

**STEPHEN  
HAWKING  
O UNIVERSO  
NUMA CASCA  
DE NOZ**



O universo numa casca de noz



# O universo numa casca de noz

*Stephen Hawking*

Tradução de Cássio de Arantes Leite

Revisão técnica de Amâncio Friaça  
*Astrofísico do Instituto de Astronomia, Geofísica e  
Ciências Atmosféricas da USP*



Copyright © 2001 by Stephen Hawking  
Ilustrações originais © 2001 by Moonrunner Design Ltd. UK e  
The Book Laboratory™ Inc.

TÍTULO ORIGINAL  
The Universe in a Nutshell

REVISÃO  
Carolina Rodrigues  
Daniel Seidl de Moura

DIAGRAMAÇÃO  
ô de casa

ILUSTRAÇÕES  
Moonrunner Design Ltd. UK e The Book Laboratory™ Inc.

CIP-BRASIL. CATALOGAÇÃO NA FONTE  
SINDICATO NACIONAL DOS EDITORES DE LIVROS, RJ  
H325u

Hawking, Stephen  
O universo numa casca de noz/Stephen Hawking, tradução Cássio  
de Arantes Leite. - 1. ed. - Rio de Janeiro: Intrínseca, 2016.

224 p.: il.; 24 cm.  
Tradução de: The universe in a nutshell  
Inclui índice  
ISBN 978-85-8057-888-1

1. Física quântica. I. Título.

15-28098

CDD: 530.12  
CDU: 530.145

[2016]

*Todos os direitos desta edição reservados à*

EDITORA INTRÍNSECA LTDA.  
Rua Marquês de São Vicente, 99/3ª andar  
22451-041 – Cávaa  
Rio de Janeiro – RJ  
Tel./Fax: (21) 3206-7400  
www.intrinseca.com.br

## S U M Á R I O

PREFÁCIO ~ 7

CAPÍTULO 1 ~ 11

Uma breve história da relatividade

*Como Einstein lançou as bases das duas teorias fundamentais do século XX:  
a relatividade geral e a teoria quântica.*

CAPÍTULO 2 ~ 37

A forma do tempo

*A relatividade geral de Einstein dá forma ao tempo. Como conciliar isso com a teoria quântica.*

CAPÍTULO 3 ~ 75

O universo numa casca de noz

*O universo tem múltiplas histórias, cada uma determinada por uma noz minúscula.*

CAPÍTULO 4 ~ 109

Previendo o futuro

*Como a perda de informação nos buracos negros pode reduzir nossa capacidade de prever o futuro.*

CAPÍTULO 5 ~ 139

Protegendo o passado

*A viagem no tempo é possível? Uma civilização avançada poderia voltar e mudar o passado?*

CAPÍTULO 6 ~ 163

Nosso futuro? *Jornada nas Estrelas* ou não?

*Como as vidas biológica e eletrônica continuarão a ganhar complexidade a uma taxa cada vez maior.*

CAPÍTULO 7 ~ 181

Admirável mundo brana

*Vivemos em uma brana ou não passamos de hologramas?*

Glossário ~ 210

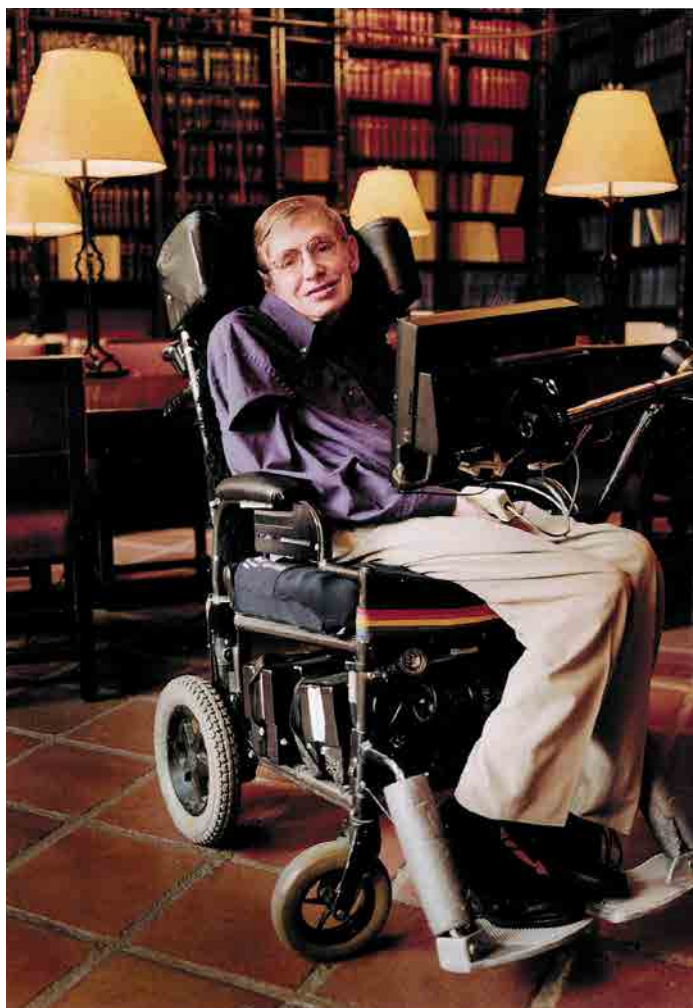
Sugestões de leitura ~ 217

Créditos das imagens ~ 218

Índice ~ 219



*Stephen Hawking em*  
2004, © Stewart Cohen.







## P R E F Á C I O

**E**U NÃO ESPERAVA QUE *UMA BREVE HISTÓRIA DO TEMPO*, MEU livro de divulgação científica, fizesse tamanho sucesso. A obra permaneceu na lista de best-sellers do jornal londrino *The Sunday Times* por mais de quatro anos, o que é mais tempo do que qualquer outro livro já tinha ficado anteriormente e algo surpreendente para uma obra sobre ciência cuja leitura não é tão fácil. Depois disso, as pessoas sempre me perguntavam quando eu escreveria uma sequência. Eu resistia porque não queria escrever *O filho da breve história* ou *Uma história do tempo um pouco mais longa*, e porque estava ocupado com minha pesquisa. Porém acabei percebendo que existia espaço para um tipo diferente de livro, talvez de compreensão mais fácil. *Uma breve história do tempo* foi organizado de forma linear, com a maioria dos capítulos em sequência e dependendo logicamente dos capítulos anteriores. Isso agradou a alguns leitores, mas outros ficaram empacados nos primeiros capítulos e nunca chegaram ao material mais interessante adiante. O presente livro, por outro lado, está mais para uma árvore. Os Capítulos 1 e 2 formam um tronco central a partir do qual os demais se ramificam.

Esses ramos são razoavelmente independentes entre si e podem ser lidos em qualquer ordem depois do tronco central. Correspondem a campos em que trabalhei ou sobre os quais refleti desde a publicação de *Uma breve história do tempo*. Assim, apresentam um retrato de algumas das áreas mais ativas na pesquisa atual. Dentro de cada capítulo também tentei evitar uma única estrutura linear. As ilustrações e suas legendas oferecem uma rota alternativa ao texto, como na edição especial ilustrada de *Uma breve história do tempo*, publicada em 1996, e os boxes, ou colunas laterais, proporcionam a oportunidade de investigar certos assuntos em mais detalhes do que é possível no texto principal.

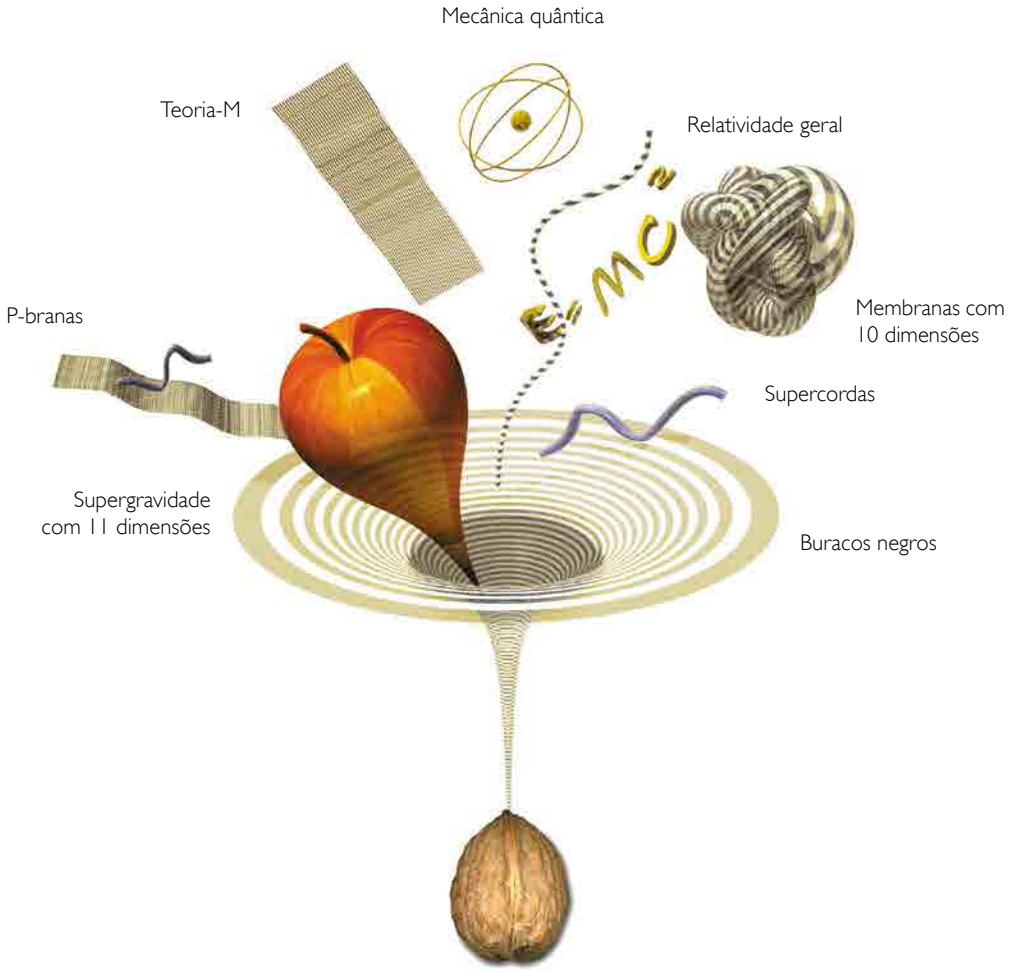


Em 1988, quando *Uma breve história do tempo* foi publicado, a Teoria de Tudo definitiva parecia estar logo ali, no horizonte. Até que ponto a situação mudou desde então? Estamos mais próximos de nossa meta? Como será descrito neste livro, avançamos bastante depois disso. Entretanto, a viagem continua em curso, e o fim ainda não está à vista. Segundo um velho ditado, é melhor viajar com esperança do que chegar ao destino. A busca por descobertas estimula nossa criatividade em todos os campos, não apenas na ciência. Se chegássemos ao fim da linha, o espírito humano feneceria e morreria. Mas acho que nunca vamos ficar estagnados: devemos crescer em complexidade, quando não em profundidade, e seremos sempre o centro de um horizonte de possibilidades em expansão.

Quero partilhar minha empolgação pelas descobertas que estão sendo feitas e pelo retrato da realidade que vem surgindo. Concentrei-me em áreas com as quais trabalhei pessoalmente devido a um sentimento de maior envolvimento. Os detalhes do trabalho são muito técnicos, porém acredito que as ideias amplas podem ser transmitidas sem excesso de bagagem matemática. Espero ter conseguido.

Recebi um bocado de ajuda com este livro. Gostaria de mencionar em especial Thomas Hertog e Neel Shearer, pela contribuição nas ilustrações, legendas e boxes, Ann Harris e Kitty Ferguson, que editaram o manuscrito (ou, mais precisamente, os arquivos de computador, porque tudo que escrevo é eletrônico), Philip Dunn, do Book Laboratory and Moonrunner Design, que criou as ilustrações. Mas, acima de tudo, quero agradecer a todos que tornaram possível para mim levar uma vida razoavelmente normal e prosseguir com a pesquisa científica. Sem eles, este livro não poderia ter sido escrito.

Stephen Hawking  
Cambridge, 2 de maio de 2001





# CAPÍTULO 1

## UMA BREVE HISTÓRIA DA RELATIVIDADE

*Como Einstein lançou as bases das duas teorias fundamentais do  
século XX: a relatividade geral e a teoria quântica.*



Professor Einstein



Albert Einstein™

LOW



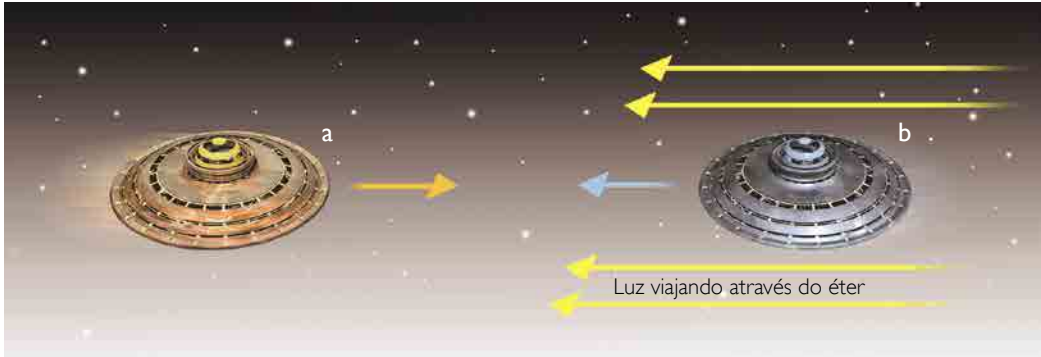
**A**LBERT EINSTEIN, DESCOBRIDOR DAS TEORIAS DA RELATIVIDADE restrita e geral, nasceu em Ulm, na Alemanha, em 1879, mas no ano seguinte sua família se mudou para Munique, onde o pai, Hermann, e o tio, Jakob, começaram uma pequena e não muito bem-sucedida empresa de equipamentos elétricos. Albert não era nenhum menino prodígio, porém as afirmações de que se saía mal na escola parecem exageradas. Em 1894, o negócio de seu pai faliu e a família mudou-se para Milão. Os pais decidiram que ele deveria ficar em Munique para terminar os estudos, contudo o menino não gostou do autoritarismo do colégio e meses depois foi ao encontro da família na Itália. Mais tarde, em 1900, completou seus estudos em Zurique, formando-se na prestigiosa Escola Politécnica Federal, conhecida como ETH. A natureza contenciosa de Einstein e seu desprezo pela autoridade não lhe granjearam o apreço dos professores na ETH, e nenhum deles lhe ofereceu um cargo de assistente, que seria o caminho normal para uma carreira acadêmica. Após dois anos, ele enfim conseguiu um cargo modesto no escritório suíço de patentes, em Berna. Foi nesse emprego que, em 1905, Einstein escreveu três artigos que não apenas o estabeleceram como um dos principais cientistas do mundo, mas também deram início a duas revoluções conceituais, que transformaram nossa compreensão do tempo, do espaço e da própria realidade.

Próximo ao final do século XIX, os cientistas acreditavam estar perto de uma descrição completa do universo. Imaginavam que o espaço era preenchido por um meio contínuo chamado "éter". Raios luminosos e sinais de rádio eram ondas nesse éter, assim como o som são ondas de pressão no ar. Para se chegar a uma teoria completa só faltava haver medições cuidadosas das propriedades elásticas do éter. Na verdade, antecipando tais medições, o Jefferson Lab, na Universidade de Harvard, foi todo construído sem nenhum prego de ferro, de modo a não interferir nas delicadas medições magnéticas. Entretanto, os projetistas esqueceram que os tijolos avermelhados com os quais o laboratório e a maior parte de Harvard foram construídos contêm grandes quantidades de ferro. O prédio continua em uso até hoje, embora a universidade ainda não tenha muita certeza de quanto peso um assoalho de biblioteca sem pregos pode suportar.



Albert Einstein™

*Albert Einstein em 1920.*



(FIG. 1.1, acima)  
A TEORIA DO ÉTER FIXO

Se a luz fosse uma onda em um material elástico chamado éter, a velocidade da luz deveria parecer mais elevada para uma pessoa em uma espaçonave (a) deslocando-se em direção a ela e mais baixa em uma espaçonave (b) viajando na mesma direção da luz.

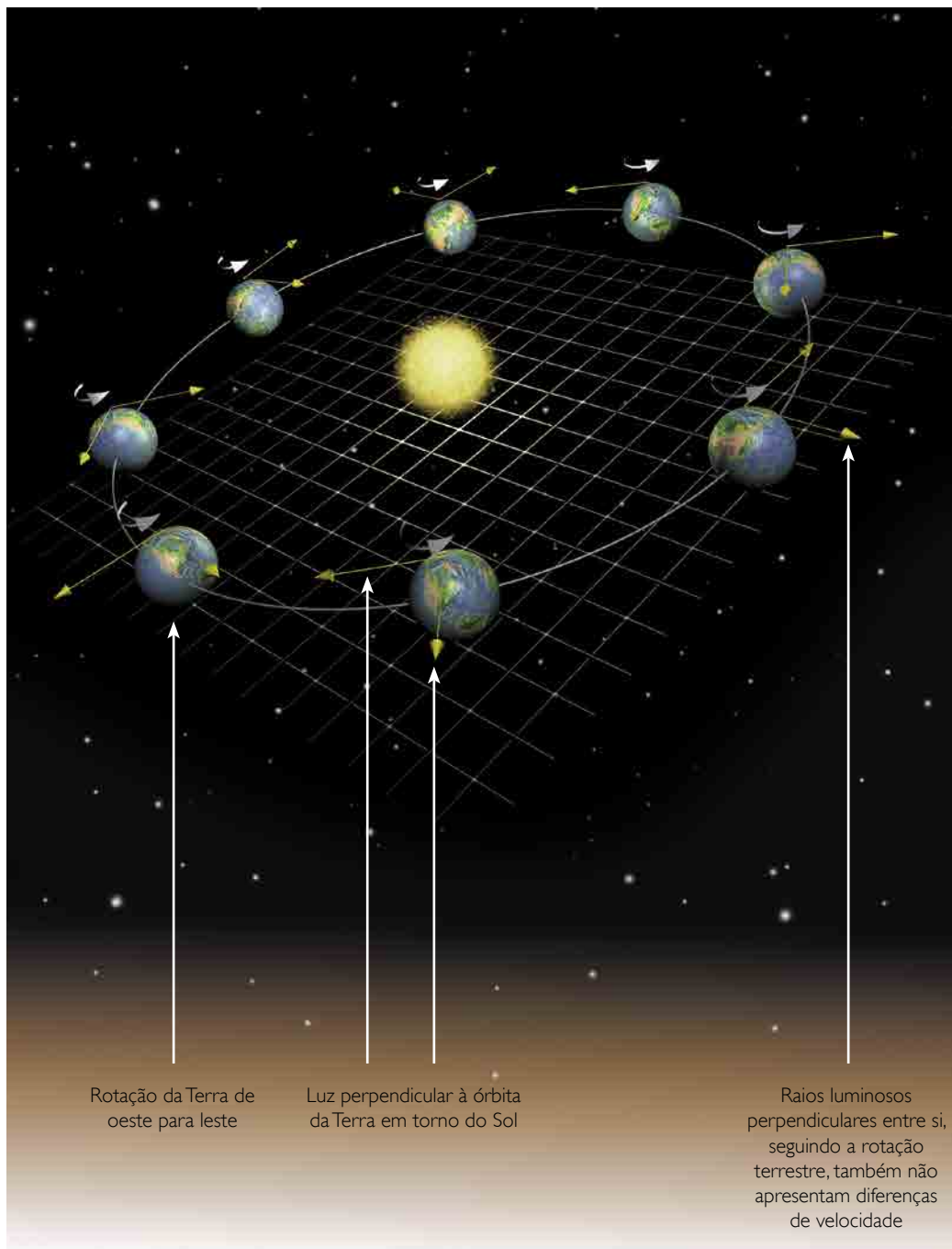
(FIG. 1.2, página ao lado)  
Nenhuma diferença foi encontrada entre a velocidade da luz em direção à órbita terrestre e em uma direção perpendicular a ela.

No fim do século, começaram a surgir discrepâncias na ideia de um éter onipresente. Esperava-se que a luz viajasse a uma velocidade fixa através do éter, mas que, ao viajarmos através do éter na mesma direção que a luz, a velocidade da luz parecesse menor e, ao viajarmos na direção oposta à luz, a velocidade da luz parecesse maior (Figura 1.1).

Contudo, uma série de experimentos foi incapaz de sustentar essa ideia. O mais cuidadoso e preciso desses experimentos foi realizado por Albert Michelson e Edward Morley, na Case School of Applied Science, em Cleveland, Ohio, em 1887. Eles compararam a velocidade da luz em dois feixes perpendiculares entre si. À medida que a Terra gira em torno de seu eixo e orbita o Sol, o dispositivo se move através do éter com velocidade e direção variadas (Figura 1.2). No entanto, Michelson e Morley não encontraram diferenças diárias ou anuais entre os dois feixes de luz. Era como se a luz viajasse sempre à mesma velocidade em relação ao observador, independentemente da velocidade e da direção em que o observador estivesse se deslocando (Figura 1.3, página 16).

Com base no experimento de Michelson-Morley, o físico irlandês George FitzGerald e o físico holandês Hendrik Lorentz sugeriram que corpos movendo-se através do éter se contrairiam e que os relógios andariam mais devagar. Essa contração e o retardamento dos relógios seriam tais que todas as pessoas teriam uma mesma medição para a velocidade da luz, a despeito de como estivessem se deslocando em relação ao éter (FitzGerald e Lorentz ainda viam o éter como uma substância real). Entretanto, em um artigo escrito em junho de 1905, Einstein notou que, se o observador não

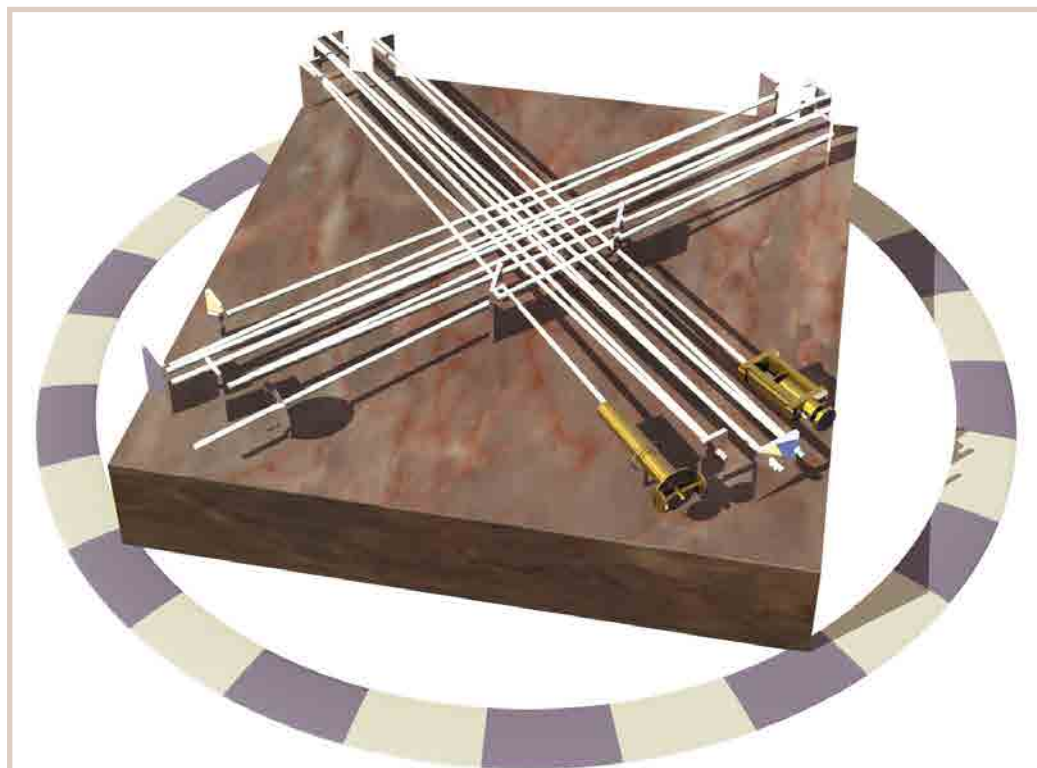




Rotação da Terra de oeste para leste

Luz perpendicular à órbita da Terra em torno do Sol

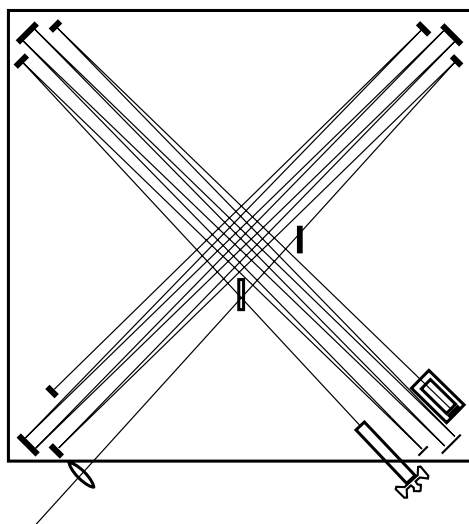
Raios luminosos perpendiculares entre si, seguindo a rotação terrestre, também não apresentam diferenças de velocidade

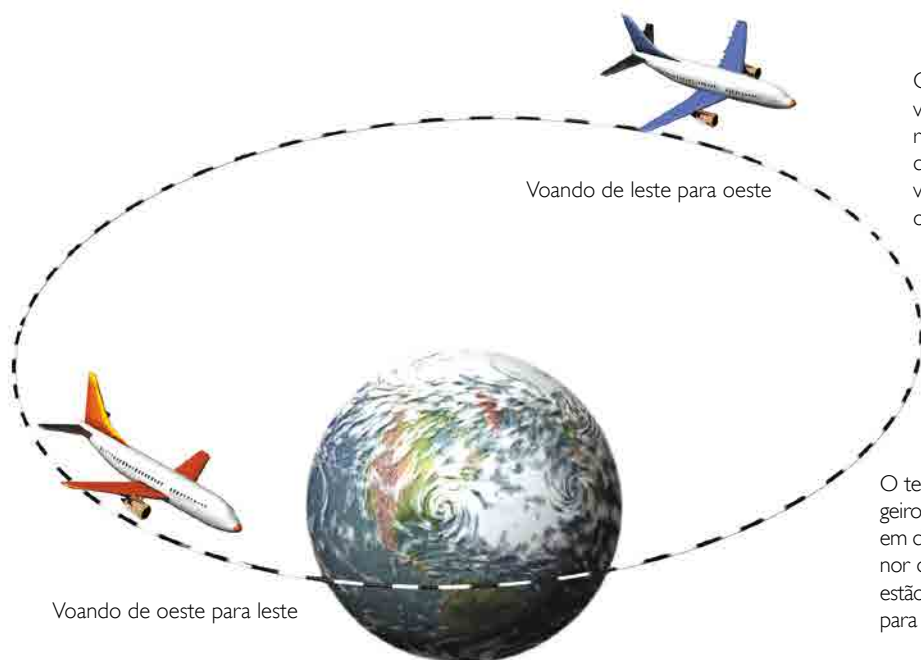


(Fig. 1.3) MEDINDO A VELOCIDADE DA LUZ

No interferômetro de Michelson-Morley, a luz de uma fonte é dividida em dois feixes por um espelho semitransparente. Os dois feixes luminosos viajam perpendicularmente entre si e depois se combinam em um único feixe ao atingir o espelho semitransparente outra vez. Uma diferença na velocidade da luz viajando nas duas direções poderia fazer com que as cristas de onda de um feixe chegassem ao mesmo tempo que os vales de onda do outro e os anulassem.

*Direita:* Diagrama do experimento reconstruído a partir do que apareceu na *Scientific American* de 1887.





O relógio no avião voando para oeste registra mais tempo do que seu gêmeo viajando na direção oposta.

O tempo para os passageiros no avião voando em direção a leste é menor do que para os que estão no avião voando para oeste.

pudesse detectar se estava ou não se deslocando através do espaço, o conceito de éter seria supérfluo. Em vez disso, ele partiu do postulado de que as leis da ciência deveriam parecer as mesmas para todos os observadores se movendo livremente. Em particular, todos deveriam calcular a mesma velocidade para a luz, não importando a rapidez com que se movessem. A velocidade da luz independe do movimento do observador e é a mesma em todas as direções.

Para tal, foi necessário abandonar a ideia de que havia uma grandeza chamada tempo que todos os relógios deveriam medir. Em vez disso, cada pessoa teria seu próprio tempo. Os tempos de dois observadores iriam corresponder se eles estivessem em repouso em relação um ao outro, mas não se estivessem se movendo.

Isso foi confirmado por uma série de experimentos, incluindo um em que dois relógios atômicos foram colocados em aviões voando em direções opostas ao redor do mundo e ao regressar mostraram tempos ligeiramente diferentes (Figura 1.4). Tal experimento pode sugerir que, se alguém quiser viver mais tempo, deve se manter viajando sempre para leste, de modo que a velocidade do avião seja acrescentada à rotação da Terra. Contudo, o ganho de uma minúscula fração de segundo na vida da pessoa seria mais do que anulado pela ingestão da comida servida pelas companhias aéreas.

(Fig. 1.4)

Uma versão do paradoxo dos gêmeos (Fig. 1.5, página 18) foi testada experimentalmente com dois relógios atômicos sendo transportados por avião em direções opostas ao redor do mundo.

Quando voltaram a se encontrar, o relógio que voou para leste havia registrado ligeiramente menos tempo.



(Fig. 1.5, à esquerda)

O PARADOXO DOS GÊMEOS

Na teoria da relatividade, cada observador tem sua própria medida de tempo. Isso pode levar ao chamado paradoxo dos gêmeos.

Um dos gêmeos (a) parte em uma viagem espacial na qual se aproxima da velocidade da luz (c), enquanto seu irmão (b) permanece na Terra.

Devido ao movimento do primeiro irmão, o tempo anda mais devagar na espaçonave, do ponto de vista do irmão que ficou para trás. Assim, quando a nave volta, o viajante espacial (a2) descobre que seu irmão (b2) envelheceu mais do que ele.

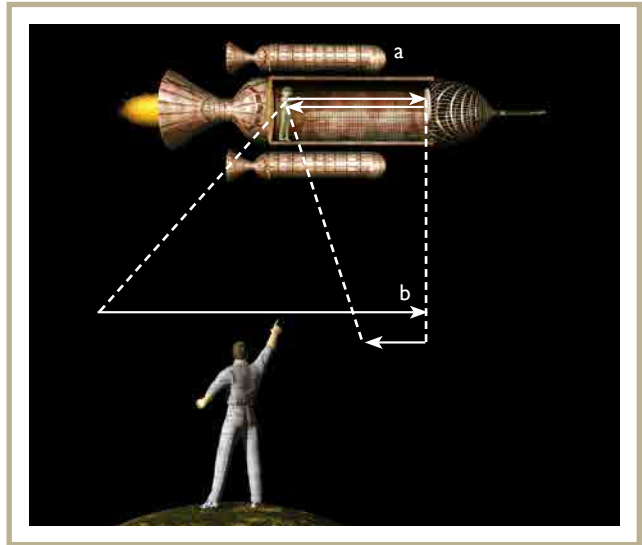
Embora isso pareça contrariar o bom senso, uma série de experimentos sugeriu que nesse cenário o gêmeo viajando de fato estaria mais jovem.

(Fig. 1.6, à direita)

Uma espaçonave passa pela Terra da esquerda para a direita a quatro quintos da velocidade da luz. Um pulso luminoso é emitido em uma ponta da cabine e refletido na outra ponta (a).

A luz é observada por pessoas na Terra e na espaçonave. Devido ao movimento da espaçonave, elas vão discordar quanto à distância que a luz viajou ao ser refletida de volta (b).

Logo, elas devem discordar também quanto ao tempo que a luz levou, pois, segundo o postulado de Einstein, a velocidade da luz é a mesma para todos os observadores movendo-se livremente.



O postulado de Einstein de que as leis da natureza devem parecer as mesmas para todos os observadores se deslocando livremente foi a base para a teoria da relatividade, assim chamada porque sugeria que apenas o movimento relativo era importante. A beleza e a simplicidade da teoria convenceram muitos pensadores, mas uma boa dose de oposição perdurou. Einstein jogara por terra dois absolutos da ciência do século XIX: o repouso absoluto, como representado pelo éter, e o tempo absoluto ou universal que seria medido por todos os relógios. Muita gente achou isso um conceito perturbador. Acaso significaria, perguntavam, que *tudo* era relativo, que não havia padrões morais absolutos? O incômodo continuou ao longo das décadas de 1920 e 1930. Quando Einstein recebeu o Prêmio Nobel, em 1921, a nomeação foi por um trabalho importante, mas (para seus padrões) comparativamente menor, também realizado em 1905. Não houve menção à relatividade, que era considerada controversa demais. (Até hoje recebo de duas a três cartas por semana me dizendo que Einstein estava errado.) Todavia, a teoria da relatividade é hoje completamente aceita pela comunidade científica, e suas previsões já foram verificadas em incontáveis aplicações.

“O universo é realmente infinito ou apenas muito grande? E é eterno ou apenas de longa duração? Como nossas mentes finitas abrangem um universo infinito? Não é presunção de nossa parte até mesmo tentar fazê-lo? Corremos o risco de conhecer o mesmo destino de Prometeu, que na mitologia clássica roubou o fogo de Zeus para dá-lo aos humanos e foi punido por sua temeridade sendo acorrentado a uma rocha para uma águia bicar seu fígado?”

ISBN 978-85-8057-888-1



9 788580 578881

[www.intrinseca.com.br](http://www.intrinseca.com.br)