um buraco negro.**

Prosseguindo na análise, e para exemplificar o que tenho em mente, vou usar um sistema ideal, uma experiência hipotética, como costumamos fazer em uma apresentação entre cientistas: isolar a propriedade que quero examinar e abstrair outras, cujas características não interessam à nossa descrição e que tornam um sistema real tão complexo que faz sua descrição completa extremamente delicada e difícil. Assim fazendo, isolando propriedades que nos interessam, e concentrandonos somente nestas — deixando de lado aquelas outras que, por razões internas e graças ao nosso conhecimento delas, sabemos como controlar —, estamos efetuando um retalhamento no mundo que, no nível da nossa descrição, não afeta nossas conclusões.

Assim, consideremos um corpo ideal que carrega uma certa quantidade de informação, cuja origem estaria longinquamente no que os cientistas chamam de *infinito passado* e que, por simplicidade, representaremos por $I^{(-)}$. Suponhamos que ele atravessasse o universo inteiro, até terminar sua caminhada no longínquo *infinito futuro*, que, por analogia, denotaremos por $I^{(+)}$. Esse corpo executa o movimento que constitui a base da descrição determinista do mundo: o cenário convencional da física clássica. A especificação do passado permite conhecer o futuro. Sabemos, por diversos motivos, que esse determinismo pode ser criticado de vários ângulos, e a ciência do século XX produziu mais de um modo extremamente eficiente de realizar essa crítica. Mas não estamos interessados em destruir esta visão, e sim em verificar o que ocorreria nesse cenário simplista se,

por acaso, aquele corpo encontrasse em seu caminho um buraco negro. Como qualquer mensageiro, sob qualquer forma, pode entrar no buraco negro, mas dele não pode sair, perde-se a possibilidade de, a partir do conhecimento do sistema na região passada $I^{(-)}$, prever o comportamento do sistema na região futura $I^{(+)}$. Desse modo, aprendemos uma outra estranha característica dessas configurações: elas funcionam como destruidoras de conhecimento sobre nosso passado.

A teoria da gravitação de Einstein afirma, inexoravelmente, que o final de certas estrelas, ao consumirem gulosamente sua fonte de energia, constitui uma estrutura fechada unidirecionalmente: um buraco negro. Se essa teoria representa, como os físicos hoje acreditam, a boa descrição da força gravitacional, isso significa que no universo pode haver, vagando pelos céus, esses perigosos e fantásticos corpos celestes ávidos de informação, dela se alimentando (isso *não* é uma metáfora; a frase deve ser entendida no seu sentido literal)!

O buraco negro não é negro?

Depois de terem se convencido daquela estranha propriedade da avidez de um buraco negro pelo que lhe passa em volta, culminando com o reconhecimento da impossibilidade de deixar escapar informação sob qualquer forma, os físicos foram levados a reconhecer que estavam enganados! Ou melhor, que a análise que fora feita estava viciada por uma argumentação limitada, pelo uso de um instrumental teórico restrito (isto é, sem levar em conta processos de natureza quântica). Essa notável propriedade, associada àquela perda de informação que mencionamos acima, parece ter como conseqüência mais dramática o fenômeno que é descrito como se o buraco negro estivesse emitindo um número enorme de partículas por ele criadas. Como se ele, em escandalosa contradição com o que os físicos afirmaram anteriormente, estivesse permitindo a passagem de corpos materiais nas duas direções, estivesse emitindo

energia! Mais curioso e inesperado, essas partículas não seriam criadas de um modo qualquer, arbitrariamente, mas sim como se estivessem em equilíbrio térmico, a uma temperatura T que só depende das características do corpo material, da estrela, do buraco negro, enfim, de sua massa. Embora pareça estranha, à primeira vista essa copiosa produção de partículas por um buraco negro, ela possui uma certa razoabilidade, se considerarmos que estamos em presença de processos físicos envolvendo a instável força gravitacional. Afinal, diferentes campos de interação têm essa capacidade quando tratados em sua formulação quântica.

Situação completamente diferente, inusitada mesmo e muito mais estranha, seria se, na ausência de qualquer força física, esse processo de criação ocorresse. Pois é precisamente dessa inesperada situação, possuindo uma forte semelhança com o que examinamos acima, que trataremos no capítulo seguinte. Isto é, conheceremos a seguir um fenômeno de *criação de partículas* que não se limita a uma forma particular de forças associada, por exemplo, a campos gravitacionais, mas ocorre também (embora, devamos reconhecer, com menos naturalidade, e em menor acordo, ainda, com o senso comum) pela simples mudança de descrição do mundo feita por observadores privilegiados. Como é isso possível?

Conseqüências quânticas

Antes de responder à questão, vamos considerar uma análise mais detalhada, para compreendermos um pouco melhor o fenômeno que estamos descrevendo. Examinaremos uma possível explicação, provocada a partir da versão quântica daquele processo descrito acima.

Na lógica da mecânica quântica, aparece uma divisão natural entre o que chamamos *estados puros* e *estados mistos*. A distinção que os físicos fazem desses estados pode ser caracterizada de vários modos. Para nosso propósito, consideraremos aqui uma definição que, espero, seja simples o bastante para

tornar-se acessível a não-especialistas; e também bastante completa para permitir que não mascaremos demais as propriedades da matéria que serão examinadas. O ponto de partida é considerar aquilo que chamamos *o estado dinâmico de um sistema*.

Na mecânica quântica, intervém o famoso princípio de Heisenberg, estabelecendo que nem todas as medidas que podemos efetivamente fazer sobre um sistema produzem necessariamente resultados independentes. Isso significa que, para uma dada medida de uma particular propriedade de um sistema, existe uma categoria de medidas associadas que não são independentes; em geral, não podemos obter, de fato, valores dessas medidas com grau de precisão arbitrários. Isto é, as incertezas associadas a essas medidas encontram-se relacionadas, independentemente do aparato de medida, independentemente de sua precisão absoluta.

A caracterização completa de um sistema, quando ela pode ser feita, é representada através de uma estrutura matemática complexa que os físicos chamaram de *espaço de Hilbert*, e que, quando a ele nos referimos, representaremos pela letra *H*. Neste espaço, os objetos de representação não são pontos, eventos, mas sim certo tipo especial de funções. Como um dicionário que contivesse não as palavras que utilizamos para montar um discurso, mas sim os elementos básicos com que descrevemos as propriedades do mundo quântico. A diferença maior, além daquela evidente por si mesma, aparece na sua completeza. Explico-me. Um dicionário não é, nem dele espera-se isso, um depósito de *todas* as palavras que existem ou que uma dada língua exibe. Ele simplesmente contém uma grande quantidade dessas palavras, mas não exaure todas as possibilidades. Inclusive porque novas palavras podem ser criadas e eventualmente a ele acrescentadas. Nada semelhante com este *H*! Aqui, toda função que podemos usar em nossa descrição está contida nesse espaço *H*. Dizer que um sistema pode ser representado nesse espaço é a garantia de que temos conhecimento completo do sistema. Por outro lado, quando a informação é incompleta para caracterizar integralmente o sistema, não pela impossibilidade

que a natureza nos impõe em cada medida, mas em razão do modo pelo qual interagimos com o sistema, pode ocorrer que somente tenhamos acesso à probabilidade de encontrá-lo em algum de uma série possível de estados não-equivalentes. Os primeiros são chamados de *estados puros*, e os segundos de *estados mistos*.

Os físicos recentemente chamaram a atenção para o fato de que uma CTC é capaz de causar uma mudança de um estado puro para um estado misto, posto que se perderia informação nesse caminho. Ao voltar ao ponto umbilical, tenho a alternativa de continuar no *loop* temporal ou seguir adiante. Para descrever essa situação, exige-se um conhecimento que transcende a observação, inviabilizando a preservação de minha memória. Assim, tudo se passa como se eu perdesse informação ao penetrar em uma região que contenha CTC. É essa perda de informação que estamos tentando descrever, e é graças a ela que os problemas causais com que nos envolvemos, ao depararmos com uma CTC, adquirem outra formulação, menos dramática. Ou melhor, é ela que impede que, ao passar a segunda vez pelo mesmo ponto de espaço-tempo, eu tenha a mesma quantidade de informação que possuía antes, modificando a análise da influência que eu poderia ter sobre meu passado vindo do futuro.

Desse modo, a existência de uma CTC coloca-nos, com respeito ao conhecimento futuro que possamos ter de um dado sistema, a partir do conhecimento de sua evolução passada, em face de uma questão semelhante àquela vivida em presença de um buraco negro. A analogia provém do fato de que ambos os sistemas desenvolvem um estranho apetite para *engolir* informação. Assim, ao passarmos nas vizinhanças de uma região que contém CTC, alguma coisa se perde: a possibilidade de realizar previsões. Isso poderia levar à idéia de inverter o argumento e afirmar:

- Quando um sistema perde informação, quando alguma forma de sorvedouro ocorre no caminho, além das possibilidades convencionais tratadas pela física, duas novas possibilidades vêm se adicionar: um buraco negro e uma

CTC.

Quais as conseqüências desse fenômeno em nossa argumentação sobre caminhos para o passado?

OBSERVAÇÃO

Uma explicação

Ao longo de toda argumentação que usei até aqui, quando necessitei considerar alguma situação particular, algum dado exemplo material, fui sempre levado a examinar uma partícula, uma estrutura elementar. A razão para isso é fácil de entender: estou interessado aqui em examinar questões de princípio, questões envolvendo o comportamento genérico da matéria em relação à presença de caminhos que levam ao passado. Neste livro, não estamos em nenhum momento interessados em considerar, por exemplo, um artefato que possa conduzir alguém, eu ou o leitor, um corpo macroscópico qualquer, a experimentar aquela viagem. Assim sendo, essas questões a que nos dedicamos investigar não podem ser dependentes das particularidades, das especificidades de algum corpo material. Conseqüentemente, fomos levados ao exame de corpos *puros*, isto é, elementares. Isso, por outro lado, tem uma contrapartida desagradável: não nos permite aplicar diretamente todas as nossas conclusões a qualquer sistema físico, posto que algumas questões examinadas dependem precisamente de sua elementaridade, tal como, por exemplo, questões envolvendo a conservação de entropia para sistemas macroscópicos. Entretanto, como elas não são de fundamento, mas envolvem aplicações dos esquemas elementares a problemas de muitos corpos, nós as deixaremos para uma análise ulterior.

15. INDIVIDUALIDADE E RÉPLICAS

Durante os anos 1970, um fenômeno em particular intrigante foi intensivamente estudado, e, por razões que veremos mais adiante, era capaz de lançar uma preciosa luz sobre o método que devemos utilizar para encontrar uma solução, ainda que parcial, dos antigos e persistentes paradoxos associados à presença de caminhos que levam ao passado. As razões técnicas que levaram os físicos a empreender esse estudo serão deixadas de lado. Nosso propósito aqui consiste unicamente em descrever brevemente o estudo e alguns de seus resultados. Eu acrescentaria que, independentemente de nossa estratégia de usar esta seção para gerar o fundamento capaz de permitir um exame ulterior da questão das curvas CTC, as propriedades que aqui apresentaremos contêm novidades, descrevem situações tão cheias de conseqüências atraentes que, em si, merecem um destaque especial. Mais do que isso, posto que elas produzem uma visão das características do mundo bastante afastada do senso comum, irão servir como tema de reflexão maior para todos nós, para além e independentemente da especificidade limitada como trataremos da questão; penso mesmo que o fenômeno pode provocar uma mudança no discurso que envolve questões relacionadas à caracterização física do que existe. Como seria isso possível, e qual seria, Afinal, esse fenômeno que os cientistas descobriram, capaz de ter essas conseqüências tão profundas? Antecipando o que iremos ver, eu sintetizaria a questão do modo a seguir. Uma das certezas mais sólidas que cada um de nós, em seu interior, pode ter está diretamente relacionada à sua própria unidade corpórea. Exceto em alguns momentos de delírio, tenho a convicção de que sou *um*. Isto é, qualquer observador que consegue ter acesso a mim, que pode se relacionar comigo diretamente ou por meio de algum instrumento, de qualquer forma deve concordar na minha certeza de que não sou *dois*. Se o leitor não abandonou a leitura acima, por considerá-la trivial ou

desinteressante, concordará comigo que essa observação deve ser pensada como *absoluta*, com validade global e tendo completa independência do estado físico em que eu ou ele nos encontramos. Ademais, esse resultado deveria ser universal, independentemente do grau de complexidade do sistema em observação. Isto é, ele deveria ser aplicado não somente a estruturas biológicas complexas, como homens, mas a tudo que existe: desde estrelas, planetas, homens ou partículas elementares, os constituintes fundamentais da matéria. Mas o que ele diria se a física, através da aplicação direta de suas teorias comprovadas, afirmasse que isso não é uma verdade absoluta, que afirmações envolvendo o número de individualidades corpóreas contidas em uma dada região do mundo, o número que mede objetivamente a quantidade de corpos físicos, reais, existentes naquela região, dependeria de propriedades associadas não somente aos corpos mas também ao estado, *lato sensu*, dos observadores?{78} Certamente ele teria dificuldades de conviver com idéia aparentemente tão fantasiosa. Mas, infelizmente, é precisamente disso que se trata.

A CRIAÇÃO DAS RÉPLICAS

Advertência

Ao longo deste livro, examinamos situações que poderiam parecer a um leigo estranhas à ciência, como se estivessem fora de seu domínio. Entretanto, como comentei por diversas vezes, estamos aqui tratando de questões convencionais, isto é, que estão dentro do território da ciência. Mais do que isso, estamos usando teorias igualmente convencionais, isto é, sistemas de descrição dos fenômenos observados, bem como de suas possíveis conseqüências, que constituem aplicações diretas dos paradigmas da ciência de hoje. Se estou voltando a enfatizar isso, correndo o risco de produzir entediamento, é porque tenho o propósito de antecipar-me às possíveis dificuldades de conciliar resultados recentes da ciência com alguns dos preconceitos do senso comum

fortemente dependentes de uma particular visão do mundo que estamos habituados a aceitar. Entretanto, o que descreveremos a seguir não foge nem um milímetro do esquema convencional da física. Estaremos examinando uma questão que nos coloca bem no interior da ciência, e não em alguma nebulosa situação limítrofe.

Individualidade

Quando aprende a dizer *eu*, o homem instaura no mundo o primado da individualidade.{79} Destacamos o mundo porque dele nos separamos.

Mais do que isso, permitimos, por um momento de magnanimidade metafísica, que outros *eus* realizem o mesmo ato. Vamos até mesmo além, outorgando ao mundo, a cada pedaço, uma unidade. O Sol, a Terra, essa borboleta constituem *unidades*. Abstraímos nesse momento, de seu caráter complexo, o fato de que são compostas de múltiplas unidades. Essa separação, tal formulação, é uma escolha, uma questão de ênfase momentânea e local. Sabemos, por outro lado, que há uma certa *persistência* nessa unidade. Mesmo que as durações de tais persistências sejam distintas, não estamos focalizando aqui essas diferenças.{80} Podemos mesmo afirmar que a condição da individualidade de um corpo material consubstancia, de um modo simples, a caracterização de sua própria existência.

Estamos assim acostumados a reconhecer a realidade de um conjunto de corpos no mundo. Dizemos, pela observação, que um determinado número de corpos ou, genericamente, partículas, existe em uma região do espaço-tempo. Baseados na experiência de cada um de nós, pareceria uma conseqüência formalmente correta esperarmos que este número se apresentasse como um dado absoluto e seguro de nossa descrição da natureza. Dificilmente alguém poderia imaginar (a menos, talvez, em algum momento de devaneio) que o número pudesse depender de circunstâncias fortuitas, levando-nos então a aceitar sua relatividade. Pois, uma vez mais, a ciência aponta o erro a que podemos ser

induzidos pelo senso comum. O resultado que ela acena, e dentro de sua arrogante certeza formal, demonstra e obriga-nos a afirmar que aquele número, isto é, o número de corpos físicos existentes em uma dada região do espaço-tempo depende do observador. Depende, por exemplo, de seu estado de movimento.[4] Como isso é possível?

Observadores inerciais e outros

Vimos, em outra seção, como uma classe de observadores sobre os quais nenhuma força é exercida pode constituir um ponto de partida para a construção de um sistema de coordenadas, uma rede contínua de referência no mundo. Nada impede, entretanto, que escolhamos outras representações, outros modos de realizar essa caracterização. Apresentaremos aqui duas dessas classes alternativas de observadores que os físicos têm utilizado com mais freqüência e comentaremos algumas de suas propriedades.

Observadores de Milne

Em 1934, o astrônomo inglês E.A. Milne apresentou uma construção ideal, e verdadeiramente intrigante, de uma classe particular de observadores capaz de produzir uma descrição do espaço-tempo estático, e que denotamos anteriormente por *universo de Minkowski*, como se este estivesse possuído de uma verdadeira dinâmica. Com efeito, isso pode ser obtido através da operação imaginária que descreveremos a seguir.

A partir de um ponto arbitrário *0* do espaço-tempo, um número infinito de partículas idealizadas, de corpos imateriais, é disparado em todas as direções. Tais partículas constituem verdadeiros fantasmas: não têm massa, volume, nem qualquer forma de interação; trata-se de uma forma ideal e consiste em um conjunto de instrumentos de observação. São emissários, enviados ao mundo para servir de testemunhas dos eventos. Dito de outro modo, e conforme o que

descrevemos em sessão anterior, um sistema de coordenadas é, desta forma, construído para permitir a formação de um discurso científico sobre o mundo. A física clássica já utilizava construções equivalentes, e o uso desse artifício na produção do sistema não envolve nenhuma novidade, nem causa nenhuma estranheza no cenário convencional da ciência.

Vamos encontrar a particularidade notável dessa engenhosa construção precisamente naquele ponto em que os observadores de Milne entram em cena. Como eles começam sua narração do mundo a partir de um dado ponto (arbitrário), o que ocorre *antes* deste momento não pode ser por eles descrito. Isso significa, e tecnicamente falando é precisamente o que ocorre, que o espaço-tempo — este universo de Minkowski — aparece, para esses observadores especiais de Milne, como tendo um começo, identificado por aquela singularidade inicial (isto é, quando os observadores de Milne entram em cena). Ele assemelha-se, assim, a um daqueles universos singulares de Friedmann que já comentamos. Com uma expressiva diferença: aqui, no caso de Milne, a origem singular do mundo, este falso *big bang*, é artifi cial, não constitui verdadeiramente um momento de criação do mundo, mas tão-somente identifica um momento particular do começo da descrição do mundo pelos observadores. Desse modo, estabelece-se uma curiosa mas coerente narração dos acontecimentos que são então formulados e catalogados de modo correspondente. Veja as Figuras 15.1, 15.2 e 15.3, onde procuramos visualizar as propriedades deste sistema.

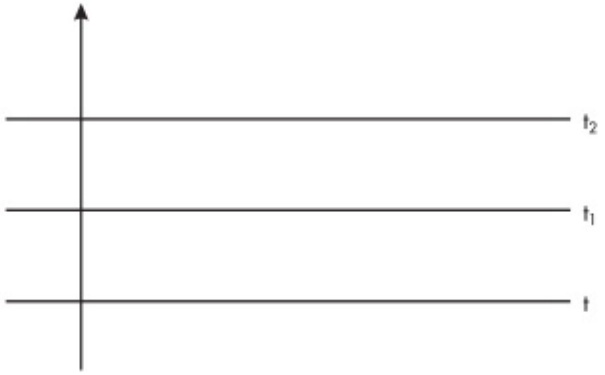


Figura 15.1 **Representação esquemática do universo de Minkowski**

usando-se um sistema completo de coordenadas através da escolha de observadores inerciais espalhados idealmente em todo lugar.

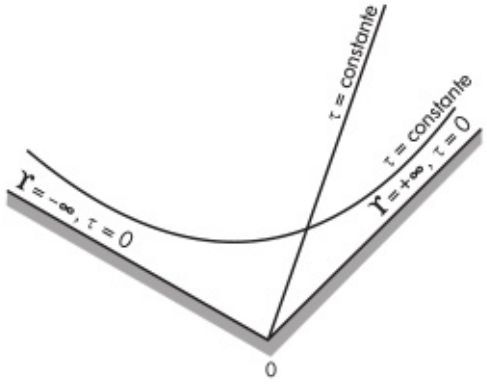


Figura 15.2 **Representação esquemática do universo de Minkowski usando-se um sistema de coordenadas gerado pelos observadores de Milne. Note-se que somente uma parte do universo inteiro, que denominamos região *II*, pode ser descrita por eles. A origem *0* caracteriza uma singularidade fictícia: o momento em que esses observadores são artificialmente construídos e projetados no mundo. As coordenadas espacial (Υ) e temporal (τ) estão representadas.**

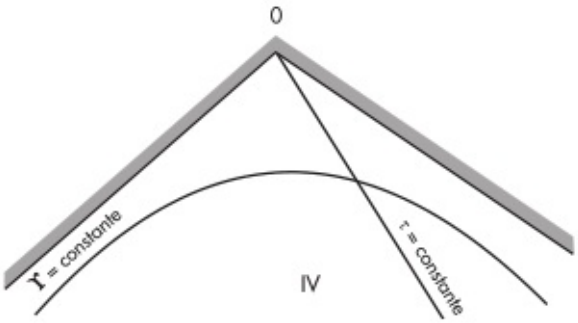


Figura 15.3 **Representação esquemática do universo de Minkowski usando-se um sistema de coordenadas gerado pelos observadores de Milne. Note-se que somente uma parte do universo inteiro, que denominamos região *IV*, pode ser descrita por eles. A origem *0* caracteriza uma singularidade fictícia: o momento em que esses observadores são artificialmente construídos e projetados no mundo. As coordenadas espacial (Υ) e temporal (τ) estão representadas.**

Devemos notar em particular o fato de que esse sistema de coordenadas proposto por Milne não permite uma representação completa de todo o espaço-tempo quadridimensional, mas somente uma parte. É precisamente essa

característica que contém toda a novidade da descrição. Na restrição mencionada sairão todas as dificuldades e propriedades não-usais que ocorrem no sistema de representação de Milne.

Tal sistema permaneceu durante longo período esquecido pelos cosmólogos. Até que, e por razões casuais, nos anos 1980, alguns físicos tiveram a curiosidade de se perguntar sobre o modo pelo qual algumas características usuais de um sistema físico poderiam aparecer para os observadores de Milne. Em particular, para nosso interesse aqui, uma das questões foi precisamente a seguinte:

• Suponha que, ao medir o número N de partículas existentes numa região do universo, um observador inercial convencional, que utiliza a descrição completa deste universo, obtenha o resultado $N = 0$. Pergunta-se: qual seria o valor de N se medido por um observador de Milne?

Essa questão parecia, à época, um simples exercício acadêmico, uma pergunta retórica cuja resposta trivial todos deveríamos saber. Com efeito, todos esperaríamos encontrar o mesmo valor, isto é, zero. Entretanto, graças a um cálculo teórico que deixaremos de apresentar aqui,{81} o resultado obtido foi distinto. Mais grave ainda: tudo se passa, para esta classe de observadores de Milne, como se, para além daquela região descrita por eles, além de seu horizonte, o sistema inteiro estivesse mergulhado em um mar de partículas em equilíbrio termodinâmico. Isto é, aquilo que chamamos vazio de um campo qualquer (lembremos que as partículas são os quanta do campo, isto é, a sua concentração localizada de energia), visto por um observador inercial, deixa de ser o vazio para o observador de Milne! Tudo se passa como se um grande número de exemplares iguais de partículas daquele campo, indistinguíveis exceto por sua energia, aparecessem... do vazio! Verdadeiras *réplicas*, incontroláveis, dos quanta daquele campo.{82}

A pergunta imediata que nos ocorre é: de onde vieram essas partículas? E por que, ao construirmos uma classe de observadores que separa o mundo em

duas regiões, uma observável e a outra não, essa situação inesperada acontece? Não é nosso propósito nos estendermo mais do que essa visão superficial que apresentamos aqui, nem responder a questões por demais técnicas.{83} Quero somente levar o leitor a conhecer comigo essa situação — e que ele retenha essa nova e estranha propriedade que os físicos descobriram:

- O número de partículas existentes numa região do mundo não é uma quantidade absoluta, mas depende do modo pelo qual a descrição do mundo se dá.

Qualquer pessoa, conhecendo os princípios e os fundamentos da física clássica, há de concordar comigo que isso é, para dizer o mínimo, totalmente inesperado e nos afasta de um importante aspecto da visão convencional do mundo que o homem construiu ao longo dos séculos. Ademais, caso ela não tenha chegado a essas conclusões pelo caminho impessoal do cálculo matemático, certamente duvidará de sua veracidade, pelo menos num primeiro momento; para em seguida, ao assimilar a nova verdade, poder dedicar-se a transformar seu espanto em alguma outra forma de organização mental do mundo. Entretanto, parece-me claro que todos nós sentimos uma certa estranheza ao sermos informados desse resultado.

Observadores de Rindler

A teoria da relatividade especial privilegia uma classe de observadores, os inerciais, que, como vimos, estão em repouso ou possuem velocidade constante. A generalização mais simples, para além desse sistema privilegiado, consiste naquela classe de observadores cuja velocidade varia de forma homogênea, isto é, observadores que possuem aceleração constante. Foi justamente para estes que Rindler chamou a atenção pelo interesse de sua investigação. A idéia então poderia ser sintetizada através de uma indagação. Seria possível descrever a totalidade do espaço-tempo usando um sistema de representação do mundo tendo por base esses observadores de Rindler? A resposta é simples, negativa e

pode ser visualizada pelas figuras a seguir. Note-se que há duas possibilidades de gerar uma descrição da parte do espaço-tempo acessível a estes observadores.

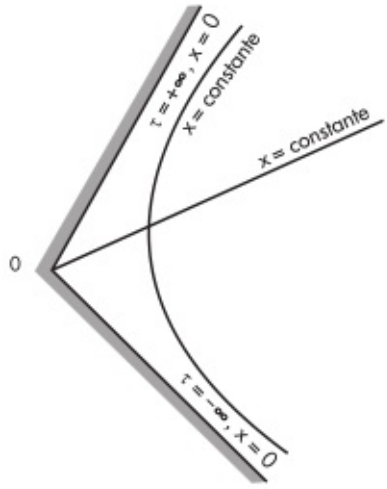


Fig. 15.4 **Representação esquemática do universo de Minkowski usando-se um sistema de coordenadas gerado pelos observadores de Rindler. Note-se que somente uma parte do universo inteiro, que denominamos região** *I*, **pode ser descrita por eles. A origem** *0* **caracteriza uma singularidade fictícia. As curvas** *x = constante* **representam, para diferentes valores desta constante, caminhos possíveis dos observadores acelerados. As coordenadas espacial (*x*) e temporal (τ) estão representadas.**

O exame da questão análoga à que investigamos acima, no caso de Milne, dará aqui o mesmo resultado (Figuras 15.4, 15.5 e 15.6). Isto é, observadores de Rindler *não* geram uma descrição completa do mundo, capaz de produzir uma representação de todo o espaçotempo, mas somente de uma parte. A região externa, nãoobservável para os observadores de Rindler, tem o mesmo comportamento que no caso anterior: essa região inacessível pode ser identificada a uma fábrica de partículas{84} em equilíbrio termodinâmico. Mais tarde, os físicos perceberam que o fenômeno que estamos encontrando é bastante mais geral, e parece se apoiar em dois pilares.

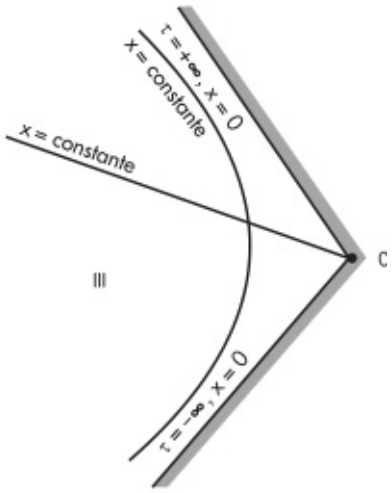


Figura. 15.5 **Representação esquemática do universo de Minkowski usando-se um sistema de coordenadas gerado pelos observadores de Rindler. Note-se que somente uma parte do universo inteiro, que denominamos região *III*, pode ser descrita por eles. A origem *0* caracteriza uma singularidade fictícia. As curvas *x = constante* representam, para diferentes valores desta constante, caminhos possíveis dos observadores acelerados. As coordenadas espacial (*x*) e temporal (*t*) estão representadas.**

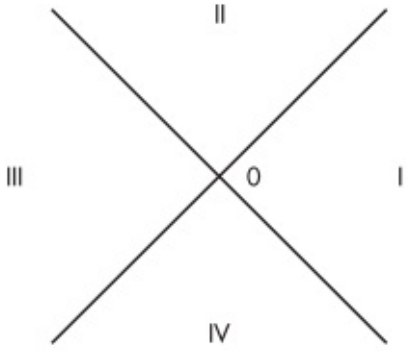


Figura 15.6 **Adição das quatro possíveis partes do mundo dos observadores de Milne e Rindler. O resultado formal é equivalente à descrição completa obtida por observadores inerciais, representada ao lado na figura.**

Por um lado, sabemos que aquilo que estamos chamando de *número de partículas* não é uma quantidade invariante; como tal, dentro da concepção moderna da ciência, não deveria fazer parte de uma descrição física do mundo (a

individualidade depende do modo pelo qual a estrutura global do mundo está sendo representada). Por outro lado, a dependência com relação à estrutura topológica do espaço-tempo, suas propriedades globais, para além da limitada configuração localizada descrita pela geometria, confirma a tendência geral de voltar a pensar o universo como uma totalidade, como uma grande e solidária estrutura.

Deixaremos, entretanto, essas considerações de lado, pois nos afastariam de nosso limitado propósito neste livro. Antes de encerrarmos essas considerações preliminares, uma última observação se faz necessária. Toda a análise que fizemos aqui, toda a discussão sobre a dependência do número de partículas com relação ao observador, baseia-se em uma versão quântica do mundo, isto é, no fato de que podemos definir partículas como grãos elementares, os quanta de um campo. A extensão desse resultado para uma descrição clássica requer uma longa análise que ainda está por ser feita.

INDIVIDUALIDADE OU CONTEXTUALIZAÇÃO?

Antes de aplicarmos essas estranhas propriedades apresentadas neste capítulo ao caso que nos interessa, envolvendo caminhos para o passado, gostaria de fazer um breve comentário que contém a essência da argumentação que usaremos para compreender e resolver parte dos paradoxos temporais.

Do que vimos acima, além do fato de quebrar a caracterização das individualidades, os físicos foram além, demonstrando uma propriedade adicional típica desses exemplos de sistemas de referências que examinamos, trata-se do fato de que as partículas que aparecem, ao limitarmos uma região do espaço-tempo à nossa descrição, como nos casos examinados de Milne e Rindler, não são *criadas* de forma arbitrária, em qualquer estado, mas sim em uma situação bastante particular, e que pudemos identificar como sendo análoga à de um equilíbrio térmico. Isto é, como se a região a que temos acesso fosse uma caixa fechada imersa em um meio material possuindo uma temperatura

característica de equilíbrio, apagando, dessa forma, qualquer possibilidade de acesso à informação adicional sobre o meio externo, além daquela determinada pela sua temperatura. Essa propriedade de mascarar o meio externo será fundamental para entendermos a solução dos paradoxos que iremos apresentar.

OBSERVAÇÕES

Milne e Rindler

A escolha dos dois sistemas de representação do mundo que apresentamos neste capítulo foi feita arbitrariamente. Outros podem ser empregados. Entretanto, e segundo nosso interesse aqui, importa reconhecer que estes sistemas possuem uma propriedade comum: eles não são globais, isto é, não são capazes de gerar uma representação fiel, completa, da totalidade do universo.{85} Assim fazendo, construindo artificialmente tal separação no mundo, cria-se uma situação que pode ser descrita através do mecanismo de geração de réplicas que descrevemos acima. Esta é uma condição que simplificará a tarefa de alcançar a compatibilização de uma ordem causal em um mundo contendo CTC.

Corpos e números

A dependência, com relação ao observador, do número de partículas existente numa região do espaço-tempo, tal como descrita nas páginas anteriores é, creio eu, uma das idéias mais estranhas com que deparamos. A razão principal da dificuldade de aceitá-la está ligada ao fato de que ela atua em um cenário convencional e interfere em conceitos comuns, com os quais lidamos cotidianamente. A estranheza que nos envolve deve-se precisamente a essa condição simples, ao fato de que é fácil apreender o que ela nos diz. Entretanto, já deparamos com situações semelhantes no passado. Por exemplo, ficamos chocados quando descobrimos, graças à teoria da relatividade especial, que

quantidades consideradas previamente como absolutas, como a massa de um corpo, poderiam depender do observador. Passado quase um século dessa descoberta, ainda hoje, ao falarmos dela, desenvolvemos o mesmo sentimento de estranheza. Isso porque o conceito de massa nos é muito familiar, usual, corriqueiro. Ademais, sua variação não é sentida por nós, porque não realizamos aquele movimento suficientemente veloz para que esses resultados da TRE entrem em ação, isto é, sejam efetivamente por nós experimentados.{86}

Pois aqui, ao tratarmos a caracterização do número de partículas, isto é, de corpos no mundo, estamos em face de uma situação análoga: trata-se do mesmo tipo de procedimento; e é por isso que causa um mal-estar, como se estivéssemos fantasiando a realidade. Com efeito, como interpretar, por exemplo, a situação que ocorreria se, perguntado pelo meu amigo Sérgio Nabuco sobre quantos corpos materiais eu encontrara pela manhã, ao voltar de minha caminhada nas Paineiras, eu respondesse seriamente e sem cometer nenhuma imprecisão: “Bom, eu que estava em repouso com os inerciais, havia visto somente uma única partícula; mas Pedro Américo, que inadvertidamente havia se acelerado, contou 250 réplicas!” Sérgio possivelmente passaria, a partir desse dia, a evitar-me. Mas a sentença exprime perfeitamente bem o que pode ocorrer, em princípio, no que vimos acima.{87}

O que acabamos de relatar pode ser descrito de um modo menos contundente, mais técnico e que não seria inútil apresentar aqui, alternativamente, como segue. Quando uma separação do mundo é feita, isto é, quando um observador encontra-se de posse de um sistema da representação que, por alguma razão, não é completo, não se pode estender sua utilização para além de um certo domínio, e ele se prepara para produzir uma caracterização do mundo como se este estivesse dividido em duas regiões, que descreverá como interna (acessível) e externa (inacessível). Como essa representação não pode prescindir de apresentar o mundo como unidade, ele tentará interpretar a fronteira de separação dessas regiões como associada a algum processo físico capaz de permitir-lhe a caracterização completa perdida, ou melhor: o exterior

será representado por algum tipo de processo associado à fronteira.

O estudo dos sistemas de Milne e Rindler que descrevemos neste capítulo, dentro daquilo que chamamos teoria dos campos, permite reconhecer diretamente o substitutivo em questão. Tudo se passa, para o observador interno, como se a fronteira estivesse mergulhada em um meio caracterizado por um sistema em equilíbrio termodinâmico a uma determinada temperatura. Como se o exterior funcionasse como aquilo que os físicos chamam, tecnicamente, de um *banho térmico*: um sistema em equilíbrio a uma determinada temperatura e que induzirá o corpo que está em contato com ele a adquirir a mesma temperatura. Podemos entender a origem daquelas partículas extras desse modo: elas são o preço pago pela perda de informação provocada pela separação contida naquela particular e incompleta descrição do mundo. Este é o resultado que os físicos demonstraram. Essas representações parciais do mundo constituem, assim, modos não-equivalentes de caracterizar os mesmos processos no mundo. A distinção de suas correspondentes descrições são dependentes de suas especificidades.

Desse modo, conseguimos entender as variações do número de partículas que tratamos neste capítulo. Elas são conseqüência da separação de duas regiões, que podem ser representadas como sistemas em equilíbrio. As partículas criadas num sistema são a contrapartida induzida pela restrição imposta pelo sistema de representação. Dessa forma, aparece uma versão inesperada da estabilidade dos corpos: eles são dependentes da globalização de representação que escolhemos.

Esse resultado, como tínhamos anunciado na introdução, é particularmente difícil de ser assimilado em um contexto convencional de descrição do mundo. Mas, uma vez assimilado, resta saber como ele poderá nos auxiliar a produzir uma solução formal e prática dos paradoxos temporais. Isso nós veremos a seguir.

16. UMA SOLUÇÃO DOS PARADOXOS

Estamos agora preparados para examinar um cenário totalmente novo e distinto dos modelos de solução dos paradoxos temporais{88} comentados previamente e que, ao longo da história, foram considerados até os dias atuais. Para isso, teremos que organizar uma estratégia bastante especial envolvendo conceitos a um só tempo delicados e complexos. Vamos apresentá-los do modo menos técnico possível, embora eu seja obrigado a reconhecer que, em alguns momentos, teremos que penetrar em um território menos acessível ao não-especialista. Este é o preço a pagar para obtermos a nova visão.

Para limitar as imensas dificuldades que tradicionalmente cercam essa questão, vamos dividir o problema em duas partes, limitando-nos aqui a examinar somente uma delas, deixando de lado por enquanto sua compatibilização com a restante. Nosso método propõe-se a realizar esta análise em duas etapas, a saber:

• Viagem ao passado vista por um observador que *não* percorre uma CTC.

• Viagem ao passado vista pelo próprio viajante de uma CTC.

Somente analisaremos aqui o primeiro item. A razão para isso é técnica e prende-se ao modo de solução que estamos propondo. Espero, em futuro breve, realizar sua extensão e, assim, tratar em um só esquema unificado ambos os itens acima.

Para podermos interpretar nossos resultados à luz do que estamos aprendendo, nós nos concentraremos especificamente na geometria de Gödel. Devemos notar, entretanto, que a solução aqui apresentada é genérica, isto é, não se restringe a esta geometria, mas pode ser aplicada a qualquer estrutura contendo CTC, com pequenas modificações típicas do caso em questão. Ao empreendermos essa estratégia, nos apoiaremos em dois conceitos:

• Sistema de descrição gaussiana do mundo.

• Réplicas produzidas por defeitos na estrutura dessa descrição.

Vimos anteriormente como uma estrutura, possuindo vorticidade, gera um confinamento para a classe dos corpos livres de qualquer força, exceto a gravitacional. Tratamos isso no cenário da geometria de Gödel (ver capítulo 6). Vimos também que, como conseqüência desse aprisionamento, ao tentarmos construir um sistema de descrição das características do espaço-tempo na qual um tempo global é produzido, esbarra-se naquela impossibilidade, o que torna a construção do sistema restrita à região interna de confinamento. Sabemos como gerar esse sistema limitado de descrição escolhendo uma classe de observadores inerciais, dispondo de um mesmo tempo unificado (comum para todos eles).[{89}] Essa propriedade, que nos parece não somente natural, mas quase indispensável numa descrição da geometria do mundo, será então aquela escolhida para tratarmos o universo de Gödel.[{90}]

Se aceitamos essas considerações acima, se estamos organizando a descrição da geometria de Gödel dentro do sistema de Gauss restrito, então o cenário que se segue constituirá uma simples e natural conseqüência dessas hipóteses. Com efeito, tratar essa geometria usando observadores inerciais é restringi-los a uma região limitada, caracterizada pelo seu *raio crítico*. Isso implica a criação de uma fronteira (que não deve ser identificada com uma barreira!) dividindo sua representação do mundo em duas regiões:

• Região Causal Ω.

• Região Não-Causal *C*-Ω.

A análise que fizemos, tanto sobre os observadores acelerados de Rindler quanto os de Milne, responsáveis por uma descrição singular do mundo, poderia levar-nos a esperar que uma situação semelhante àquelas ocorreria aqui. Isto é, seria razoável esperar que os observadores gaussianos da geometria de Gödel estariam detectando um mar de réplicas de partículas reais, conseqüências de sua descrição limitada do mundo. Embora as circunstâncias sejam bastante distintas, [{91}] e por razões que não são estritamente as mesmas, essa semelhança de

comportamento é com efeito verdadeira. No final deste capítulo faremos um comentário explicando com mais detalhes as causas dessa não-conservação do número de partículas vista pelos observadores gaussianos, limitando-nos aqui a procurar compreender, ainda que superficialmente, sua origem.

RÉPLICAS NO MODELO DE GÖDEL

Ao introduzirmos, mesmo que limitadamente, um tempo comum para uma classe de observadores (trata-se do que chamamos antes de um sistema de representação gaussiano), transformamos a geometria estática de Gödel, como vista pela matéria que produz sua curvatura, em uma configuração possuindo uma dependência temporal. A variação com o tempo que esses observadores introduzem no mundo gödeliano tem uma conseqüência dramática: a criação de réplicas. Isso significa que os observadores encontram-se imersos em um mar de partículas que não são vistas pelos observadores de Gödel, isto é, por aqueles que se encontram em repouso, comovendo-se com a matéria que é fonte da curvatura. Embora não se tenha ainda demonstrando que essas réplicas induzam uma configuração com característica térmica, como nos casos anteriormente tratados, iremos considerá-las como tais. Vamos chamar essa situação de *a conjectura térmica*. Nos casos especiais em que essa conjectura não se aplica, o procedimento segue linhas análogas às que estamos apresentando, com algumas complicações técnicas que não me parece necessário apresentar.

Consideremos, agora, uma partícula qualquer, um quantum de um dado campo da física. Para simplificar nossa referência a ela, vamos considerar que a partícula tenha um nome. Vamos chamá-la de Ψ. Suponhamos que, no estado inicial de nossa observação, possamos interagir diretamente com ela. Enquanto Ψ permanecer no interior do raio crítico, ou seja, na região Ω, a estrutura causal da partícula coincide com a do observador. Entretanto, como Ψ pode ser acelerada, ela pode caminhar para fora dessa região. Estando na região externa, a partícula pode percorrer uma curva do tipo-tempo fechada (CTC),

experimentando então a volta ao seu passado. Mas o que acontece se uma partícula sai da região causal, passeia pela CTC típica de Gödel e volta à nossa vizinhança, nós, que permanecemos no interior causal? Para que possamos ser informados dessa violação, deveremos interagir de novo com Ψ quando a partícula reingressa nessa região. Entretanto, como o observador vê efetivamente um mar de partículas idênticas a Ψ, criadas graças ao mecanismo que descrevemos acima, ela será misturada às outras, termalizada, e conseqüentemente torna-se indistinguível: o observador não pode distinguir entre as diferentes réplicas, inviabilizando a possibilidade de se gerar, para ele, a experiência de *retorno*. Isso significa que a informação que a partícula lhe traria sobre sua experiência pessoal de viagem no tempo passado não lhe pode ser transmitida. Esta informação, como no exemplo quântico citado anteriormente, se perde.{92}

Dito de outro modo: a perda de informação é o fato fundamental para compreendermos como se podem ultrapassar as dificuldades formais associadas à presença de corpos caminhando para seu passado, tal como vistas por observadores convencionais, isto é, que só viajam para o futuro.

Réplicas e informação

As seções anteriores nos prepararam para examinar um cenário capaz de fazer-nos penetrar em uma análise da questão temporal, em presença de CTC, totalmente distinta da que tradicionalmente se tem considerado. Isso se deve ao fato de que o cenário vislumbrado acima pode ser generalizado, em circunstâncias distintas daquelas produzidas pela máquina-*g* de volta ao passado. Para isso, deveríamos somente produzir umas pequenas alterações no esquema de descrição que tratamos, gerando, em outras circunstâncias não idênticas, configurações semelhantes de réplicas. Não entraremos nesses detalhes envolvendo as outras configurações. Direi somente que, quando uma dada configuração material{93} produz, graças a alguma forma de barreira imposta por

um confinamento, uma classe especial de observadores, estes não podem extrair informações completas do resto do universo. Tal situação provoca as condições ideais para que um mar de réplicas possa aparecer, induzindo a existência de um banho térmico. Segue-se daí o mecanismo de indistinguibilidade citado acima e, conseqüentemente, a impossibilidade de acompanhar eventuais viagens ao passado por parte de corpos que estão naquele *mar*.

Essa restrição a tal categoria de observadores é, no entanto, fortuita. Serviu-me aqui somente para encaminhar nossa análise numa direção que é simples e fácil de ser compreendida. Em verdade, o que deveríamos reter — aquilo que é essencial na argumentação acima, constitui sua novidade e permite sua generalização — está ligado ao *processo* e ao *armazenamento* de informação. É o fato de que informação é perdida ao percorrer-se uma CTC que impossibilita a intervenção dramática dos famosos paradoxos. Espero que o leitor tenha me acompanhado nesta análise, pois se o fez, se compreendeu como podemos nos livrar daquelas contradições formais, nada mais nos impede de poder afirmar, do interior de nossa ciência, a seguinte sentença:

- Os mecanismos de formação de trajetórias que conduzem ao passado estão livres das dificuldades formais, dos paradoxos tradicionais a elas associadas e não podem ser empecilho, na presença de tais caminhos, à manutenção de uma visão racional do mundo isenta de contradições.

A argumentação que apresentamos, capaz de ser generalizada para outras configurações envolvendo CTC, nos preparou para apontar a direção que devemos percorrer para empreender o fantástico vôo capaz de conciliar a experiência de *volta ao passado* com a eliminação, ou melhor, a redução da força dos paradoxos causais. Não direi que estes foram totalmente resolvidos, mas creio que podemos afirmar, baseados nas idéias acima, que sua força, na condição de geradora de contradição interna do discurso sobre um mundo que permite a volta ao passado, diminuiu consideravelmente. Deixarei como exercício mental ao leitor interessado a agradável e fascinante tarefa de produzir

a ruptura das tradicionais dificuldades causais em outras circunstâncias, usando a analogia com as situações que vimos.

A CONJETURA CAUSAL

Vimos neste livro dois tipos de estruturas formais, produzidas no interior da física, e que constituem configurações capazes de induzir corpos materiais a caminhar para seu passado. Essas máquinas do tempo têm em comum um aspecto principal: elas têm sua função, sua operacionalidade, dependente da interação gravitacional. Não examinamos aqui se essa característica é intrínseca, verdadeira propriedade física, ou se ela depende da teoria particular com que a interação gravitacional foi descrita, na relatividade geral, em termos de modificações da estrutura métrica do espaço e do tempo.

A generalização dessa argumentação pode ser feita de um modo direto a partir do que estabelecemos anteriormente. Chegamos assim a poder formular uma conjetura de termalização causal capaz de sintetizar nossa análise:[{94}]

- Um *loop* temporal pode ser associado a um sistema em equilíbrio térmico ou banho térmico.

Isso implicaria que, ao penetrarmos em um *loop* temporal, uma série de réplicas são geradas no interior do *loop*. Ato seguinte, o cenário de perda de informação descrito previamente entra em ação. Os paradoxos causais perdem por conseguinte, sua força. A perda da unicidade temporal do mundo não produz seqüelas formais importantes.[{95}]

OBSERVAÇÕES

Criação de partículas

O fenômeno de criação a que estamos nos referindo neste capítulo pode ser facilmente compreendido se considerarmos o modo pelo qual a física quântica

descreve a estrutura granular do mundo, a quantização dos campos existentes. Em outro lugar, comentamos o procedimento unificador que pretende descrever todas as partículas existentes como nada mais que condensação de energia de diferentes campos, os quanta dos campos. Mais do que isso, produziu-se uma formalização dessa idéia, graças à qual existiria um espaço abstrato (o espaço de Hilbert de funções) capaz de conter uma representação unificada desses quanta. Assim, uma regra foi estabelecida do seguinte modo:

• O estado do campo contendo nenhuma partícula que chamamos vácuo ou vazio é denotado por $|0\rangle$.

• O estado do campo contendo uma partícula, isto é, um quantum, é denotado por $|1\rangle = a^{+}|0\rangle$.

• O estado do campo contendo dois quanta é denotado por $|2\rangle = a^{+}a^{+}|0\rangle$.

• O estado do campo contendo três quanta é denotado por $|3\rangle = a^{+}a^{+}|0\rangle$, e assim sucessivamente.

Dizemos que todos os estados de partículas do campo são obtidos através da operação chamada *criação de partículas* e que representamos por *a*, atuando sobre um estado fundamental: o *vazio* do campo. Os físicos não distinguem as causas daquela criação: nem estão, nesta formulação, interessados na distinção, pois isso pode ser realizado de um grande número de modos alternativos. Uma partícula que se desintegra em outra; o choque de duas, gerando uma terceira etc. Aqui estamos somente exibindo uma certa linguagem comum de descrição, capaz de gerar uma fiel representação do que está ocorrendo. Adotada essa prescrição, ato seguinte podemos perguntar:

• Essa operação de *geração formal* dos estados materiais quantizados, por meio de unidades elementares (os quanta), é absoluta, independente do modo pelo qual a descrição espaço-temporal do mundo é realizada?

Se a resposta for negativa, então podemos compreender facilmente toda a questão do aparecimento das réplicas de que tratamos neste capítulo. Pois a resposta formal dos físicos é precisamente esta:

• Os operadores de criação a^+ dependem da descrição espaçotemporal do mundo que um dado observador emprega.

Creio que essa observação esclarece os estranhos resultados que apresentamos. Com efeito, como toda descrição envolvendo a quantidade de partículas existentes numa dada região, ela pode ser obtida como uma operação formal contendo somente os operadores de criação, e como estes operadores são dependentes da representação espaço-temporal que um observador qualquer pode realizar, segue-se então o resultado que anunciamos anteriormente:

• O número de partículas existente numa região do mundo não é uma quantidade absoluta, mas depende do modo pelo qual a descrição do mundo se dá.

CONCLUSÃO

O Universo é um *processo*. Essa afirmação não admite nenhuma dúvida. Os cientistas, ao longo do século XX, afastaram completamente de suas interpretações do mundo a idéia de uma estrutura global cristalizada em uma configuração estática, que estaria além de qualquer exame ulterior, e que, desde a formação da ciência da física, era considerada aprioristicamente. Em seu lugar estabeleceu-se, neste século, uma representação dinâmica do universo, onde este identifica-se a um processo, possuindo uma lei de evolução que admite uma análise simples em termos de modificações da estrutura métrica do espaço-tempo.

Vimos neste livro algumas conseqüências que a ação da matéria sobre a geometria do mundo, através da gravitação, produz. Para esse nosso modo de olhar, entretanto, interessa particularmente examinar a situação inversa, isto é, a influência dessa geometria variável sobre o movimento dos corpos. Quanto a esse aspecto, devemos reter algumas propriedades determinantes das ações especiais que conduzem a movimentos não-convencionais a percorrer caminhos que pensáramos, desde sempre, impossíveis de existir: trajetórias que conduzem ao passado. Do que vimos anteriormente, a lição que deve ser extraída é a seguinte:

• As leis da física não proíbem a existência de curvas do tipo CTC. A interação gravitacional permite situações nas quais um observador pode voltar ao seu passado, sem nenhuma contradição com o resto da ciência.

• Dentre todas as configurações possíveis de realizar tais caminhos, duas constituem exemplos simples e diretos: a ponte de Einstein-Rosen e a estrutura restrita do universo de Gödel.

• Uma formulação coerente, capaz de conciliar CTC e uma descrição teórica do mundo, livre dos paradoxos que a presença de tais curvas provoca, pode ser

obtida aceitando-se que a dependência da descrição do mundo como um processo deve fundamentar-se em uma história global, para além das histórias locais com que a ciência, retalhando efi cazmente o mundo, produziu; ou através de ênfase na formação de réplicas que eliminam do mundo o caráter absoluto da individualidade.

Talvez seja importante lembrar que a idéia de que não é possível utilizar uma formulação baseada em uma história local, quando curvas CTC aparecem, não significa que toda história, isto é, qualquer descrição do mundo como processo — deve ser entendida exclusivamente em uma versão única e global. O universo é solidário, mas de um modo bastante preciso. Essa solidariedade tem uma outra aparência, que podemos exibir diretamente ao examinarmos a questão:

• O que se perde nesse caminho ao passado?

Ao aprendermos que, ao longo de tal caminho para o passado, se perde *informação* (e isso vale para qualquer observador, inclusive para o viajante solitário daquela curva), reconhecemos a possibilidade alternativa de procurar uma solução dos paradoxos causais, que lhes são tradicionalmente atribuídos, fora daquela globalização (pois essa perda de informação ocorre mesmo no caso de se tratar de processos reversíveis). Vimos como isso é possível, ao examinarmos a aparência dos corpos materiais em diferentes circunstâncias, especialmente na formação de réplicas; e, conseqüentemente, que a questão da solidariedade do mundo depende da intensidade de sua *desmemorização*. Sinteticamente, em uma frase, as observações anteriores, reduzindo a força da ordem unidirecional do universo, permitem abrir as portas para a questão:

• As condições iniciais do mundo, que nos permitiriam prever toda sua evolução, estariam escondidas no seu futuro?

O sonho de construir efetivamente uma máquina do tempo parece, pelo que vimos, longe do nosso controle. Não possuímos capacidade tecnológica para gerar uma mudança substancial no movimento dos corpos que se aproxime das condições necessárias para produzir algum engenho capaz de realizar aquela

estranha viagem ao passado. A força da gravidade, em nosso sistema planetário, não é tão intensa, não possui as características indispensáveis para permitir que escapemos da inexorabilidade de caminhar para o futuro que tão solidamente amarrou-nos a uma única direção temporal. Esta é a razão pela qual não podemos gerar uma CTC em nossa vizinhança. A situação pode ser sintetizada, na frase, de aparência contraditória:

• A maravilhosa fantasia de experimentar a leveza dos caminhos para o passado não nos é oferecida por causa da fraqueza de nosso peso.

Entretanto, o que vimos acima nos permite afirmar que curvas CTC podem ser produzidas no universo como uma das possíveis estruturas geradas pela matéria. Tanto as pontes transponíveis de EinsteinRosen quanto a configuração de Gödel são boas estruturas capazes de engendrar a experiência de volta ao passado. Quanto à questão mais determinante:

• Existem tais curvas CTC em nosso universo? Estariam estes caminhos-ao-passado, esses *wormholes* transponíveis, estes miniuniversos de Gödel, lá fora, nos confins do cosmo, esperando que possamos chegar a eles?

A resposta, hoje, só poderia vir sob forma hipotética:

• Em algum lugar, nos longínquos territórios do cosmo a que ainda não temos acesso, onde o campo gravitacional é muito intenso, ali poderiam estar escondidos esses estranhos caminhos.

•

ESCLARECIMENTO FINAL

Poucos dias antes de escrever esta conclusão, mas quando todos os demais capítulos já estavam redigidos, senti necessidade de conhecer o impacto que este livro poderia causar sobre o público em geral, especialmente sobre os não-cientistas. Decidi então ouvir o parecer de duas ou três pessoas. Escolhi amigos{96} ao acaso e sem qualquer critério seletivo maior, dando a cada um uma cópia deste livro e pedindo-lhes suas opiniões. Eu me preocupara principalmente com o grau de dificuldade que se encontraria ao ler uma obra que envolve,

integralmente, questões de conteúdo científico. Meu espanto foi grande quando ouvi o que essas pessoas tinham a dizer. Aparentemente, não tiveram dificuldades maiores quanto aos aspectos técnicos aqui apresentados, mas todas haviam começado o livro pensando que se tratava de uma obra de... ficção! Assim, resolvi, para apagar qualquer sombra de dúvida, aproveitar este final para uma vez mais afirmar que tudo o que está sendo dito neste livro trata do território da ciência. Entretanto, os artigos científicos citados ao final não têm como objetivo intimidar o leitor não-cientista, impondo-lhe uma sabedoria arrogante, mas tão-somente exibir o embasamento teórico sobre o qual repousa o texto.

Finalmente, devo a reconhecer que uma certa dose de estranheza penetra-nos pouco a pouco ao reconhecermos que a ciência — que temos tendência a associar a certezas facilmente reconhecidas e da qual se destila nossa visão do mundo — pode revelar verdades que parecem excessivamente afastadas de nosso cotidiano e até mesmo em conflito frontal com ele. Uma vez mais, eu levaria o leitor a reconhecer que algumas situações conflitantes com nossas certezas cotidianas aparecem principalmente porque estamos tratando de fenômenos, fatos, situações que não constituem eventos corriqueiros, que estão fora de nosso controle do dia-a-dia. Ademais, por processos e costumes que permeiam integralmente a civilização ocidental, nossa experiência de subjetividade envolvendo o primado da individualidade, colocando o *eu* no centro do mundo, sofre de uma enorme dificuldade para conciliar *minha* existência e *minha* morte.

Voltar ao passado aparece como um desejo para imaginar a perpetuação daquela unidade *eu*, que transcende a objetividade supostamente *fria* com que a ciência (no caso, usando meu corpo, através de meus escritos, como instrumento de ação) trata essa questão, permitindo ultrapassar aquela dificuldade e abrindo inesperado espaço para sua realização. Esse sentimento — que não se revela ao tratarmos em geral de questões usuais da ciência e que se apresentam então como típicas e *bem-comportadas* — parece estar onipresente no nosso tema.

Esta é, com efeito, uma das causas maiores da *estranheza* com que os processos acima descritos de *volta ao passado* são em geral vivenciados.

APONTANDO O CAMINHO

Aproveitarei estas últimas páginas para acrescentar alguns comentários que, embora pessoais, parecem-me ter um certo interesse genérico relacionado ao que descrevemos neste livro. São dirigidos em particular aos jovens cientistas. A questão que aparece é de ordem geral e penetra na própria formação e formulação do que pode ser um problema da ciência e que, no caso particular concernente ao discurso que fizemos neste livro, pode ser resumida do seguinte modo:

- Afinal, o que podemos concluir do que tratamos neste livro? E mais: devemos prosseguir no exame teórico dessa questão?

Dito de outro modo: para onde estamos caminhando nesse exame? Devemos continuar a investigar estruturas e conceitos que não nos são apresentados em nosso dia-a-dia? Devemos nos ocupar de questões que provocam tantas especulações e até mesmo, para horror de alguns cientistas, emoções profundas?

Estou convencido, hoje e já há algum tempo, de que a ciência não passa de um jogo que brincamos, coletiva-solitariamente, com a natureza. Às vezes nos deixamos encantar graças a algum movimento local que acreditamos poder descrever por meio de um modelo teórico final, supostamente defi nitivo. Para essa ilusão contribui a natureza humana e nossa herança cultural. De minha parte, prefiro pensar que o jogo não tem fim, mas reconheço que não posso demonstrar isso nem seu oposto. Desse modo, talvez não fosse inútil caminharmos um pouco mais próximos da tradição de antigos povos e dedicarmos mais tempo à simples contemplação do universo. Entretanto, reconheço a imensa dificuldade em implementar globalmente essa sugestão, que aparece como fora de época, *perigosamente* idealista, na fase atual, em um mundo aparentemente controlado inteiramente por uma visão oposta.

A você, jovem cientista, que chegou até aqui nessa caminhada comigo, eu gostaria de acrescentar isso: que o mérito maior, para nós, cientistas, não é produzir conhecimento, leis, nem teorias formais, mas sim poder transmitir esse estado de admiração e contemplação de um universo ao qual solitariamente estamos integrados de modo independente de nossa vontade. E isso pode parecer maravilhoso, ingenuamente maravilhoso, mesmo no caso de vivermos em um universo-Sísifo, repetitivo, infinito e sem significado ulterior além daquele que individualmente podemos lhe atribuir.

Assim, este livro termina não com uma especulação sobre viagens ao passado, em breve, mas com uma aposta sobre essa inesgotabilidade do nosso diálogo com o mundo e enfatizando essa proposta de profunda mudança em nossos hábitos para passar a tratá-lo de modo não dividido. Do que vimos anteriormente, talvez devamos reconhecer a imensa limitação do significado do mundo, se retalhado — e quem sabe passemos a provocá-lo para que ele revele sua forma integrada, sua coerência completa.

As três faces da volta ao passado, bem como as diferentes alternativas de solução dos paradoxos causais que vimos neste livro, rompem com a tradição que pretendia eliminar do mundo caminhos que não levam ao futuro.[97] Entretanto, as condições práticas a que estamos submetidos em nossa vida na Terra parecem não nos permitir empreender tais viagens. Isso certamente não impede que imaginemos uma outra civilização, vivendo em algum lugar desse universo, que produza em sua realidade aquilo que chamamos de máquina do tempo. Mas aí eu não poderia acompanhar o leitor com este olhar da ciência, como fizemos até aqui, e estaria me deixando seduzir pelo caminho muito mais difícil e seguro do encantamento. Neste ponto, e somente aqui, eu teria que cessar meu discurso e deixar falar alguém da platéia. Como disse antes, terminaria aqui o diálogo científico que fazíamos: começa, a partir daí, o tempo da narração.

ANEXO – DIÁLOGOS SOBRE A VOLTA AO PASSADO

Depois da primeira edição deste livro, obtiveram-se alguns novos resultados referentes à análise científica de caminhos que levam ao passado. Embora esses resultados não produzam efeito algum sobre o que foi aqui exposto, creio que seria interessante tecer para o leitor um breve comentário com a descrição condensada dessas novidades. Isso foi feito sob a forma de transcrição de uma reunião entre cientistas ocorrida no final de 2003 e aqui apresentada como diálogo. É o que leremos a seguir.

Durante o workshop sobre a nova estrutura causal que as modernas teorias não-lineares da força eletromagnética têm induzido, alguns cientistas se reuniam, em seus momentos de lazer, para conversas, não de natureza técnica, sobre as questões que haviam sido discutidas durante os trabalhos. O que se segue é um pequeno excerto de algumas dessas reuniões informais. Nos diálogos abaixo reproduzidos, os cientistas participantes são representados pelas letras G, N e H.

Um comentário adicional: as reuniões aconteciam na casa de um psicanalista que, assim como um professor de literatura e um historiador, também participava das conversas. Achei conveniente unificar as intervenções dessas pessoas não especialistas em física em uma só, indicada pela letra C para efeito da narração.

N – Bem, creio que podemos dizer que houve bastante progresso desde o nosso último encontro há dois anos, não?

G – Sim, a nova causalidade — como está sendo chamado esse curioso efeito decorrente de propriedades não-lineares envolvendo a propagação dos fótons — provoca uma série de questões bem interessantes. Quanto a isso não há a menor dúvida. Entretanto, um ponto me desagrada, e muito.

N – E qual seria ele?

G – A falta de universalidade. É bem verdade que estamos o tempo todo falando de processos não-lineares, mas somente para os fótons!

H – Alguém poderia me explicar o que está sendo dito? Do que vocês estão falando?

N (dirigindo-se a G) – Você está vendo? Eu não tinha razão quando falei que H só se interessa por suas próprias questões e nem sequer prestou atenção ao seminário do professor V?

H – Não se trata disso. Mas alguém pode me responder, pelo menos para que todos os nossos colegas presentes consigam acompanhar o que está sendo dito, pois imagino que, assim como eu, eles também não devem estar entendendo o que vocês estão falando, não é mesmo? Um "sim" uníssono ecoou pela sala, mostrando que o professor H tinha razão.

N –Está bem, mas para isso eu preciso de um pouco mais de tempo para apresentar um resumo desse belo fenômeno que chamamos de geometria efetiva.

H – O tempo que você quiser...

N – Bem, então vamos lá.

BREVE DESCRIÇÃO DA GEOMETRIA EFETIVA

N – A estrutura causal do mundo, a partir do sucesso da teoria da relatividade especial, ficou intimamente associada à propagação dos fótons, isto é, dos grãos elementares de luz. A razão principal para isso se deveu basicamente à descoberta de duas propriedades notáveis: 1) o fóton se movimenta sempre com a mesma velocidade (no vácuo); 2) esta é a velocidade máxima de qualquer processo físico.

A teoria que controla o movimento dos fótons, bem como as forças que entre si exercem as partículas carregadas e todos os fenômenos eletromagnéticos associados, foi elaborada pelo físico inglês James Maxwell. A característica mais importante dessa teoria reside em sua linearidade; e, em termos bem simples, ela tem os fótons como seu agente transmissor, isto é, como os intermediários

responsáveis pela ação das forças eletromagnéticas que as cargas exercem umas sobre as outras. Entretanto, graças precisamente à sua linearidade, esses fótons não interagem entre si. Tal propriedade significa que, a partir do conhecimento de duas soluções quaisquer das equações de Maxwell, é possível construir uma terceira, cujas propriedades nada mais são que a soma das propriedades de cada solução individualmente.

A partir da análise dessa teoria eletromagnética, chegou-se a uma estrutura para o espaço-tempo caracterizada por uma geometria única, na qual réguas e relógios — instrumentos com os quais somos capazes de medir distâncias no espaço e no tempo — passaram a ter suas características dependentes do estado de movimento do observador. Mas, como no antigo sistema absolutista newtoniano, alguma coisa básica é mantida inalterada. O que se mantém inalterado e o mesmo para todos os observadores? É precisamente a estrutura geométrica do mundo, a configuração fundamental que chamamos de *espaço de Minkowski*, querendo com esse nome caracterizar a totalidade espaço-temporal do mundo, bem como sua geometria uniforme: a ausência de um lugar privilegiado, um lugar de destaque especial nessa estrutura. Dizemos que esta geometria é plana, ou, usando o termo técnico dos matemáticos, que a "curvatura" associada é nula.

Essa geometria não leva em conta fenômenos gravitacionais. Para o que nos interessa aqui, é possível simplificar essa passagem para incorporar a gravitação e notar que ela consiste na transformação dessa geometria plana em uma geometria mais geral, curva, dita riemanniana. Embora a estrutura local se identifique com a geometria de Minkowski, isso não é válido globalmente. Entretanto, as duas principais propriedades dos fótons, acima mencionadas, continuam válidas quando se considera a gravitação e quando o espaço-tempo é curvo.

Bem, tudo isso é simples e bem conhecido. Vamos agora entrar na verdadeira novidade. Para isso, devemos responder à seguinte pergunta: supondo que existam processos que devam levar em conta a interação do fóton consigo

mesmo, como a existência de tais processos não-lineares do eletromagnetismo afeta aquelas propriedades de propagação?

A resposta dada a esta questão foi totalmente inesperada, e embora ela tenha uma longa história, eu me restringirei somente ao seu resultado final, técnico, deixando a descrição dessa história para outra oportunidade. A análise de diferentes tipos de movimento dos fótons em processos eletromagnéticos não-lineares mostrou que eles se propagam como se estivessem em um espaço curvo, como se ocorresse alguma forma de modificação da geometria. Isto é, o fóton, em meios não-lineares, se comporta como se existisse um campo gravitacional equivalente, mesmo quando não se levam em consideração fenômenos gravitacionais!

Dito de outro modo: a não-linearidade do eletromagnetismo produz para os fótons uma força equivalente a um campo gravitacional que pode ser igualmente geometrizada. Assim como o movimento dos fótons em um campo gravitacional pode ser descrito como "ausência de força" — isto é, por meio de uma modificação na estrutura geométrica do espaço-tempo —, de modo equivalente, a não-linearidade eletromagnética produz uma alteração na geometria — mas vista somente pelos fótons!

E é precisamente esta a maior diferença entre os dois tipos de fenômenos envolvendo a gravitação e o eletromagnetismo: enquanto, no caso gravitacional, tudo-que-existe percebe e é influênciado pela mesma modificação na geometria, no caso das forças não-lineares eletromagnéticas, somente os fótons sentem a correspondente alteração na geometria!

G – Pois é isso que me desagrada nessa questão: a falta de universalidade.

N – Mas isso na verdade não é um problema, desde que reconheçamos que a descrição do movimento dos fótons por meio da alteração na geometria é somente uma linguagem simples e conveniente, precisamente como no caso gravitacional.

H – Como assim?

N – Bem, eu não gostaria de entrar nesses detalhes adicionais, que irão nos

afastar de nossa análise. Mas, se vocês quiserem, amanhã ou outro dia posso explicar o que quero dizer com isso.

H – Você pode pelo menos dar uma idéia daquilo a que está se referindo?

N – Claro. Veja você: a razão pela qual chamamos a força gravitacional de universal é porque tudo-que-existe sente os efeitos gravitacionais. Porém há mais que isso: o efeito de qualquer campo gravitacional sobre qualquer corpo material ou energético é o mesmo. Essa é a razão pela qual torna-se possível substituir o efeito da força gravitacional por uma equivalente alteração na geometria do mundo. Entretanto, essa geometrização é apenas um modo conveniente de tratar os processos gravitacionais. É possível descrever o mesmo processo de interação gravitacional sem utilizar essa linguagem geométrica. É bem verdade que tal geometrização simplifica muito a descrição da ação gravitacional sobre qualquer corpo material ou energético. Mas, do ponto de vista formal, ela nada mais é do que isso: uma formulação simples e elegante da descrição de um dado fenômeno.

De modo semelhante, a alteração da geometria que um fóton percebe em processos não-lineares também pode ser descrita de modo equivalente, sem fazer apelo à alteração na geometria. Entretanto, esse modo de descrever sua evolução é também mais conveniente, além de produzir uma compreensão melhor do que está ocorrendo.

C – Já que, como você disse, em circunstâncias convencionais, a força eletromagnética é linear, onde poderíamos observar essas propriedades não-lineares? Em circunstâncias muito especiais?

N – Não, não é tão difícil assim. Existem materiais — e bem comuns — chamados dielétricos que possuem a propriedade de serem meios nos quais a não-linearidade dos fótons se manifesta, em circunstâncias que podem ser reproduzidas facilmente em laboratórios.

C – Isso quer dizer que, nesses meios, a teoria de Maxwell não é mais válida?

N – Não. Ela é válida. Porém, para simplificar nossa conversa, digamos que

aparecem efeitos coletivos do meio, de tal modo que, por uma série de processos elementares, e cada um deles satisfazendo a teoria de Maxwell, o resultado global produz esse efeito de não-linearidade. Entendeu? Posso continuar?

C – Sim, claro!

N – Pois essa não-linearidade tem conseqüências inesperadas, produzindo comportamentos muito diferentes para o campo, assim como para os fótons; e, em particular, propriedades inesperadas — a partir da análise da geometria efetiva associada à propagação da luz. Essa novidade é tão inusitada, tão inesperada que, embora já se conhecessem indícios seus há mais de 50 anos, só muito recentemente, quando foi redescoberta, a comunidade científica começou realmente a se interessar por ela, enfatizando precisamente essa propriedade que envolve a alteração da geometria do *background* vista pelo fóton.

C – Desculpe, mas não consegui ainda entender o que há de tão especial nesse modo geométrico de descrever a propagação da luz. Você pode me dar um exemplo?

N – Posso sim. Vamos a ele. Concordamos que o que mais nos interessa aqui nessa conversa é a questão da volta ao passado, ou melhor, da possibilidade de existir uma curva fechada no espaço-tempo que possa ser percorrida por alguma forma material ou energética, certo?

C – Sim, essa é nossa questão principal aqui.

N – Pois então devemos voltar nossa atenção para algum tipo de geometria na qual sabemos — tecnicamente falando — reconhecer a existência desses caminhos ao passado. Um bom exemplo para isso é a geometria de Gödel, pois sabemos muito bem reconhecer nesta geometria as curvas do tipo-tempo fechadas. Assim, suponhamos que tenhamos conseguido encontrar uma dada configuração de um meio eletromagnético não-linear no qual a propagação dos fótons seja controlada por uma geometria semelhante à de Gödel. Isso significa que, nessa geometria, uma curva fechada que descreva um caminho possível para os fótons deve ser interpretada como um caminho ao passado. Um observador que descreve o mundo com a geometria do *background*, e não com a

métrica efetiva dos fótons, certamente interpretará essa propagação de modo diferente, como se o fóton estivesse andando com velocidade maior que a luz. Com esta frase quero significar que, como o observador interpreta o mundo a partir de seu próprio cone nulo local associado à geometria de Minkowski — isto é, os caminhos que a luz em processos lineares usuais, percorre —, este mesmo observador interpretará o fóton não-linear como se ele — o fóton — estivesse andando por fora do cone de luz de Minkowski local. Ou seja, ele interpretaria a situação como se o fóton estivesse seguindo uma trajetória do tipo espaço, o que é proibido em circunstâncias usuais, isto é, em processos lineares.

C – Você quer dizer que eu iria considerar que esse fóton não-linear estaria "voltando ao passado", realizando um movimento proibido pela teoria linear de Maxwell?

N – Como ele passaria duas vezes pelo mesmo ponto no espaço-tempo, é exatamente assim que devo interpretá-lo. Mas veja que esse exemplo de violação de uma proibição é um acontecimento convencional na ciência. Nada mais que a determinação da mudança do domínio de validade de uma dada teoria que não deveria ser extrapolada além da região em que sua aplicação ao mundo foi comprovada.

G – Eu entendo que essa geometria efetiva possa alterar e muito a estrutura causal do mundo. Mas, independentemente disso, se considerarmos somente processos gravitacionais, outras estruturas — além da geometria de Gödel — podem igualmente produzir configurações que permitam caminhos ao passado. Eu gostaria de voltar a falar desses caminhos ao passado puramente gravitacionais. Vocês estão de acordo?

N – Como não?

C – Eu também concordo, mas gostaria de voltar mais adiante à questão da eletrodinâmica não-linear, está bem? Ela me parece muito mais palpável — se posso dizer assim —, mais controlável que os fenômenos gravitacionais aos quais, como vocês sempre dizem, não se tem acesso fácil.

G – Está bem. Isto dito, consideremos então a teoria da relatividade geral do

professor Einstein. Temos falado muito sobre a solução de Gödel, e como não gostaria de cansar meus interlocutores, preferiria lembrar que existem outras configurações puramente gravitacionais que contêm esses caminhos ao passado...

N – Não se preocupe, eles não ficarão cansados. Muitos não conhecem essa geometria. Mesmo em nossa comunidade de relativistas alguns físicos fingem desconhecê-la; ou, pior ainda, pensam que ela não tem interesse real. No entanto, muitos de nós sabemos que os problemas formais que a solução desperta produzem o aprofundamento de nosso conhecimento de vários setores, como, por exemplo, as teorias de campo. Não fosse só por isso, e seu estudo já estaria plenamente justificado. Mas ele não é muito popular entre alguns dos livros mais famosos de teoria da gravitação. Por exemplo, o livro dos três autores (MTW) não o cita nem uma única vez. E se trata de uma obra bastante empregada e pela qual muitos estudantes de física começam a ser introduzidos à nova gravitação. Mas vocês já ouviram essa explicação.

G – Veja, por exemplo, nosso colega Bonnor. No ano passado, em uma das revistas científicas mais prestigiada, ele enumerou uma série de situações nas quais um número grande de estruturas geométricas, soluções das equações da relatividade geral, admite a presença de CTC. O mais impressionante em seu relatório sobre essas geometrias — e eu repito suas palavras — é que as situações nas quais existem CTC não são casos esdrúxulos produzidos por matéria nãoconvencional e, como tais, possuindo somente interesse formal, acadêmico. Ao contrário, constituem exemplos de situações produzidas por matéria ordinária em situações que até mesmo (algumas delas) poderiam ser acessíveis!

H – Sim, mas não se esqueça de comentar o que ele conclui ao final de seu artigo, argumentando que esses casos apontam na direção de que a teoria da relatividade geral deve ser modificada. Ou, pelo menos, que a interpretação desses casos não pode ser entendida somente à luz da relatividade geral! De minha parte, estou convencido de que, para entendermos essas situações de

geometrias que contêm CTC, devemos voltar nossa atenção para sua quantização. Essas configurações que permitem CTC devem ser quanticamente instáveis.

G – Essa solução seria muito simples. Vários de nossos colegas já se apoiaram nessa argumentação para fazer uma crítica das geometrias de tipo Gödel. Mas ontem mesmo ouvimos o dr. Krasnikov apresentar argumentos contra essa esperança — que alguns cientistas haviam declarado ter — de que o mundo quântico introduziria instabilidades nas estruturas CTC e, conseqüentemente, as impediria de existir macroscopicamente.

N – Isso é verdade. E, a partir desse comentário e de outros do mesmo teor, a crítica "quântica" não parece ter mais a força que parecia possuir quando foi pela primeira vez apresentada. Sem querer mudar de assunto, eu gostaria de discutir a conferência que suscitou maior número de questões e um grande interesse por todos, quando o professor Gott comentou a extravagante idéia que propõe um mecanismo de autocriação do universo.

H – Mas o que isso tem a ver com nossa discussão aqui sobre a máquina do tempo?

N – Ah, sim! Eu havia esquecido que você não estava presente à palestra. O professor Gott nos exibiu um modelo cosmológico intimamente conectado com nossa discussão. Se você quiser, posso brevemente sintetizar a palestra dele e responder imediatamente à sua questão.

H – Eu bem que gostaria, se os demais concordam.

Um leve murmurinho confirmou que todos estavam interessados no tema.

CTC E A ETERNIDADE DO QUE EXISTE

N – A proposta que iremos analisar agora parece constituir um bom exemplo do que estávamos examinando e se propõe a conciliar diferentes pontos de vista que têm aparecido na literatura científica envolvendo as questões causais que temos discutido.

C – Como assim? Essa conciliação é possível?

N – Vejam, a maior dificuldade em aceitarmos a estrutura que Gödel elaborou se deve ao fato de que nosso universo não possui as propriedades contidas na geometria de Gödel. Isso sugere pensar que existe mesmo uma proteção causal no universo — como alguns físicos têm sugerido —, ou então devemos acreditar na realidade da possibilidade alternativa, segundo a qual essas curvas que levam ao passado estariam confinadas em uma região compacta do espaço-tempo.

G – Você se refere às cápsulas de proteção causal?

N – Não. Certamente não. Ou melhor, não necessariamente. Eu penso em outra configuração que poderia existir em uma região compacta, desconectada causalmente do resto do espaço-tempo. Vamos chamá-la de região Ω. Aí, curvas CTC poderiam existir, mas não poderiam escapar dessa região, isto é, de alguma maneira elas estariam confinadas.

G – E como isso é possível?

N – Uma possibilidade formal simples requer, por exemplo, a existência do que se chama de um horizonte de Cauchy.

C – Você pode nos explicar um pouco o que vem a ser isso?

N – Sim, mas deixe, por favor, eu terminar minha argumentação para depois voltar a isso. Se essas curvas CTC estivessem de algum modo isoladas, e se pudéssemos considerá-las em meu passado, então poderíamos pensar, como nosso amigo Gott, que o universo não precisaria ter tido um começo.

C – Como?

N – Veja você: se, no passado de cada acontecimento, houver um outro acontecimento, isso significaria que não houve um acontecimento inicial. Assim, como cada evento teria outros eventos em seu passado, podemos concluir que neste Universo onde isso ocorreria, não teríamos acesso a um começo, ou melhor, não se poderia falar de um momento no qual o Universo não teria existido, posto que não existiria um momento sem um outro momento anterior:

ele seria eterno. Dito de outro modo, para descrever racionalmente o universo, não precisaríamos fazer qualquer comentário ou afirmação sobre um eventual momento de criação inicial. Essa referência seria totalmente desnecessária e impossível de ser acessada.

H – Não posso simplesmente admitir essa hipótese! Para resolver um problema, você cria outro problema que não sabe como resolver.

N – Qual problema?

H – Parece que ficou claro, pelos trabalhos de alguns de nossos colegas, que uma estrutura que envolve CTC gera instabilidades de natureza quântica que não podem ser contornadas. Isto é, para resolver a instabilidade inicial do modelo singular do big bang, você introduz uma outra instabilidade de caráter igualmente inacessível.

N – Bem, para poder responder a esse argumento e contestá-lo, infelizmente devemos entrar em terreno um pouco mais técnico e voltar a tratar da resposta à pergunta que foi feita sobre o significado do que os físicos querem designar pelo termo horizonte de Cauchy. Vamos considerar, só para iniciar a argumentação, que possamos separar pelo menos localmente o universo em uma seção espacial e em outra temporal — em verdade, três dimensões de espaço e uma de tempo —, e pensá-lo como camadas do doce de mil-folhas. Sabemos que isso é sempre possível, pelo menos localmente. Consideremos então que, para um dado tempo T1, em uma certa região do espaço que vou chamar de D1, ocorre algum processo físico. Não importa a sua natureza. No futuro, em T2, por exemplo, vamos chamar a região causalmente conectada a D1 de D2. Isso quer dizer que D1 constitui o domínio causal de D2, o que chamamos seu domínio de Cauchy.

Isso nos leva a pensar na possibilidade segundo a qual existiria uma região onde haveria CTC que estaria separada da região em que a estrutura causal é a convencional. Assim seria possível isolar causalmente uma dada região acausal. Vamos ver o que ocorre se atribuirmos ao interior dessa região as origens da formação do universo, que, pela argumentação anterior, seria conseqüentemente eterno. Essa região limítrofe é chamada horizonte de Cauchy. Eu gostaria de

chamar a atenção para um novo resultado, mostrado recentemente por alguns de nossos colegas: no horizonte de Cauchy, os campos da física, mesmo quantizados, não iriam adquirir necessariamente valores divergentes, ao contrário do que alguns de nossos colegas afirmavam ter demonstrado. Ora, se lembrarmos a argumentação principal que levou nosso colega H à conjectura de proteção causal, como falamos acima, vemos que a sustentação formal de sua argumentação não se mantém.

H – Alto lá! Não estou convencido de que estes cálculos sejam a resposta definitiva para a questão.

N – Concordo plenamente e vou além. A razão pela qual concordo se deve ao fato de que, nos cálculos utilizados, sempre foram utilizados os mesmos argumentos e a descrição dos campos clássicos ou quânticos, como se não houvesse a região CTC. Mas isso vale tanto para esses novos cálculos quanto para os antigos, que levaram à idéia da conjectura.

G – Devo confessar que acho muito curiosa a argumentação de N envolvendo a origem do universo. Não acredito que seja uma boa solução escondermos dentro de um domínio inobservável aquilo que não podemos entender.

N – Não, não é bem assim. Não estou propondo esconder nossas dificuldades teóricas, mas, já que você tocou nesse ponto, há de convir que, em outros territórios do pensamento científico, esse tipo de solução (que não estou sustentando, insisto) foi bem aceita.

H – Não vejo onde.

N – Por exemplo, no confinamento dos quarks. Quando os físicos começaram a perceber que a estrutura atômica da matéria conhecida há mais de um século poderia ser subdividida de modo quase sistemático e indefinidamente, produziu-se um modelo no qual os tijolos elementares da matéria ficavam para sempre confinados, isto é, não podiam jamais ser observados livremente.

H – A situação é totalmente diferente. No caso dos quarks, os físicos construíram uma estrutura formal que é direta e indiretamente passível de ser

observada. Além do mais, os grandes laboratórios de altas energias já os puseram em evidência. Há uma estrutura matemática, algébrica, que permite construir a partir desses quarks todos os elementos de matéria com os quais deparamos no mundo atômico.

N – É verdade, mas de qualquer modo eles encontraram um modo hábil de interromper essa seqüência de busca de elementos cada vez mais elementares que parecia nunca mais ter fim!

H – É verdade.

N – Pois aqui se trata de uma proposta que tem simbolicamente a mesma função...

G – Eu gostaria de mudar de assunto.

H – Por que não?

N – E sobre o que falaríamos?

DIMENSÕES EXTRAS

G – Já que estamos levando essa análise para a cosmologia, penso que talvez devêssemos fazer uma pausa nessa discussão para fazer um comentário sobre a proposta de alguns colegas que, ao examinarem as recentes teorias unificadas dos campos por meio do aumento de número de dimensões do espaço-tempo, propuseram a existência de *atalhos* no universo.

C – Como assim, atalhos?

G – Veja, a idéia veio da teoria multidimensional, que permite a existência de dimensões que não são observáveis facilmente. A idéia apareceu dentro de um contexto cosmológico, numa tentativa de atualizar antigas propostas de unificação dos campos da física. Algumas novidades formais permitiram que a idéia de considerar um número maior de dimensões fosse novamente bem aceita, pelo menos em alguns setores envolvendo a unificação da microfísica com a cosmologia. Pois bem, uma vez aceita a idéia, fica possível imaginar que podem existir no mundo caminhos inesperados.

C – Como exemplo...

G – Como exemplo, consideremos dois eventos, dois pontos 1 e 2 no espaço-tempo a quatro dimensões que chamaremos, para simplificar minha exposição de M4. Em toda configuração realista do mundo, sabemos que, mesmo que haja mais de um caminho para ir de 1 a 2, a orientação causal do mundo impede que se possam utilizar caminhos diferentes para haver um retorno ao passado. Já vimos isso ao examinar a estrutura causal do espaço-tempo de Minkowski. Situação totalmente diferente ocorre quando existe uma ou mais dimensões extras, pois neste caso seria possível sair do mundo quadridimensional convencional M4 e, utilizando um caminho através da ou das dimensões extras, poder aparecer em outro lugar em M4. Isso seria percebido como fosse possível ir de 1 para 2 em M4, sem passar por pontos intermediários, saindo de M4!

Pois bem, segundo essas idéias, seria possível utilizar esses atalhos para encurtar viagens no espaço-tempo e igualmente realizar aquilo que chamamos de "viagem ao passado". É fácil entender a razão disso. Sempre que existir a possibilidade de irmos de um ponto a outro no espaço-tempo por mais de um caminho, aparece a possibilidade de usarmos um desses caminhos para irmos e outro para voltarmos ao ponto de partida inicial, configurando um caminho fechado que um observador (ou um fóton, como vimos anteriormente) pode percorrer.

C – Por favor, sei que está fi cando tarde e daqui há pouco teremos de suspender nossa agradabilíssima reunião. Antes que isso aconteça, será que alguém poderia fazer um resumo da situação do que discutimos até agora? Todas essas questões são tão fascinantes, tão fora de nosso cotidiano que nós, que vivemos os processos mentais ainda no *dialeto newtoniano*,[{98}] temos dificuldades em acompanhá-los.

N – Se me permitirem, posso fazer isso.

C – Ótimo.

N – Bem, por um lado, temos a *conjectura de proteção causal* que

simplesmente rejeita — como se fosse uma lei da física — a possibilidade de caminhos que levam ao passado. Seu defensor mais fervoroso é nosso colega, o astrofísico inglês S. Hawking. Em sua forma mais simples, ele argumenta, com humor britânico, que como a Inglaterra não foi invadida por hordas de turistas vindos do futuro, este fato deve ser considerado razão suficiente para afirmar que não existem CTC no universo. Usando o mesmo tipo de humor, poderíamos ser levados a fabricar um argumento similar, que teria sido usado pelos nativos brasileiros ou das Américas em geral em épocas anteriores à visita de Colombo e de Cabral para mostrar a inexistência de... europeus! Com efeito, bastaria para isso que nossos índios considerassem seus conhecimentos de ordem prática, que lhes permitiam construir barcos capazes de enfrentar as dificuldades impostas pelos rios existentes — como o Amazonas, por exemplo —, mas certamente nada além disso. Num segundo momento, deveriam eles imbuirse da mesma atitude arrogante e autocentrada de Hawking e seus colegas, e associar essa informação às impossibilidades de ordem técnica que lhes impedia definitivamente de ir além desses grandes rios e atravessar os oceanos. Dessa forma, os nativos brasileiros poderiam facilmente mostrar — factualmente — que, *em verdade*, fora das Américas, não haveria ser humano.

Brincadeiras à parte, a hipótese de que a natureza possui uma proteção causal não leva em conta a evolução histórica do pensamento e as diferentes estruturas causais que os cientistas têm elaborado. Ademais, caberia eliminar uma a uma as alternativas criadas e que continuam sendo elaboradas para mostrar precisamente o contrário, isto é, que a natureza não parece se preocupar muito em produzir um impedimento formal, embutido no corpo de leis físicas, para evitar CTC. Isto é, se tais caminhos não são acessíveis em nenhum lugar deste universo, deve haver uma razão mais forte do que a simples adesão a uma estrutura causal elaborada em uma teoria do espaço-tempo. O fato histórico de que essa estrutura evoluiu seguidamente a cada nova descoberta sobre a propagação da informação deveria ser suficiente para retirar o peso absolutista de nossa descrição da realidade.

Por outro lado, não devemos temer os paradoxos que se associaram a essa discussão há dois mil anos. Vejam, por exemplo, a atitude que fomos levados a adotar em relação a uma outra questão paradoxal surgida no começo do primado da razão, cuja origem também encontramos no nascimento do pensamento racional ocidental: o problema do infinito.

Durante centenas de anos os matemáticos deixaram de lado o tratamento formal do infinito. Há várias razões para isso, porém a mais contundente tem origem semelhante à que encontramos na análise dos caminhos CTC: não há possibilidade de observarmos essa estrutura, o infinito não se deixa abraçar enquanto tal, mas somente como referência ou analogia. E, no entanto, quando o matemático George Cantor tratou de modo totalmente novo, embora convencional — isto é, de forma usual dentro da ciência —, esta questão do que é o infinito, ocorreu uma revolução nesse conceito e em nossa relação com ele.

Qual foi a mudança? Que novidade ela trouxe? As críticas que lhe faziam anteriormente foram resolvidas ou simplesmente alterou-se o foco de discussão, e elas perderam a importância? Uma breve análise do que ocorreu com a evolução dos diferentes infinitos e dos transfinitos gerados por Cantor é suficiente para mostrar que as críticas anteriores não foram *resolvidas*, mas adquiriram sua verdadeira dimensão, como toda situação nova e incomum em nosso cotidiano merece ser colocada.

A estrutura do infinito e a ordem temporal que inviabiliza os caminhos ao passado têm algo em comum. Possuem esse limiar fronteiriço que as torna quase impossíveis de serem aceitas como pertinentes ao território da razão. Mas o que é mesmo isso que têm em comum? O que permite que as consideremos no mesmo patamar da razão ou do irracional? O que as coloca lado a lado?

Parece que a resposta a essa questão é uma só. Tanto a noção de transfinito quanto a viabilidade de CTC determinam a destruição de uma ordem milenar bem estabelecida e exigem, para sua compreensão, a presença de um pensamento novo, desvinculado da razão dominante. Não se trata somente de uma mudança de paradigma. É mais que isso: é a delimitação do limiar de

validade de uma visão do mundo e da própria relação do homem com o que existe e o modo de classifi cá-lo, ordená-lo e descrevê-lo. Voltaremos a falar disse em outro lugar. Aqui, devemos nos restringir e voltar nossa atenção para a enumeração e a síntese de outras propostas de realização de tais caminhos para o passado.

Se deixarmos de lado a curiosa proposta de aceitação de um princípio tão ortodoxo como este da existência de uma intuição da natureza para evitar CTC, ou melhor, se lhe dermos seu devido valor, tratando-a como ela realmente é, e nada mais que isso — uma estranha hipótese de manutenção de um certo olhar coerente sobre o mundo e que procura evitar dificuldades formais de suas teorias por meio do expediente dogmático de proibição formal —, podemos examinar outras características da força gravitacional que exibem propriedades que se colocam frontalmente contra este princípio. É o que faremos agora.

Formalmente, dentro do quadro teórico da teoria da relatividade geral, podemos enumerar um grande número de diferentes formas capazes de produzir caminhos para o passado. Poder-se-ia argumentar que a maior parte dessas configurações é irrealizável em laboratórios terrestres e praticamente impossíveis de serem atingidas. Isso faz com que tenhamos de nos ater a questões puramente formais, já que não podemos realizar experiências que determinariam de uma vez por todas a realidade ou não de caminhos do tipo CTC em nosso universo. Pode-se examinar a coerência interna dessas soluções e as dificuldades que elas podem conter. Só para citar um exemplo do tipo de dificuldades, podemos lembrar aquele mais comumente apontado, o da instabilidade de perturbações quânticas quando é atingido o horizonte de Cauchy. Pois os resultados recentes apontam para a superação dessas dificuldades em vários casos importantes. Isso eliminaria uma das mais citadas críticas formais envolvendo espaços que admitem CTC.

Vimos também que uma possibilidade nova está associada a processos de natureza não gravitacional, para ser mais específico, a fenômenos de natureza eletromagnética. Para isso, deveríamos entrar em um regime não-linear. Em

princípio, isso não produz uma dificuldade grande, pois sabemos construir e controlar, em laboratórios terrestres, essas estruturas eletromagnéticas não-lineares. A questão é formalmente outra: trata-se da interpretação desses resultados para um observador convencional.

C – E os paradoxos? Você não vai falar nada sobre eles?

N – Bem, eu não gostaria de me estender aqui sobre o tema, pois a maior parte das propostas de solução dos paradoxos requer uma grande sofisticação matemática que decidimos deixar para outra oportunidade, não?

C – É verdade, mas você não poderia pelo menos fazer um resumo simples de como eles podem funcionar? Creio que, sem isso, toda a questão de caminhos para o passado perde bastante o interesse.

N – Bem, vou tentar. Creio que podemos limitar nossa análise à questão que comentamos acima, da existência de um horizonte de Cauchy (de dados iniciais) no espaço-tempo. A razão para isso é que, deste modo, se elimina completamente a dificuldade maior associada aos famosos e tradicionais paradoxos envolvendo caminhos ao passado. Isto é, em vez de procurarmos esquemas globais de compatibilização para resolver os paradoxos, com a existência desse horizonte de Cauchy resolve-se definitivamente a questão, uma vez que se evita a presença de paradoxos. Dito de outro modo: seria possível a existência de caminhos ao passado sem que isso determinasse o aparecimento de situações paradoxais.

C – Como?

N – Vamos examinar a questão somente do ponto de vista de corpos materiais em interação. Sabemos que toda evolução clássica de um sistema depende das chamadas condições iniciais (que temos chamado de condições de Cauchy). Vimos que, quando essas condições são limitadas a uma região compacta do espaço-tempo, não é possível prever o comportamento do sistema para além de uma certa região — chamada de seu domínio causal. A contradição referida a essa questão dos caminhos ao passado depende precisamente de sua dificuldade em conciliar dados iniciais com a evolução ulterior de processos

físicos. Ora, se cortamos essa dependência, a dificuldade desaparece.

C – Como cortar a dependência?

N – A existência de um horizonte de Cauchy mostra que há certos processos cuja história causal está limitada a uma pequena região do espaço-tempo. Essa consideração é parecida com aquele comentário que alguém aqui fez sobre a inexistência de uma superfície de dados iniciais que separasse globalmente — para essa superfície — o mundo em duas regiões; uma seria o passado da superfície; a outra seria o correspondente futuro. A ausência de dados de Cauchy conflitantes seria suficiente para inviabilizar a aplicação de qualquer tipo de paradoxo. Dito de outro modo, não se "resolveriam" os paradoxos, mas eles deixariam de se constituir em instrumentos formais de impossibilidades factuais, posto que, fora do domínio de Cauchy, eles não produziriam qualquer efeito formal.

C – Confesso que ainda não entendi.

G – Eu pediria que interrompêssemos nossa discussão para ouvirmos o curso que esperávamos sobre estas máquinas do tempo. Mais tarde, ou em outra ocasião, poderemos retomar nossa conversa. De acordo?

C – Se é necessário... Mas prometa que voltaremos a isso.

N – De acordo.

BIBLIOGRAFIA

Bell, James S. *Speakable and Unspeakable in Quantum Mechanics*. Cambridge, Cambridge University Press, 1987.

Grib, A.A., S.G. Mamaev e V.M. Mostepanenko. *Vacum Quantum Effects in Strong Fields*. Moscou, 1994.

Landau, L. e E.M. Lifshitz. *The Classical Theory of Fields*. Nova York, Pergamon Press, 1975.

Leite Lopes, José. *Lectures on Symmetries*. Stanord, Gordon and Breach, 1969.

Malament, David B. *J. Math. Phys.*, vol. 24, nº3, p.597, 1982.

Morris, M.S. e. Thorne, Kip S. "Wormholes in Spacetime and their use for Interstellar travel: a tool for thatching general relativity". *American Journal of Physics*, v.56, nº5, p.395, 1988.

Novello, Mário. "An Eternal Universe". *Vth Brazilian School of Cosmology and Gravitation*. Singapura, M. World Scientifi c, s/d.

__. *Modern Physics Letters A*, vol.7, nº5, p.381, s.d.

__. *Cosmos et contexte*. Paris, Masson, 1987.

__. "Crítica à razão cósmica". In Adauto Novaes (org.). *A crise da razão*. São Paulo, Companhia das Letras, 1996.

Novello, Mário, I.D. Soares e J. Tiomno. "Geodesic Motion and Confi nement in Gödel's Universe". *Physical Review D*, vol.27, nº4, p.779, 1983.

Novello, Mário, N.F. Svaiter e M.E.X. Guimarães. "Synchronized Frames for Gödel's Universe". *General Relativity and Gravitation*, vol.25, nº2, 1993.

Novello, Mário, L.A.R. Oliveira e J.M. Salim. *International Journal of Modern Physics*, D1 (3, 4), p.641, 1993.

Novello, Mário e M.C. Motta da Silva. "Cosmic Spinning String and Causal Protecting Capsules". *Physical Review D*, vol.49, nº2, p.825, 1994.

Rohrlich, Fritz. *Classical Charged Particles*, Addison-Wesley, 1965.
Wang, Hao. *Kurt Gödel*. Paris, Armand Colin, 1990.

AGRADECIMENTOS

A elaboração deste livro passou por três etapas distintas, cada qual se caracterizando por um particular apoio. No primeiro momento, E. Elbaz teve um papel fundamental por ter acendido a centelha de minha curiosidade e meu interesse em divulgar, em passar adiante, algumas questões que há muito venho discutindo sobre viagens não-convencionais no tempo. Meus colaboradores Martha Christina e Renato Klippert sustentaram comigo um longo diálogo — ora altamente técnico, envolvendo questões limítrofes voltadas para a estrutura formal do espaço e do tempo na teoria da relatividade geral, ora atingindo o território da especulação — nos confins mesmo de nossa imaginação.

Chaim Katz por várias vezes me levou, junto com ele e seus colaboradores, a examinar sob ângulos especiais a questão temporal. Fui convidado a dar palestras para seus colegas psicólogos, o que não significou empreitada fácil. As questões que ali me foram formuladas esclareceram-me muito e, principalmente, conseguiram mostrar-me como o discurso científico pode, quando tratado sem uma grande dose de autocrítica, apresentar-se fechado em sua linguagem, dando a aparência de esconder ou dissimular as contradições internas que, em alguns setores limítrofes, como no exame das características temporais, ele exibe.

Quando, graças a essa interação, consegui deixar claro o que a ciência contemporânea tem a dizer sobre tais questões temporais — e, como corolário natural, seus obstáculos em produzir a unificação de tratamento do conceito de tempo, quer no microcosmo quer no macrocosmo —, todos nós então reconhecemos a imensa tarefa que ainda teríamos pela frente. Isso nos deixou, pelo menos a mim, menos angustiados sobre o que deveríamos fazer no futuro (e este livro é um pequeno primeiro passo nessa direção): exibir o mais claramente possível aquelas dificuldades!

Luiz Alberto R. Oliveira e José M. Salim, meus colaboradores de longa

data, disponibilizaram-me o tempo todo seus saberes, impulsionando-me a cada instante para aprofundar meu discurso. Se não consegui fazê-lo e satisfazer assim mais completamente às suas exigências formais e ao rigor de tratamento que eles pediam, isso deve-se exclusivamente à minha limitação.

Finalmente, Tânia fez-me oferecer a mim próprio alguns momentos de intranquilidade, que eu consegui não deixar escapar.

Meus companheiros

Por diversas vezes, durante a elaboração deste livro, recebi a advertência de amigos, colegas de profissão, físicos, como eu, que pretendiam influenciar-me, a ponto de me fazer desistir de levar adiante o projeto de sua publicação. O argumento principal que eles apresentavam era o seguinte: embora eu tentasse manter-me, ao longo de todo o texto deste livro, na minha posição de cientista, e não me deixasse levar pelo discurso aparentemente simples e espontâneo da fantasia, seria difícil que tal posição fosse considerada como tal, aceita como tal, pela grande maioria dos físicos. Sabemos, diziam eles, que essa microssociedade, aparentando uma abertura de idéias que certamente não tem, e contrariamente ao que elas propagam, é na prática extremamente reacionária. Por conseguinte, será difícil para os dela partícipes — sobretudo quando consultados por agências federais de apoio à pesquisa{99} no sentido de emitir parecer sobre seu trabalho — resistir à idéia de que o autor de um livro como este, que trata de tema com características, digamos, *tão fantasiosas*, não adquira o estigma de anticristo, de articulador de um discurso que está além do científico, além daquele que eles esperariam ver preservado por alguém *de dentro da comunidade*. Em particular, eles se referiam às dificuldades que apontamos anteriormente, envolvendo o renomado físico norte-americano Kip Thorne e por ele mesmo citada durante a apresentação de seu trabalho, *Temporal Loops*, no 13º Congresso de Relatividade Geral e Gravitação, realizado em Córdoba, na Argentina, em 1992.

Minha contra-argumentação, minha defesa, em suma, nesses momentos era simples. Este livro, dizia eu então, tem a pretensão de divulgar para um público mais amplo aquilo que já é do conhecimento da sociedade dos físicos. Se ele aparece como fantasioso, deve-se não à minha apresentação, mas ao que os cientistas têm produzido nas últimas décadas. Enfim, devo acrescentar que, se aceito a curiosa condição de revelar ao público essa singular preocupação por parte de meus colegas, é porque acredito, infelizmente, que ela possa ter de fato algum tipo de conseqüência que lhes daria razão.

Formatação/conversão do arquivo original Pdf para ePub por:



{1} É digno de nota que um físico norte-americano de grande prestígio na comunidade estadunidense e internacional tenha tido sua bolsa de pesquisa (grant) cancelada, ou melhor, não renovada, por um importante organismo americano de apoio à ciência logo após ter publicado material considerado pouco convencional. Em verdade, aquele físico estava tão-somente fornecendo ao público uma resenha de suas análises a respeito, tratando-as como se não fossem material confidencial.

{2} Que não são artefatos!

{3} Isto é, estruturas convencionais, descritas pelas leis bem conhecidas da física.

{4} Mais adiante teremos oportunidade de descrever esses paradoxos. Aqui quero me referir à possibilidade de atuarmos sobre nosso passado, modificando-o.

{5} A situação mais conservadora — e para a qual uma questão envolvendo viagens não convencionais no tempo não deveria sequer ser examinada — possui uma quantidade grande de cientistas a sustentá-la. A forma mais explícita dessa posição configura-se no que se chamou de *a conjectura de proteção cronológica*. Falaremos dela mais adiante.

{6} Essa observação estaria a merecer um comentário maior, para retirar-lhe um pesado sentimento de ingenuidade que a ela poderia ser atribuído. Tomarei o risco calculado de ser mal compreendido num primeiro momento, esperando que ao longo do livro apareça mais claramente seu conteúdo verdadeiro.

{7} Estas agências, como sabemos, *devem* apresentar-se como organismos extremamente conservadores. A principal razão para isso parece estar ligada, de uma forma que não sou capaz de explicar nem entender, ao fato de que elas usam fundos públicos.

{8} Veremos mais adiante o porquê dessa nomenclatura. Aqui é suficiente retermos que com a sigla CTC estaremos denotando um caminho possível para o passado. [2] Além destas, devemos citar aquela que parece ser a mais geral: simplesmente não existem na natureza caminhos que conduzem ao passado. Nesse caso, não haveria nada a examinar nem discutir. Uma boa parte de nossa compreensão de várias situações-

{9} Entendi que se tratava de jóias e coisas semelhantes, cuja origem me pareceu levemente suspeita, embora não me parecesse necessário nem conveniente explicitar a dúvida.

{10} No caso em questão, a dependência da interação com o inverso da distância dos corpos e sua dependência direta com a massa privilegia o Sol por sua proximidade e grandeza.

{11} É bem verdade que, de acordo com certa interpretação da mecânica quântica, determinados estados de energia negativa podem ser interpretados como partículas, digamos, elétrons caminhando para o passado; ou, de modo menos dramático e mais conforme às convenções anteriores, como pósitrons ou elétrons positivos, dirigindo-se para o futuro.

{12} Note-se que essa descrição transcende o próprio discurso da teoria da gravitação de Einstein, a teoria da relatividade geral, que faz apelo a uma dinâmica para a geometria do espaço-tempo entendido como uma unidade, como descreveremos adiante. [4] Algumas teorias, como, por exemplo, a do campo eletromagnético do elétron, utilizam a noção de campos avançados, com informação vinda do futuro, em sua descrição. Entretanto, isto é entendido como um artifício matemático, de tal modo que o resultado final observado possa ser interpretado convencionalmente como uma sequência contínua e temporalmente direcionada.

{13} Ver a extensão dessas idéias mais adiante, no capítulo sobre o princípio de auto-consistência.

{14} Esses caminhos são produzidos por campos gravitacionais intensos.

{15} Esta questão será examinada em capítulo ulterior. Note-se que estamos tratando de processos descritos no interior da física clássica. Esta dependência não-local não nos espantaria se estivéssemos examinando processos quânticos, tornando essa situação aqui muito mais sinuosa.

{16} Essa solução poderia ser definitiva se aparecesse como um modo geral da ciência, desvencilhando-se de sua timidez formal, isto é, de sua pretensão limitada, de sua restrição aos sistemas que permitem caminhos para o passado. Entretanto, o modo como ela está sendo tratada, a partir de uma tentativa *ad hoc* de recompor a coerência formal, perdida pela presença de uma ordem temporal distinta da tradicional, apresenta-se enfraquecida e sem os atrativos que poderiam levá-la a constituir um novo paradigma.

{17} Em português: *curvas do tipo-tempo fechadas*.

{18} O leitor bem informado poderá se perguntar o porquê da ausência aqui (bem como ao longo de todo este livro) de análises complementares sobre o tempo, tal como, por exemplo, a questão da irreversibilidade, entre outras. A resposta é simples. Quero limitar nosso exame definitivamente a um único aspecto seu: a possibilidade de retorno ao passado. Entretanto, mais adiante, tocaremos de perto a questão da variação da entropia em uma situação particular.

{19} Alguns autores preferem a denominação *wormhole*. Em português: *buraco-de-verme*.

{20} Um exame mais detalhado dessas propostas mostra também que o princípio teórico sobre o qual elas estão baseadas é um só e o

mesmo.

[21] Estou, neste momento, interessado em enfatizar aquilo que diferencia esses dois sistemas, e não suas semelhanças. Isto é, embora ambas situações exibam condições que dão sentido à expressão *retorno ao passado*, e dessa forma são, quanto a esta questão temporal, semelhantes, e baseadas no mesmo princípio, elas não produzem aqueles caminhos ao passado segundo a mesma prática. É essa diferença que quero comentar aqui.

[22] Quando, ao tratarmos o universo em sua fase extremamente condensada, somos levados a usar uma descrição quântica, deparamos com uma questão delicada que põe precisamente em dúvida esta hipótese básica. Infelizmente, a visão antropomórfica do mundo permeia toda nossa descrição da realidade, e passa a ser uma tarefa sobre-humana sugerir uma imagem do universo que não esteja nela ancorada. A própria estrutura linguística de que dispomos, e através da qual nos comunicamos, parece ser uma camisa-de-força que leva à formação de um sistema de vigilância extremamente rigoroso, exercido sobre a produção de possíveis configurações alternativas daquela imagem. Embora a linguagem simbólica, posta à disposição dos físicos pelas matemáticas, forneça um espectro maior de opções além da rigidez do discurso convencional, ainda assim esbarramos neste, no momento de sua tradução para a constituição de um saber transmissível, e onde, afinal, parece dever desembocar todo e qualquer conhecimento sobre o mundo. Um exemplo típico desta dificuldade é precisamente fornecido a seguir, e o reencontraremos quando, na próxima seção, tratarmos de uma história do universo primordial, em uma configuração onde a descrição espaço-temporal não é nem acessível nem possível. Assim, a crítica deste fundamento da física constitui uma das mais difíceis missões com que o cientista se depara. Ver comentários adicionais na seção seguinte.

[23] Um comentário auto-reflexivo faz-se necessário para melhor exemplificar o que acabamos de afirmar. A crítica a que nos referimos pode ser aplicada precisamente a este nosso discurso, ao reconhecermos que, na frase anterior, não poderíamos esquecer de substituir a palavra ciência por cientistas. Esta simplificação, que se insinua como inconsequente, que fazemos de quando em quando, e que, no caso em exame, consiste em atribuirmos a uma entidade ideal (à ciência) aquilo que provém dos cientistas, conduz a uma visão absoluta do que está em jogo, da qual teremos, em nossa prática, dificuldades em nos desvencilharmos. A simples substituição pela palavra cientista naquela frase produz de imediato a sensação de relatividade que deveria estar associada àquela nossa afirmativa. Desconhecer a importância dessa aparente sutileza de descrição, negando-a como fator importante no desenvolvimento científico, produziu uma boa parte dos preconceitos com que convivemos. É bem verdade que tal cuidado torna, o mais das vezes, nosso discurso extremamente *pesado*. Resta saber se deveríamos correr o risco de produzir um escondido preconceito em nome de uma *leveza* que não nos trará, mais adiante, nenhuma possibilidade maior de voar.

[24] A noção de *bom senso* é subjetiva. Diferentes indivíduos em distintas civilizações e em diferentes épocas de suas histórias considerariam de modo não-universal aquilo que denotamos por estas palavras. Assim, o leitor há de concordar comigo que, quanto menos dependermos desta noção ao descrevermos a natureza, mais perto de uma sua verdadeira descrição estaremos. Na questão de que trata este livro, isto é, de viagens ao passado, nenhum progresso (seja ele formal ou não) poderia ser feito se nós não relativizarmos este conceito. Ou melhor, se não explicitarmos a cada momento que aquilo que constitui o conjunto que consideramos razoável, ou de bom senso, que poderíamos empregar para caracterizar o mundo, depende de um modo profundo de uma série de fatores que estão completamente fora de nosso controle observacional. E, como tal, não podem constituir legítimos fatores seletivos de uma teoria global do universo. Essa trivialidade, por mais óbvia que pareça, deve ser repetida seguidamente, para não cairmos na confusão engendrada pelo absolutismo a que nos referimos anteriormente.

[25] Como foi comentado em outro lugar, o fóton pode ser compreendido como constituindo uma concentração de energia do campo eletromagnético.

[26] Esta seção remete ao artigo “Crítica da razão cósmica”. Nele, o leitor é introduzido de um modo simplificado e reto aos princípios da cosmologia contemporânea. Veremos também como somos levados, quase inevitavelmente, a uma revisão crítica os fundamentos da cosmologia, isto é, à formulação do que chamaremos meta-cosmologia.

[27] Usaremos essa terminologia por empréstimo a uma situação análoga que Kant encontrou na filosofia.

[28] Chamada cosmologia relativista.

[29] Seria talvez desnecessário acrescentar que a palavra existente aqui tem um sentido maior do que quando a utilizamos no linguajar corriqueiro. Em outro lugar (ver, por exemplo, meu artigo “Modos de criação do universo”) comentei a influência de quantidades (como o vácuo da física moderna) que não seriam catalogadas como tais e que, entretanto, agem sobre a estrutura do universo.

[30] Ver, a respeito, meu livro *Cosmos et contexte*.

[31] Esses modelos são apresentados e discutidos em “Diálogos sobre o começo do mundo”, in Ruben Aldrovandi, José Marino Gago e Alberto Santoro (org.), *Roberto Salmeron Festschrift, a master and friend*, Aiafex, 2003.

[32] Essa análise, bem como algumas das propostas de solução, é tratada em “Diálogos sobre o começo do mundo”.

[33] Uma exceção será feita para o modelo de Gödel, por razões que trataremos em capítulo seguinte.

[34] Estamos representando pela seção $t = constante$ a totalidade que chamamos espaço tridimensional.

{35} Note que uma primeira aproximação da história global do universo é bem descrita por esse modelo. Entretanto, os cientistas têm várias indicações de que ele não pode ser utilizado para examinar seu começo.

{36} Isso acontece porque a informação é carregada por fótons que se movem sobre os cones, representados por linhas descontínuas nas figuras.

{37} Um esclarecimento adicional torna-se indispensável. Muitos autores têm examinado, ao longo do século XX, as propriedades de corpos materiais que se movimentariam com velocidades maiores que a da luz: os chamados *tachions*. Espero conseguir deixar bem claro que não estou, nesta seção, tratando destas imaginárias entidades. Meu propósito aqui é examinar quais processos poderiam, sem entrar em choque com nossos conhecimentos da física, produzir propagação de informação para além do que é permitido na teoria da relatividade.

{38} Embora outra forma de geometria, contendo igualmente trajetórias para o passado, fosse conhecida anteriormente a ta proposta por Gödel, a questão temporal envolvendo a análise do retorno ao passado só adquiriu o caráter problemático como tamos descrevendo neste nosso texto depois da descoberta de Gödel. Esta é a razão pela qual nos concentramos aqui nesta geometria.

{39} Devemos lembrar que o que estamos chamando de universo de Minkowski caracteriza idealmente o espaço-tempo vazio, desprovido de qualquer forma de matéria e energia.

{40} Essa característica, no entanto, é fortuita. Não devemos pensar que, para que uma tal curva CTC exista, seja necessária a presença de outras forças que não a gravitacional. Esta propriedade que estamos examinando aqui ocorre neste universo de Gödel. Outras configurações representando soluções exatas das equações de Einstein podem conter CTC sem que para isso uma força externa seja indispensável, para que um corpo material circule por ela.

{41} Ver, a respeito, nossos comentários sobre os sistemas de coordenadas de Gauss, em capítulo anterior.

{42} Há, no entanto, uma diferença importante que parece diminuir a possibilidade desta identificação. O mundo da física parece ser construído limitadamente com um só tipo de tempo, medido por algum procedimento que faz apelo a uma máquina.

{43} Isso, claro está, se deve ao fato de que uma CTC pode cruzar duas vezes aquela superfície de dados iniciais, isto é, o momento t = *constante*, e que chamamos Σ.

{44} Em seção anterior, explicou-se como a ação de uma força de caráter não-gravitacional acelera um corpo. Isto significa que o caminho seguido por ele não é mais uma geodésica.

{45} Talvez fosse digno de nota mencionar aqui que, em momento posterior a essa descoberta de Gödel, outras possíveis geometrias, compatíveis com a teoria da gravitação de Einstein, foram descobertas, possuindo a extraordinária propriedade de admitirem geodésicas do tipo CTC. Claro está que esta característica é ainda mais fantástica do que aquela que estamos examinando, posto que estes caminhos ao passado não requerem nenhuma força externa, de caráter não-gravitacional, para serem utilizados.

{46} Note, entretanto, que as relações pessoais entre os dois gênios sempre foram extremamente boas, e sua amizade, iniciada por volta de 1933, quando ambos trabalhavam em Princeton, só iria terminar com a morte de Einstein em 1955.

{47} A impossibilidade de definir um tempo global para o universo de Gödel está na base da existência de CTC nessa geometria. Veremos também que a rotação possui um
grande poder confinante.

{48} Poderíamos nos perguntar por que a violação causal seria sentida pelo resto do universo como algo a ser evitado? Deixaremos a resposta a essa estranha pergunta para ser considerada pelo leitor.

{49} O universo de Gödel é homogêneo, isto é, as propriedades de cada região são indistinguíveis umas das outras. Desse modo, a operação que estamos realizando implica necessariamente destruir aquela homogeneidade.

{50} Gostaria de alertar que a estrutura a que estamos nos referindo não é exatamente o universo de Minkowski, mas uma deformação deste, através de uma alteração em sua topologia. Penso que não seria conveniente entrar nestas tecnicalidades aqui. Ao leitor que procura mais detalhes sobre esta estrutura, aconselho que consulte as referências. **103**

{51} 1 Estou deixando para análise ulterior a versão quântica desta questão.

{52} Os físicos não estão abandonando a unidade clássica do mundo, nem se deixando encantar por universos paralelos a que não teríamos acesso. Estamos aqui em outro movimento de idéias, nas quais se realiza uma extensão natural da caracterização espaço-temporal do mundo.

{53} Parece que Einstein e Rosen foram os primeiros a considerar uma estrutura como a que estamos descrevendo aqui. Procuravam entender certas particularidades curiosas que o campo gravitacional, gerado por uma fonte localizada estática (tal como uma estrela), possui. Foram então levados a interpretar este campo gravitacional como uma ponte de conexão do tipo da que descrevi acima. Nos anos 1960, o estudo intensivo de buracos negros, estágios finais de certas estrelas massivas, permitiu uma análise mais completa destas configurações. Deve-se ao físico John A. Wheeler a criação do termo wormhole, isto é, buraco-de-verme, para denotar esta ponte-de-

conexão.

{54} Poder-se-ia questionar como é possível essa abstração. Somos a cada momento, cotidianamente, alertados pela natureza de que todos vivemos sob o domínio desta força. É ela que nos impede de voar. Entretanto, quando o cientista se debruça, em suas pesquisas nos diversos laboratórios terrestres, sobre os diferentes processos que ele pretende compreender, uma prática bastante eficiente e comum o induz a isolar seu objeto de investigação. Ademais, como o campo gravitacional terrestre é muito fraco, quando comparado com outras forças da natureza, a abstração do campo gravitacional passa a ser uma prática aceitável e conveniente, pois ela simplifica enormemente os cálculos a que o cientista se entrega ao procurar compreender os fenômenos. Segue dessa consideração que o exame dos processos que ele faz em seu laboratório pode ser analisado como se o mundo, este nosso universo, pudesse se identificar com aquela configuração idealizada que chamamos universo de Minkowski.
Não há qualquer evidência, até hoje, de que estas estruturas existam realmente. Entretanto, assim como a cápsula temporal de que tratamos anteriormente, elas poderiam estar escondidas em algum lugar de nosso universo.
Devemos ter em mente que ainda aí estamos na presença de uma solução especial das equações de Einstein da gravitação, a saber, o caso da ausência de matéria/energia. Uma configuração mais complexa, mais realista, conectando universos do tipo Friedmann, por exemplo, envolver-se-ia naquelas complicações formais de extensão da totalidade que comentamos anteriormente.

{55} Na verdade, as maiores dificuldades estão relacionadas às propriedades da garganta, o ponto de máxima condensação da ponte. Seria preciso garantir, para que uma dada ponte possa ser considerada atravessável, que um observador qualquer possa resistir à intensidade do campo gravitacional ali existente, para emergir do outro lado com a mesma unidade integral. Uma nave, capaz de funcionar como transportadora de uma região para outra através daquela ponte, deveria poder ser construída de modo convencional. As forças gravitacionais, tendentes a romper a nave, por efeito de maré, não deveriam ser extremamente violentas.

{56} Estaremos indistintamente nos referindo seja ao seu *raio* A, seja ao seu volume V, relacionados por $V = A^3$.

{57} Note que não existe singularidade aqui, isto é, a função $A(t)$ nunca se anula. Consequentemente, o tempo de duração deste universo é infinito. Escolhemos, por conveniência, a origem dos tempos como associado ao momento de sua condensação máxima, ou seja, o menor valor possível para $A(t)$.

{58} Essa denominação deve-se a Luiz Alberto R. Oliveira.

{59} A razão pela qual não podemos descartar essa configuração deve-se ao fato de que não sabemos como a topologia se insinua no mundo. Consequentemente, não conhecemos uma razão efetiva capaz de eliminar esta ou aquela topologia, a não ser por um critério subjetivo e sem suporte conhecido no real.

{60} Esta repetição poderia ser tediosamente igual. Ver a respeito o capítulo seguinte, sobre a auto-consistência.

{61} Devemos reconhecer que, ao tratarmos dessa questão, estamos utilizando uma linguagem comum impregnada de preconceitos, isto é, cheia de significados *a priori*. Temos de cuidar não somente de entender os processos que estão acontecendo neste eventual retorno ao passado, mas também tentar limitar o efeito desses preconceitos em sua formulação. A palavra retorno, aqui empregada, é um exemplo típico desta dificuldade. Retornar significa voltar ao ponto de partida. Mas quem volta sempre é um outro, acrescido da experiência de sua viagem. É disso que se trata aqui? Parece que não.

{62} Em diversos momentos, alguns autores têm procurado encontrar uma *razão* capaz de justificar, dentro de um certo cenário, este particular número $(3 + 1)$ de dimensões do espaço e do tempo. Entretanto, nenhuma dessas apregoadas razões parece, no meu modo de ver, ter resolvido a contento essa questão.

{63} Vimos isso ocorrer, igualmente, quando depararmos com a construção da meta-cosmologia.

{64} No caso da estrutura espaço-tempo, um passo importante dado recentemente pelos físicos consiste na aplicação de idéias quânticas na formação da estrutura clássica do universo, como citamos em outro lugar.

{65} Em oposição frontal à mecânica, que trata de corpos, processos isolados, que permite a separação inequívoca do corpo em exame e seu *environment*.

{66} Isso ocorre porque esta interpretação pode ser associada a uma visão de mundo, *latu sensu*, pela produção de um modo particular de representar as observações.

{67} Essa não é a única forma capaz de permitir a descrição quântica do universo nem, aos meus olhos, a melhor. Não me estenderei, entretanto, nestas outras formas neste livro.

{68} Parece que foi o físico russo I. Novikov o primeiro a ter formulado esse princípio sob a forma que o trataremos aqui.

{69} Note-se que não podemos introduzir uma ordenação temporal no mundo. Conceitos como *antes* ou *depois* passam a ter sua significância limitada a questões locais. Não possuem caráter global.

{70} Essa observação não deve ser confundida com aquela outra, distinta, e que diz respeito à multiplicidade gerada por processos quânticos.

{71} Recentemente, Novikov e seus colaboradores tentaram mostrar que este princípio de auto-consistência não é um corpo estranho à física, e talvez até mesmo nem possua um caráter tão novo como parece. Eles procuraram mostrar que está associado a outros princípios mais respeitáveis da física, ou pelo menos a princípios ou leis menos questionáveis. É bem verdade que, pelo menos em um caso particular, eles conseguiram associá-lo a um outro princípio bastante mais respeitável: o da ação mínima. A partir deste caso particular, pretenderam extrapolar com a conjectura de que tal relação entre a auto-consistência e algum outro princípio da física pudesse sempre ocorrer. No momento em que escrevo estas considerações, entretanto, esta conjectura parece estar bastante longe de poder ser comprovada, e devemos pensá-la como não mais que isso: uma especulação curiosa.

{72} Esse é o modo único de procedimento e depende do fato de que, no estágio atual do conhecimento científico da teoria da gravitação, não sabemos como contestar definitiva e categoricamente a questão sobre a influência quântica, que assim se qualifica, parcialmente pelo menos, como uma especulação.

{73} Ver o capítulo 4 para uma breve descrição destes teoremas.

{74} Trata-se aqui de singularidade localizada. Do ponto de vista técnico, estamos diante do mesmo problema: o campo em questão assume valor infinito.

{75} Ver mais detalhes nas obras de Rorhlich e de Leite Lopes, citadas na bibliografia.

{76} Somente um exame detalhado, acoplado ao cálculo direto e completo desta questão, ainda por ser feito, pode responder inequivocamente a esta insinuação.

{77} Essa configuração é aquela que denotamos como geometria de Minkowski e na qual desprezamos os efeitos de natureza gravitacional.

{78} Em verdade, a física limita-se a falar de corpos elementares, unidades fundamentais. Unidades complexas, como um composto químico ou uma estrutura biológica, não são exemplos elementares e, assim, não se enquadram perfeitamente no que a ciência realmente demonstrou. Mas isso é somente uma questão de gradação e quantidade de informação disponível. O que está em jogo, fundamentalmente, é a negação do caráter absoluto do princípio da individualidade. E isso vale para tudo que existe. Aplicar essa nova e inesperada propriedade a corpos elementares, partículas, não provoca nada mais do que estranheza. Mas se nos dermos conta de que o mesmo fenômeno poderia ocorrer em configurações maiores, mais complexas, tais como homens, isso tornaria a argumentação acima quase dramática.

{79} Nesta seção, examinaremos vários aspectos de um discurso sobre corpos materiais. Isso significa que trataremos, como sempre neste livro, do território da física, e, como tal, aplicável a tudo-que-existe, inclusive corpos macroscópicos e que podem constituir configurações bastante complexas, tais como homens. Isso significa que não estaremos interessados em enfatizar as diferenças que existem entre o mundo da física e o da biologia ou da psicologia, por exemplo. Se me detenho nessa observação trivial, isso se deve ao fato de que não podemos esquecer que, contrariamente àquelas ciências, a física se aplica a tudo-que-existe, sob qualquer forma.

{80} A descoberta da desintegração da matéria debilitou um pouco nossa crença nessa caracterização das *unidades* do mundo, mas não a eliminou. Ademais, reconhecemos hoje que toda forma de energia pode se consubstanciar em uma unidade elementar ou quantum, e que constitui a versão moderna do *corpo indestrutível* da física clássica. [4] A teoria da relatividade especial produziu uma certa tendência geral a aceitar-se a dependência de quantidades físicas que a física newtoniana acreditava ser absoluta e a mesma para todo observador com relação ao estado de movimento deste observador. A teoria quântica acabou por tornar essa dependência tão trivial que se passou a pensá-la quase como se ela constituísse um paradigma. Entretanto, no caso em questão, negar esse valor absoluto equivale a produzir, para o leigo, assim como para o cientista, um verdadeiro escândalo. Nem mesmo a teoria da relatividade especial ousara duvidar da caracterização absoluta daquele número. Dificilmente qualquer um de nós, se chamado a responder, admitiria a dependência, com o observador, do número de partículas existente em uma dada região. E no entanto isso é verdade.

{81} Pode-se consultar, por exemplo, a obra de Grib e colaboradores, bem como as referências ali citadas, caso haja interesse nessa demonstração ou em outras propriedade deste sistema.

{82} Não se trata de aparências, de subjetividades ligadas a uma interpretação. O número de partículas é um dado objetivo para cada observador. Do que acabamos de relatar segue-se que este valor pode variar de um observador para outro.

{83} Ver, entretanto, comentário adicional no apêndice ao final deste capítulo.

{84} Como o que estamos descrevendo vale para todos os campos, esta fábrica é capaz de gerar partículas de todos os tipos.

{85} Esta limitação, associada a uma dada representação do mundo, não deve ser entendida como uma escolha inconveniente que um observador descuidado faz; trata-se de uma característica dependente de seu estado de movimento, de sua situação espaço temporal, de sua dinâmica. No caso ideal que estudamos, tanto em Rindler quanto no sistema de Milne, podemos exibir diretamente essa particularidade. Em um, deve-se à aceleração constante a que o observador está sendo submetido; em outro, à caracterização do mundo a partir de um momento singular associado ao início de suas medidas. Em geral, essa forma direta de exibir a origem de seus limites não é tão simples de ser conseguida.

{86} Eu lembraria que a teoria da relatividade especial produz uma visão do mundo distinta daquela newtoniana precisamente para observadores cujo estado de movimento é bastante veloz, com velocidades comparáveis à da luz. Fora dessa circunstância, os

tradicionais conceitos, tal como o do caráter absoluto da massa, atuam — são quantidades que parecem independentes do estado de movimento do observador. Mesmo reconhecendo as consequências práticas da teoria da relatividade especial e sua comprovação experimental bastante alardeada e tornada pela mídia corriqueira, graças, entre outras razões, à famosa expressão $E = Mc^2$, ainda assim somos controlados por um distanciamento, em nossos hábitos cotidianos da descrição do mundo, dos fundamentos desta teoria.

{87} Esta imagem, claro está, é uma simplificada e contundente forma de exprimir uma realidade que não pode fazer parte de nosso cotidiano, pelas tranquilas e bem comportadas condições ambientais com que nos defrontamos na Terra. Para que essa surpresa ocorresse realmente em nossa experiência, deveríamos estar em condições totalmente diferentes, nas quais as velocidades envolvidas fossem significativamente distintas; ou em regiões tais onde as forças gravitacionais fossem muito mais intensas e com características que não são as que existem em nosso planeta.

{88} Trata-se, como veremos, de uma solução parcial. Ela tem no entanto o mérito de nos lançar em um novo caminho no modo de encarar o problema temporal, além de apontar para a possibilidade de sua eventual generalização na busca de uma solução total.

{89} Veja capítulo 6.

{90} A limitação imposta a um sistema de representação do mundo é o fator comum entre esta nossa solução às questões causais associadas à máquina-*g* do tempo e outras configurações contendo CTC.

{91} Notemos, em particular, que, naquelas situações anteriores, se tratava de examinar uma configuração vazia do mundo idealizado de Minkowski. Aqui, trata-se de uma configuração de curvatura espaço-temporal não-nula, gerada por um fluido material em rotação.

{92} Poderíamos perguntar: o que ocorre no caso em que o viajante Ψ envia, de sua situação no exterior da região causal, uma mensagem? Devemos lembrar que esta informação constitui sempre um grupo de partículas. Em geral, trata-se daqueles corpos que se movimentam com a velocidade máxima possível: os fótons. Uma situação semelhante à que estamos descrevendo para os quanta Ψ aconteceria igualmente para estes quanta de luz.

{93} Do que vimos neste livro, estas configurações ocorrem sempre na presença de campos gravitacionais intensos. Esta é a razão pela qual essa máquina do tempo é impossível de ser construída, de fato, em qualquer laboratório terrestre: o campo gravitacional disponível em nossa vizinhança é extremamente fraco.

{94} Embora eu tenha usado o termo *conjetura* nesta expressão, pelo que vimos acima, poderíamos tratá-la mais amplamente, alçando-a à força de um verdadeiro esquema geral de interpretação. Se enfatizo seu caráter provisório, aqui, é somente para alertar o leitor que ele deve empreender a etapa final de generalização para configurações mais amplas que as que aqui demonstrei. Embora isso seja uma tarefa aparentemente simples, sua concretização às vezes pode ser longa e trabalhosa.

{95} Uma solução radical pretende desqualificar o tempo como a variável que rege o mundo, como uma orquestra é regida por um maestro, com um texto estabelecido *a priori*. Por mais intratável e até mesmo esdrúxula que tal proposta possa parecer, ela pode vir a ser muito em breve um tema fundamental tratado no interior da ciência. O responsável por essa curiosa e inesperada proposição vem, uma vez mais, das teorias de união dos processos gravitacionais com sua quantização.

{96} Tratava-se de uma psicóloga, uma professora de literatura e uma dona-de-casa. Descrevendo agora essas pessoas, percebo que todas são mulheres. Não houve, pelo menos conscientemente, nenhum critério sexista nesta escolha.

{97} Isso era feito através da classificação destes caminhos com a condição de não-físicos, o que, pelo que vimos neste livro, não é uma afirmação que decorre das leis físicas conhecidas.

{98} Ver Mário Novello, *Os jogos da natureza*, Rio de Janeiro, Campus, 2004.

{99} Estas agências, como sabemos, *devem* apresentar-se como organismos extremamente conservadores. A principal razão para isso parece estar ligada, de uma forma que não sou capaz de explicar nem entender, ao fato de que elas usam fundos públicos.