

# O fim do mundo

[Texto em português](#) · [Ler no site](#)

## Resumo

Originalmente publicado como: “*The End of the World*”. Texto disponível na íntegra em [/the-end-of-the-world](#).

Por milênios os homens se questionam se o mundo como o conhecemos chegará a um fim e, se isso acontecer, *como* ele terminará. No judaísmo antigo, as especulações a respeito do fim do mundo assumiam a forma de apocaliptismo, a visão de que Deus consumaria o fim da história humana exercendo juízo sobre a vida de cada pessoa e inaugurando seu Reino eterno. Essa perspectiva apocalíptica foi levada para o cristianismo primitivo pelo seu fundador, Jesus de Nazaré. Os cristãos primitivos ansiavam pelo retorno de Cristo em momento desconhecido, no futuro, quando ele inauguraria um novo céu e uma nova terra apropriados para a habitação eterna. Eis como esse evento é descrito no Apocalipse de João, o último livro do Novo Testamento:

Vi também um grande trono branco e o que estava assentado sobre ele; a terra e o céu fugiram de sua presença, e não foi achado lugar para eles. Vi os mortos, grandes e pequenos, em pé diante do trono, e abriram-se alguns livros. Então, abriu-se outro livro, o livro da vida, e os mortos foram julgados pelas coisas que estavam escritas nos livros, segundo as suas obras. O mar entregou os mortos que nele havia, e a morte e o além entregaram também os mortos que neles havia. E eles foram julgados, cada um segundo as suas obras. A morte e o inferno foram jogados no lago de fogo. Esta é a segunda morte, o lago de fogo. E todo aquele que não se achou inscrito no livro da vida foi jogado no lago de fogo.

Então vi um novo céu e uma nova terra. Pois o primeiro céu e a primeira terra já se foram, e o mar já não existe. Vi a cidade santa, a nova Jerusalém, que descia do céu, da parte de Deus, enfeitada como uma noiva preparada para seu noivo. E ouvi uma forte voz, que vinha do trono e dizia: O tabernáculo de Deus está entre os homens, pois habitará com eles. Eles serão o seu povo, e Deus mesmo estará com eles. Ele lhes enxugará dos olhos toda lágrima; e não haverá mais morte, nem pranto, nem lamento, nem dor, porque as primeiras coisas já passaram. — Apocalipse 20.11—21.4

Em razão do seu comprometimento com o apocaliptismo, uma das categorias principais da teologia cristã passou a ser a escatologia. Da palavra grega *eschaton*, que significa último ou final, a escatologia é a doutrina das últimas coisas, incluindo o retorno de Cristo, o último julgamento, o céu e o inferno. Por milênios, a escatologia permaneceu território exclusivo da teologia.

Durante as últimas décadas, tudo isso mudou. Agora, a escatologia passou a ser um ramo da física e, de fato, o próprio termo *escatologia* é a nomenclatura preferida para esse campo de estudo. A escatologia física é subdisciplina da cosmologia, a qual é o estudo da estrutura e evolução de larga escala do universo. Cosmogonia é a subdisciplina que estuda a origem e a história passada do universo. A escatologia, por contraste, é a subdisciplina que explora o futuro e o destino final do universo. Assim como a cosmogonia física olha o tempo retrospectivamente para deduzir a história do cosmos com base nos traços do passado e nas leis da natureza, assim também a escatologia cósmica olha o tempo prospectivamente para prever o

futuro do cosmos com base nas condições do presente e nas leis da natureza. O desafio para os interessados na interligação de teologia e ciência é como chegar a uma perspectiva integrada acerca do futuro do mundo que seja adequada tanto aos interesses da teologia como aos da ciência.

A chave da escatologia física é a segunda lei da termodinâmica. Em meados do século XIX, vários físicos tentaram formular uma lei científica que submetesse a uma regra geral todos os diferentes processos irreversíveis encontrados no mundo. O resultado de seus esforços é agora conhecido como a segunda lei da termodinâmica. Da maneira que foi inicialmente formulada por Clausius, ela declarava que o calor se propaga somente de um ponto de temperatura alta para um ponto de temperatura baixa; no sentido contrário, isso jamais é possível sem que haja compensação. Mas o calor é apenas um exemplo de uma tendência ainda mais geral para o nivelamento na natureza; o mesmo é verdade, por exemplo, para gases e eletricidade. Sem essa tendência geral ao nivelamento, a vida seria totalmente impossível. Por exemplo, por causa desse nivelamento, o ar de uma sala nunca se separa de repente em oxigênio num extremo e nitrogênio no outro. Também é por isso que, ao entrarmos no banho, podemos ter a certeza de que a água estará agradavelmente morna, e não congelada num ponto e fervendo em outro. É fácil constatar que a vida não seria possível em um mundo no qual a segunda lei da termodinâmica não vigorasse.

O físico alemão Ludwig Boltzman aprofundou o nosso entendimento da segunda lei ao mostrar que essa tendência ao nivelamento se fundamenta na tendência de qualquer sistema para passar de um estado menos provável para um mais provável. De acordo com Boltzman, a probabilidade de um estado é uma função da sua ordem: estados mais ordenados são menos prováveis, e estados menos ordenados são mais prováveis. O estado mais provável é, portanto, um estado totalmente desordenado, ou seja, um estado completamente indiferenciado. A segunda lei poderia ser formulada assim: todos os sistemas têm a tendência de passar de um estado mais ordenado para um menos ordenado.

Um terceiro passo importante no desenvolvimento da segunda lei foi a compreensão de que a desordem está associada com a entropia, ou a medida da energia inutilizável: quanto maior a desordem maior a entropia. Isso resultou numa terceira formulação da lei: todos os sistemas têm a tendência de passar de um estado de entropia mais baixa para um estado de entropia mais alta. Para excluir a possibilidade de vazamento de energia de um sistema para o seu entorno ou a possibilidade de aquisição de energia a partir dele, exige-se uma condição adicional: o sistema tem de ser fechado. ISSO leva a uma quarta formulação da segunda lei: em sistemas fechados, processos em andamento espontâneo são sempre acompanhados de um crescimento da entropia. Assim, processos que ocorrem em sistemas fechados tendem a um estado de equilíbrio. A lei nessa forma é praticamente evidente. Para ilustrar: a probabilidade de todas as moléculas em um litro de gás ocuparem somente 99,99% do volume em vez de 100% é cerca de  $1:10^{10(20)}$ . Para todos os propósitos práticos, portanto, a segunda lei da termodinâmica deve ser considerada como certa.

Ora, o interesse do cosmólogo nessa lei tem a ver com o que ela prediz quando aplicada ao universo como um todo. Pois o universo é, ao menos numa visão naturalista, um gigantesco sistema fechado, uma vez que ele é tudo o que existe e não existe nada fora dele. Já no século XIX, os cientistas compreenderam que a aplicação da segunda lei ao universo como um todo implicava uma lúgubre conclusão escatológica: havendo tempo suficiente, o universo atingirá por fim um estado de equilíbrio e sofrerá “morte térmica”. Uma vez que alcance a morte térmica, nenhuma mudança mais é possível. P. J. Zwart descreve tal estado:

[...] de acordo com a segunda lei, o universo todo deve alcançar finalmente um estado de máxima entropia. Ele estará, portanto, em equilíbrio termodinâmico; em toda parte a situação será

exatamente a mesma, com a mesma composição, a mesma temperatura, a mesma pressão, etc., etc. Não haverá mais nenhum objeto, mas o universo consistirá num gás imenso de composição uniforme. Por causa do seu equilíbrio completo, nada absolutamente acontecerá jamais. A única maneira como um processo pode começar num sistema em equilíbrio é por uma ação externa, mas uma ação de fora é obviamente impossível se o sistema em questão for todo o universo. Portanto, no seu futuro estado de entropia máxima, o universo estaria em repouso absoluto e em trevas totais, e nada poderia perturbar o silêncio mortal. Ainda que houvesse a possibilidade de ocorrer um pequeno desvio do estado de equalização absoluta ele se sumiria rapidamente de novo. Uma vez que quase toda a energia teria sido degradada, ou seja, convertida na energia cinética das partículas existentes (calor), esse suposto estado futuro do universo, que também será o seu último estado, é denominado de morte térmica do universo. [1]

Portanto, a consequência da segunda lei é que o universo encara a extinção inevitável.

O advento da teoria da relatividade e a sua aplicação à cosmologia alterou a configuração do cenário escatológico predito com base na segunda lei da termodinâmica, mas não afetou fundamentalmente o resultado. Assumindo-se que não existe nenhuma constante cosmológica positiva alimentando a expansão do universo, essa expansão desacelerará com o passar o tempo. Apresentam-se, então, dois panoramas escatológicos radicalmente diferentes. Se a densidade do universo ultrapassar determinado valor crítico, então o impulso interno da própria gravidade do universo superará finalmente a força de expansão e o universo ruirá sobre si mesmo num feroz *big crunch* [“grande implosão”]. Beatrice Tinsley descreve tal cenário:

Se a densidade média da matéria no universo for grande o bastante, a atração gravitacional mútua entre os corpos finalmente desacelerará a expansão até que ela pare. O universo, então, se contrairá e implodirá numa bola de fogo violento. Não há nenhum mecanismo físico conhecido que possa reverter o catastrófico *big crunch*. Evidentemente, se o universo se torna denso o suficiente, encontra-se em morte térmica. [2]

Se o universo está destinado à recontração, então, à medida que ele se contrai, as estrelas ganham energia, fazendo-as se queimarem mais rapidamente a ponto de finalmente explodirem ou se evaporarem. Como no universo tudo existe muito próximo um do outro, os buracos negros começam a sorver vorazmente tudo ao seu redor, e por fim passam a se aglutinar. Em tempo: “Todos os buracos negros finalmente aglutinam-se em um imenso buraco negro que é coexistente com o universo”, do qual o universo jamais reemergirá. [3] Não há física conhecida que possa permitir ao universo retornar a uma nova expansão anterior à singularidade final ou a passar através da singularidade para um estado subsequente.

Por outro lado, se a densidade do universo for igual ou menor do que o valor crítico, a gravidade não superará a força de expansão e o universo se expandirá para sempre em ritmo progressivamente mais lento. Tinsley descreve o destino desse universo:

Se o universo tiver baixa densidade, a sua morte será fria. Ele se expandirá para sempre em ritmo cada vez mais lento. As galáxias converterão todo o seu gás em estrelas e as estrelas queimarão até se apagarem. Nosso próprio sol se tornará um remanescente frio e morto flutuando em meio aos cadáveres de outras estrelas numa Via Láctea cada vez mais isolada. [4]

Dentro de 1030 anos, o universo consistirá de 90% de estrelas mortas, 9% de buracos negros supermaciços formados por galáxias implodidas, e 1% de matéria atômica, principalmente hidrogênio. A física das partículas elementares sugere que, depois disso, os prótons decairão para elétrons e pósitrons, de modo que o espaço ficará cheio de um gás rarefeito tão diluído que a distância entre um elétron e um próton será aproximadamente do tamanho da galáxia atual. Daqui a 10100 anos, alguns cientistas acreditam que os próprios buracos negros se dissiparão em decorrência de um estranho efeito predito pela mecânica quântica. A massa e a energia associadas a um buraco negro deformam o espaço de tal maneira que criam um “túnel” ou “buraco de minhoca” através do qual a massa e a energia são ejetadas em outra região do espaço. À proporção que a massa de um buraco negro decresce, sua perda de energia se acelera a ponto de se dissipar finalmente em radiação e partículas elementares. No final, todos os buracos negros se evaporarão completamente e toda a matéria no universo sempre em expansão será reduzida a um tênue gás de partículas e radiação elementares. Devido ao volume constantemente crescente do espaço, o universo jamais chegará de fato ao equilíbrio, uma vez que haverá sempre mais espaço para a produção de entropia. Apesar disso, o universo se tornará cada vez mais frio, escuro, diluído e morto.

Descobertas bem recentes fornecem evidências vigorosas de que existe efetivamente uma constante cosmológica que faz a expansão cósmica acelerar, em vez de desacelerar. Paradoxalmente, uma vez que o volume do espaço cresce exponencialmente, permitindo mais espaço para a posterior produção de entropia, na verdade, com o passar do tempo, o universo fica cada vez mais distante de um estado de equilíbrio. Mas a aceleração apenas apressa a desintegração do cosmos em partículas materiais cada vez mais isoladas não mais ligadas de maneira causal com remanescentes do universo em expansão igualmente abandonados. Portanto, o futuro soturno predito com base na segunda lei permanece fundamentalmente inalterado.

A reflexão acerca dessa conclusão escatológica levou alguns filósofos a questionar o sentido da própria vida. Numa célebre passagem, o filósofo britânico Bertrand Russell lamentou:

Que o homem é produto de causas que não tinham previsão do fim que alcançariam; que sua origem, seu crescimento, suas esperanças e temores, seus amores e crenças, são apenas consequências do posicionamento acidental de átomos; que nenhum fogo, nenhum heroísmo, nenhuma intensidade de pensamento e sentimento, tem o poder de preservar a vida de alguém além da sepultura; que todos os labores das eras, toda devoção, toda inspiração, todo brilhantismo meridiano do gênio humano estão destinados à extinção na morte desmedida do sistema solar, e que todo o templo da conquista humana tem de ser inevitavelmente sepultado sob os escombros de um universo em ruínas — todas essas coisas, senão totalmente indiscutíveis, são quase tão infalíveis que nenhum filósofo que as rejeita pode ter a esperança de durar. Somente cercada pelos andaimes dessas verdades, somente sobre o firme fundamento da obstinada falta de esperança, é possível, de agora em diante, edificar de maneira segura a habitação da alma. [5]

Uma imagem realmente desoladora, mas, como Freeman Dyson nos lembra, as previsões da escatologia física estão sujeitas à condição de que agentes racionais não interfiram nos processos naturais vislumbrados. [6] Se os seres inteligentes forem significativamente capazes de manipular processos naturais, o futuro real do cosmos poderá parecer bem diferente da trajetória predita com base nas leis e condições atuais. A própria tentativa de Dayson para montar um cenário pelo qual agentes imanentes possam protelar a extinção é, sem dúvida, desesperada e implausível. [7] Mas por que deveríamos restringir a nossa atenção a agentes imanentes? Os teístas acreditam na existência de um ser inteligente que é o Criador do universo espaço-temporal e que transcende as leis que governam a criação física. Na visão

cristã, Deus consumará o fim da história humana e do cosmos atual quando ele achar apropriado (Mc 14.32; Mt. 24.43; 1Ts 5.2; Hb 1.10-12; 2Pe 3.10; Ap 3.3). Ele não permitirá que ocorram eventos preditos com base nas tendências atuais ainda num futuro relativamente próximo, como a extinção da raça humana, muitos menos eventos num futuro insondavelmente distante, como a extinção estelar ou a decomposição do próton. Antes que seja possível acontecer esses eventos, Deus agirá para pôr fim à história humana e introduzir os novos céus e a nova terra (1Co 15.51-52; 1Ts 4.15-17; Ap 21.1).

A escatologia teológica, portanto, considera os achados da escatologia física, na melhor hipótese, como *projeções* do curso dos eventos futuros, e não como descrições reais. Elas nos dizem com exatidão aproximada o que aconteceria se agentes inteligentes não interferissem. Assim, os achados da escatologia física não são de nenhum modo incompatíveis com a escatologia cristã, uma vez que envolvem condições implícitas de que tudo o mais não se altera com respeito às ações de seres inteligentes, inclusive de Deus.

Obviamente, os escatólogos físicos talvez perguntem se há alguma razão para considerar com seriedade a hipótese de um agente transcendente racional com o poder indispensável sobre o curso da natureza para afetar as trajetórias projetadas da escatologia física. É curioso, mas a própria escatologia física supre os fundamentos para se levar a sério essa hipótese. Conforme vimos, já no século XIX, os cientistas compreenderam que a aplicação da segunda lei da termodinâmica ao universo como um todo significava que ele chegaria futuramente a um estado de equilíbrio e sofreria morte térmica. Mas essa projeção aparentemente firme fez surgir uma questão ainda mais profunda: se, havendo tempo suficiente, o universo sofrerá morte térmica, então por que, se sempre existiu, não está ele agora em estado de morte térmica? Se, num período finito de tempo, o universo chegará inevitavelmente ao equilíbrio, então ele já deveria estar em equilíbrio agora, se tem existido por tempo infinito. À semelhança de um relógio mecânico, ele agora deveria estar sem corda. Uma vez que ainda não perdeu a corda, isso quer dizer, nas palavras de Richard Schlegel: “De algum modo, o universo teria de estar *sem corda*”. [8]

Ludwig Boltzman apresentou uma proposta ousada para explicar por que não encontramos o universo em estado de morte térmica ou equilíbrio termodinâmico. [9] Ele sugeriu a hipótese de que o universo como um todo existe, de fato, em estado de equilíbrio, mas no decorrer do tempo ocorrem flutuações do nível de energia aqui e ali no universo inteiro, de modo que, exclusivamente por acaso, há áreas isoladas onde existe desequilíbrio. Boltzman referiu-se a essas regiões isoladas como “mundos”. Não deveríamos nos surpreender por vermos nosso mundo em estado altamente improvável de desequilíbrio, sustentava ele, uma vez que no conjunto de todos os mundos devem existir por puro acaso alguns mundos em desequilíbrio, e coincidentemente o nosso é um deles. [10]

O problema com a ousada hipótese de muitos mundos de Boltzman é que, se nosso mundo fosse meramente uma flutuação num mar de energia difusa, então, é esmagadoramente mais provável que deveríamos estar observando uma região de desequilíbrio muito mais tênue do que agora. Para existirmos, uma flutuação menor teria sido suficiente e muito mais provável do que uma tão grande como a do universo observável. Além disso, até mesmo uma flutuação colossal que produzisse nosso mundo instantaneamente mediante acidente gigantesco é inestimavelmente mais provável do que o declínio progressivo da entropia durante bilhões de anos para formar o mundo que vemos. De fato, caso seja adotada, a hipótese de Boltzman nos forçaria a considerar o passado como ilusório, todas as coisas tendo mera aparência de envelhecimento, e as estrelas e os planetas como ilusórios, como se fossem meras “imagens”, uma vez que essa espécie de mundo é muitíssimo mais provável, dado o estado de equilíbrio geral, do que um mundo com eventos genuínos, temporal e espacialmente distantes. Por isso, a hipótese de

muitos mundos de Boltzman tem sido rejeitada universalmente pela comunidade científica e considera-se que o desequilíbrio atual seja apenas resultado de uma condição de entropia inicialmente baixa obtida misteriosamente no começo do universo.

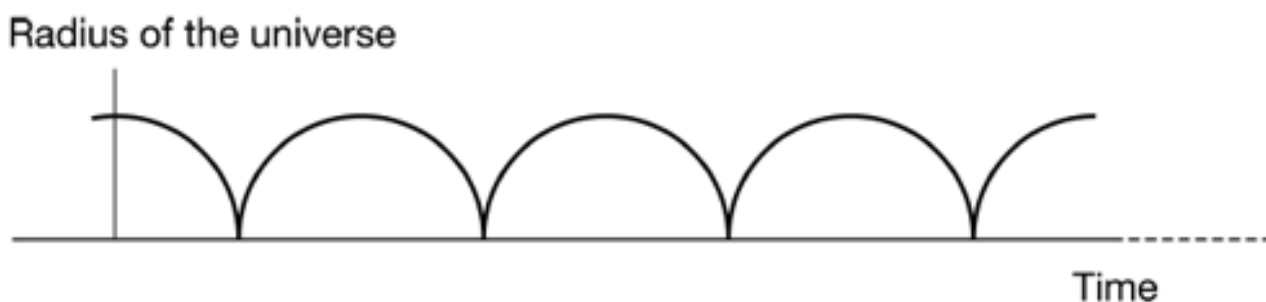
Como vimos, a aplicação da teoria da relatividade à cosmologia tem alterado a configuração do cenário escatológico predito com base na segunda lei, mas não tem afetado materialmente o dilema fundamental. Por isso, persiste a mesma pergunta específica levantada pelos físicos clássicos: por que, se o universo sempre existiu, ele agora não está em estado frio, escuro, diluído e sem vida? Em contraste com os seus precursores do século XIX, os físicos contemporâneos têm chegado a questionar a suposição implícita de que o universo é eterno no passado. P. C. W. Davies relata:

Poucos cosmólogos, hoje, duvidam que o universo, ao menos como o conhecemos, teve origem num momento finito do passado. A alternativa — de que o universo sempre existiu de uma forma ou de outra — incorre em paradoxo um tanto básico. O sol e as estrelas não podem continuar inflamados para sempre: mais cedo ou mais tarde ficarão sem combustível e morrerão.

A mesma verdade se aplica a todo processo físico irreversível; o estoque de energia disponível no universo para acioná-los é finito e não pode durar pela eternidade. Isso é exemplo da chamada segunda lei da termodinâmica, a qual, aplicada ao cosmos inteiro, prediz que ele está emperrado em declive unidirecional de degeneração e decomposição rumo a um estado final de entropia máxima, ou de desordem. Uma vez que esse estado final ainda não foi alcançado, deduz-se que o universo não pode ter existido por um tempo infinito. [11]

Davies conclui: “O universo não pode ter existido para sempre. Sabemos que deve ter havido um começo absoluto num tempo finito no passado”. [12]

Nas décadas de 1960 e 1970, alguns cosmólogos tentaram escapar dessa conclusão pela adoção de um modelo oscilante do universo, que nunca começou a existir nem jamais atinge um estado final de equilíbrio. [13] Se a atração gravitacional interna da massa do universo fosse capaz de superar a força da sua expansão, então a expansão poderia ser revertida numa contração cósmica, num *big crunch*. Se o universo não fosse homogêneo e isotrópico, não deveria, no processo de implosão, aglutinar-se em um ponto, mas seus conteúdos materiais poderiam passar um pelo outro, de modo que o universo pareceria se recuperar de uma contração entrando numa nova fase de expansão. Se esse processo pudesse se repetir indefinidamente, então o universo poderia ser eterno, tanto no passado como no futuro (Fig. 1).



Radius of the universe = Raio do universo / Time = Tempo

Fig. 1: O modelo oscilante. Cada fase de expansão é precedida e sucedida por uma fase de contração, para que o universo, ao modo de um acordeão, exista sem começo e sem fim.

Tal teoria não era só extraordinariamente especulativa, mas as probabilidades desse modelo foram gravemente obscurecidas em 1970 por Roger Penrose e Stephen Hawking ao formularem os teoremas da singularidade, que foram batizados com os nomes deles. [14] Os teoremas revelavam que sob muitas condições generalizadas uma singularidade cosmológica inicial (ou ponto de partida) é inevitável, mesmo para universos não homogêneos e não isotrópicos. Refletindo acerca do impacto dessa descoberta, Hawking destaca que os teoremas da singularidade Hawking-Penrose “levaram ao abandono das tentativas (principalmente pelos russos) de defender que existiu uma fase prévia de contração e uma recuperação não singular para a expansão. Em vez disso, quase todos agora acreditam que o universo, e o próprio tempo, tiveram começo no *big bang*”. [15]

Totalmente à parte dessas dificuldades, as propriedades termodinâmicas desse modelo revelaram que elas causavam exatamente o problema que seus proponentes procuravam evitar. Pois, nesse modelo, a entropia é conservada de ciclo em ciclo, cujo efeito gera oscilações mais amplas e mais longas em cada ciclo sucessivo (Fig. 2).

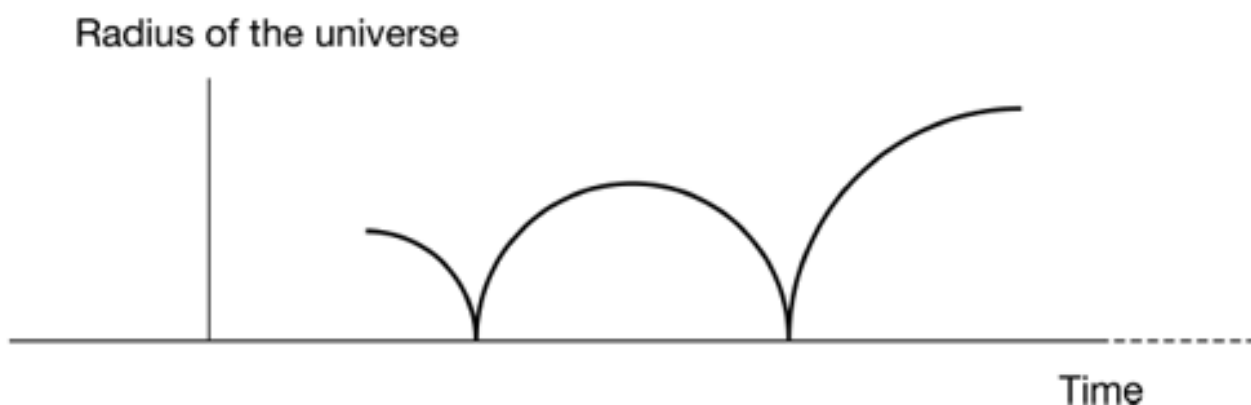


Fig. 2: Modelo oscilante com aumento de entropia. Por causa da conservação da entropia, cada oscilação sucessiva tem raio e expansão de tempo maiores.

Como esclarece uma equipe científica: “O efeito da produção de entropia será ampliar a escala cósmica de ciclo em ciclo [...] Assim, examinando-se o tempo retroativamente, cada ciclo gerou menos entropia, teve um ciclo temporal mais curto e um fator de expansão do ciclo menor do que o do ciclo que o sucedia”. [16] Logo, à proporção que são rastreadas retrospectivamente no tempo, as oscilações tornam-se progressivamente menores até que se alcance a primeira e menor de todas as oscilações. Zeldovich e Novikov, portanto, concluem: “O modelo de múltiplos ciclos tem um futuro infinito, mas somente um passado finito”. [17] De fato, o astrônomo Joseph Silk estima, com base nos níveis atuais de entropia, que o universo não pode ter passado por mais de cem oscilações anteriores. [18]

Mesmo que essa dificuldade fosse evitada, um universo oscilando desde a eternidade passada exigiria um ajuste infinitamente preciso das condições iniciais para conseguir persistir ao longo de um número infinito de recuperações sucessivas. Um universo ricocheteando de uma contração única e infinitamente longa é, se a entropia aumenta durante a fase de contração, termodinamicamente insustentável e incompatível com a baixa entropia da condição inicial da nossa fase de expansão. Postular a diminuição da entropia durante a fase de contração apenas para escapar desse problema exigiria que postulássemos condições de baixa entropia especialmente inexplicáveis no momento da recuperação na vida de um universo infinitamente

evolutivo. Em ambos os casos, um universo assim envolveria um ajuste fino radical de tipo especialíssimo, uma vez que as condições iniciais estão estabelecidas em menos infinito. [19]

Para evitar a inferência de que o universo não existe eternamente é, portanto, indispensável encontrar algum modo cientificamente plausível que derrube as predições da escatologia física para permitir que o universo retorne finalmente a uma condição jovem, como a que observamos. Mas parece que não vai surgir nenhum cenário realista e plausível.

Por exemplo, o cosmólogo russo Andrei Linde já propôs que o modelo de um universo que se inflaciona eternamente para o futuro deve também se estender infinitamente para o passado, o resultado dessa pr