



Figura 3.5 Dois espaços-tempo S e S' que são determinados por conjuntos idênticos de condições iniciais prescritas na superfície do tempo inicial t_0 . No caso (a), o espaço-tempo S está estendido ao máximo, ao passo que em (b) ele é encerrado arbitrariamente em algum tempo futuro t_1 , mas nenhum infinito físico ou outro defeito na estrutura espaço-tempo surge então; o espaço-tempo S' é portanto idêntico a S até o tempo t_1 , mas não existe futuramente a esse momento. Na prática, sempre se supõe que um conjunto dado de condições iniciais leva ao espaço-tempo estendido ao máximo, e não a uma das infinitas alternativas artificiais que são idênticas até algum momento finito e depois deixam de existir, sem nenhuma razão física para tal.

condições iniciais e que é obtido deixando-se o tempo prosseguir até que as equações prevejam uma singularidade. Esse universo *estendido ao máximo* é o candidato natural ao espaço-tempo que efetivamente surge de um conjunto particular de condições iniciais, embora devamos lembrar que, em princípio, qualquer das outras realidades truncadas poderia ser a que existe a partir das condições iniciais de nosso universo. Caso o universo estendido ao máximo não seja o existente, o fim do universo de espaço e tempo poderia de fato chegar a qualquer momento "como um assaltante no meio da noite", sem qualquer aviso ou causa observável.

Apesar de todas essas sutilezas com relação à natureza do tempo, a relatividade geral não conseguiu eliminar a separação tradicional entre leis e condições iniciais. Nossa pilha de espaço-tempo continua tendo uma camada inicial que determina a aparência das outras, no futuro.

O MISTÉRIO QUÂNTICO DO TEMPO

Era um livro para matar o tempo, para os que o preferem morto.

ROSE MACAULEY

Na teoria quântica, o problema do tempo é um mistério ainda maior do que foi para Newton e Einstein. Se ele existir de uma maneira transcendente, não será uma daquelas quantidades sujeitas ao famoso "princípio da incerteza" de Heisenberg; se for definido operacionalmente por outros aspectos intrínsecos de um sistema físico, porém, será indiretamente afetado pelas restrições impostas pela incerteza quântica. Assim sendo, quando se tenta produzir uma descrição quântica da totalidade do universo, podem se antecipar algumas conseqüências inusitadas para o tempo. A mais inusitada foi a afirmação de que uma cosmologia quântica nos permite interpretá-lo como uma descrição de um universo que foi criado do nada.

Os modelos cosmológicos não-quânticos da relatividade geral podem começar num momento passado do tempo, definido com o uso de alguns tipos de relógio. As condições iniciais, que ditam todo o comportamento futuro desse universo, devem ser prescritas nessa singularidade. Mas em cosmologia quântica, a noção de tempo não aparece explicitamente. O tempo é uma construção dos campos de matéria e suas configurações. Uma vez que tenhamos as equações que nos dizem algo sobre o modo como essas configurações mudam à medida que olhamos de uma camada de espaço para outra, seria supérfluo ter também um "tempo". Isso não é muito diferente do modo como um relógio de pêndulo marca o tempo. Os ponteiros simplesmente registram quantas oscilações o pêndulo fez. Não há necessidade de mencionar nada que se chame "tempo". Do mesmo modo, no contexto cosmológico, estamos rotulando as camadas na nossa pilha de espaço-tempo com base na configuração material que cria a geometria intrínseca de cada camada. Na teoria quântica, essa informação sobre a geometria e a configuração material só nos é acessível de modo probabilístico e é codificada em algo que ficou conhecido como a *função de onda do universo*, que passaremos a chamar de W .

A generalização das equações de Einstein para incluir a teoria quântica é um dos grandes problemas da física atual. Um dos caminhos propostos usa uma equação descoberta pelos físicos nor-