

42. In Rosenthal-Schneider, 1980, p. 74.

43. In French, 1979, p. 31.

44. In Holton e Elkana, 1982, p. 104.

11

A EXPANSÃO DO UNIVERSO

A natureza vive em movimento.

James Hutton

Os olhos deviam aprender com a razão.

Kepler

Quando Einstein começou a investigar as implicações cosmológicas da teoria geral da relatividade, descobriu algo estranho e perturbador: a teoria deixava implícito que o universo como um todo não podia ser estático, mas sim teria de estar ou expandindo-se, ou contraindo-se. Era uma idéia totalmente nova, para a qual não havia, na época, nenhuma evidência observacional. Os astrônomos que consultou informaram a Einstein que as estrelas vagueiam mais ou menos aleatoriamente pelo espaço, mas não revelam nenhum movimento conjunto que sugerisse uma expansão ou uma contração cósmica. Frente a essa discordância entre sua teoria e os dados empíricos, Einstein concluiu, com relutância, que devia haver alguma coisa errada com a teoria, e modificou suas equações, acrescentando um termo que chamou de constante cosmológica. Simbolizado pela letra grega lambda, o novo termo pretendia fazer com que o raio do universo se mantivesse estável com o passar do tempo.

Einstein nunca teve simpatia para com a constante cosmológica. Considerou-a "gravemente prejudicial à beleza formal da teoria", observando que nada mais era do que uma ficção matemática, sem qualquer base física real, e que tinha sido introduzida apenas para colocar a teoria de acordo com os fatos da observação. Como escreveu em 1917:

Reconhecemos ter sido necessário introduzir uma extensão das equações de campo da gravitação que não se justifica pelo nosso conhecimento real da gravitação... Esse termo é necessário apenas com a finalidade de tornar

possível uma distribuição quase estática da matéria, como exigem as pequenas velocidades das estrelas.¹

Além disso, como logo se tornou evidente, o termo nem mesmo cumpria sua função confessada de tornar imóvel o universo relativista. O matemático russo Aleksandr Friedmann descobriu que Einstein, ao introduzir o termo, tinha cometido um erro de álgebra, dividindo por uma quantidade que podia ser zero. Quando Friedmann corrigiu o erro, a relatividade geral libertou-se de suas cadeias e o universo relativista, para frustração de Einstein, voltou a alçar vôo.

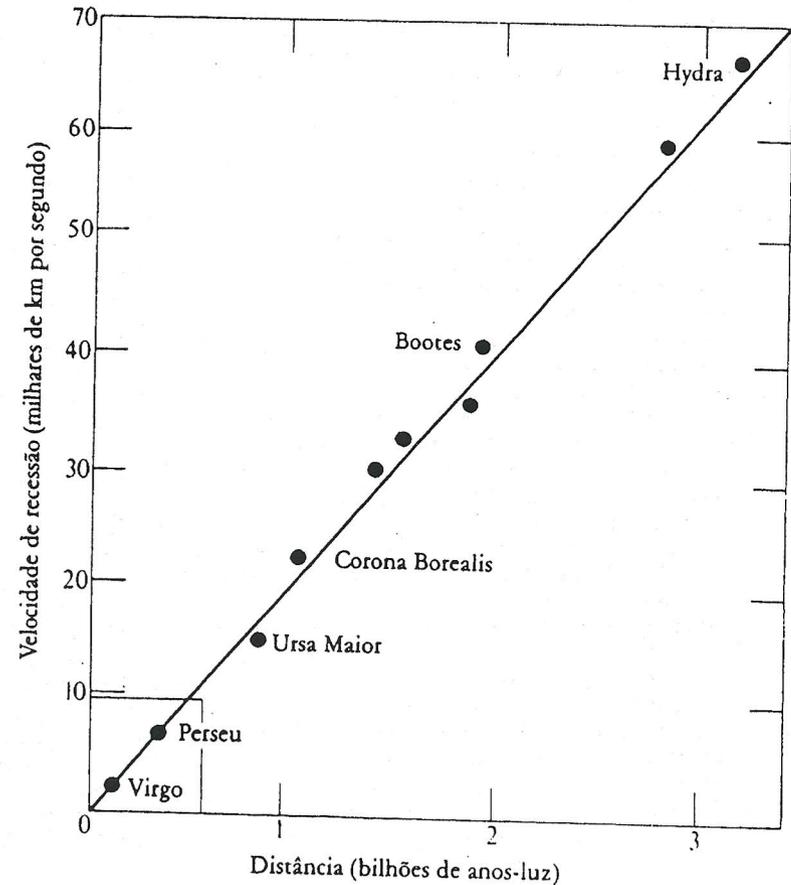
Os conhecedores do gume afiado da ironia apreciarão o fato de ter sido em 1917, ano em que Einstein deformou a sua teoria geral da relatividade com a introdução do termo cosmológico, que o astrônomo norte-americano Vesto Slipher publicou um trabalho contendo a primeira evidência observacional de que o universo está, de fato, expandindo-se.

Slipher nada sabia da relatividade geral. Era um membro muito trabalhador da equipe do Observatório Lowell, em Flagstaff, Arizona, uma instituição privada isolada e idiossincrásica, tão distante da comunidade da física teórica que bem poderia estar situada no lado mais longínquo da Lua. Seu empregador era Percival Lowell, da família Lowell, de Boston, um pensador arrogante e pouco convencional, lembrado principalmente por ter mapeado os "ilusórios" canais de Marte, que considerou como vias aquáticas globais abertas por uma ressequida civilização que importava, desesperadamente, água das calotas polares. Como muitos astrônomos da época, Lowell achava que as nebulosas espirais eram sistemas solares laplacianos nascentes. Para testar sua tese, recomendou a Slipher que fizesse os espectros de várias espirais, usando um espectrógrafo novo e mais eficiente, a fim de buscar as velocidades de rotação características das nebulosas laplacianas a caminho de serem estrelas e planetas. Slipher encontrou, na verdade, indícios de rotação nas espirais — como Edwin Hubble descobriria, isso era na realidade o movimento de bilhões de estrelas em órbita nas galáxias espirais — mas encontrou também, superimposto às velocidades de rotação, um enorme deslocamento nas linhas espectrais da maioria das espirais, na direção do extremo vermelho do espectro.

A única explicação racional para essa descoberta surpreendente era a de que Slipher estava observando desvios Doppler. O nome vem do físico austríaco Christian Doppler, que notou em 1842 que a luz, o som ou outra radiação vinda de uma fonte móvel é recebida numa frequência superior, se a fonte que a emana se aproxima, ou numa frequência inferior, se a fonte se estiver afastando. (É devido a esse "desvio Doppler" que a buzina de um carro parece mais aguda quando o carro se está aproximando, e mais baixa se ele se está afastando.) Os astrônomos vinham há muito usando os desvios Doppler nos espectros para medir as velocidades das estrelas. As linhas espectrais das estrelas que se moviam na direção do Sol se deslocavam para o azul, enquanto as das estrelas que se afastavam do Sol se deslocariam para o vermelho, ou a frequência mais baixa. Na verdade, foi em virtude exatamente dessas medidas que os astrônomos puderam informar a Einstein que os movimentos estelares da Via Láctea eram geralmente aleatórios.

As velocidades das nebulosas espirais implícitas nos desvios para o vermelho de Slipher, porém, eram muito mais rápidas do que as velocidades das estrelas.

Duas das primeiras 15 espirais observadas por ele se moviam a mais de 1,6 milhão de quilômetros por hora. E ainda mais inesperadamente, seus movimentos eram concertados: 21 das 25 espirais cujos espectros Slipher tinha acumulado em 1917 eram deslocadas para o vermelho, indicando isso que estavam se afastando umas das outras, e todas da Terra. (As exceções, como hoje sabemos, eram galáxias próximas que estão gravitacionalmente ligadas à Via Láctea no Grupo Local de galáxias, e portanto não participam da expansão cósmica.)



A lei de Hubble, de que as galáxias se estão distanciando umas das outras a velocidades diretamente proporcionais às distâncias que as separam, é válida por todo o universo conhecido. Este diagrama inclui os dez maiores aglomerados de galáxias. A área quadrada, embaixo à esquerda, representa as galáxias observadas por Hubble ao descobrir a lei.

Embora as descobertas de Slipher fossem intrigantes, não indicavam, por si mesmas, um universo em expansão. Slipher não tinha como saber as distâncias até as galáxias cujos desvios para o vermelho obteve — e nem mesmo de verificar que eram galáxias. Isso seria feito por Edwin Hubble.

Hubble tinha 30 anos quando deu baixa, como soldado, da Força Expedicionária Norte-americana na França e começou a assestar os grandes telescópios de Mount Wilson para as nebulosas espirais, mas trabalhou com rapidez: apenas cinco anos depois, podia escrever a Harlow Shapley para comunicar que encontrara estrelas variáveis cefeidas nas espirais, estabelecendo com isso que elas eram galáxias e tornando possível calcular suas distâncias. Cinco anos depois, em 1929, ele pôde plotar a distância de 25 galáxias com base nas suas medidas, e nas de Slipher, de seus desvios para a direita. O resultado foi uma linha reta — uma correlação direta entre a distância e a velocidade de recessão.

No diagrama de Hubble estava inscrita a assinatura da expansão cósmica. Imaginemos que a Terra se estivesse expandindo, e deixemos que a sua superfície bidimensional represente o espaço cósmico tridimensional. Nessa situação, todo observador veria que todas as outras cidades na Terra se estavam afastando da sua cidade, a uma velocidade diretamente proporcional à sua distância. Se, por exemplo, o índice de expansão fosse tal que a Terra dobrasse de diâmetro a cada hora, então as distâncias entre as cidades também dobrariam a cada hora. Chicago e Memphis estão a 800km de distância; portanto, observadores na primeira achariam que a segunda se afastava a 800km/h. Olhando para San Francisco, a 2.800km, os moradores de Chicago diriam que a *sua* velocidade de recessão era de 2.800km/h. E isso, ou seja, a relação entre distância e velocidade, foi o que Hubble encontrou para as galáxias.

Era também, é claro, exatamente o que a teoria geral da relatividade tinha previsto, pelo menos antes de ser acorrentada pelo termo λ . (Disse Einstein, furioso: “Se a expansão de Hubble tivesse sido descoberta na época da criação da teoria geral da relatividade, a [constante cosmológica] jamais teria sido introduzida.”² Não obstante, Hubble, como Slipher, estava isolado pelo abismo que ainda separava o mundo dos astrônomos observacionais americanos e o mundo de Einstein e outros principais físicos teóricos da Europa. Hubble quase nada sabia da relatividade geral, nem seu chefe, George Ellery Hale, que confessou que “as complicações da teoria da relatividade são demais para minha compreensão”, acrescentando: “Receio que ela permanecerá sempre fora do meu alcance.”³ Nenhum dos dois sabia da previsão da relatividade, de que o universo podia estar se expandindo. À falta de uma explicação teórica para o que tinha observado, Hubble, atento ao fato de que “as observações sempre envolvem teoria”,⁴ relutou em formular conclusões sobre o significado de sua descoberta.* Falou da “relação entre desvio para o vermelho e distância” e por

* A única teoria que Hubble conhecia e que previa a relação desvio para o vermelho-distância era a do astrônomo holandês Willem de Sitter, que tinha publicado um modelo no qual os desvios eram provocados, não pela velocidade de um universo em expansão, mas por um espúrio “efeito De Sitter”, um exercício de enigmística matemática sem nenhuma base física conhecida. A fria recepção que tiveram as tentativas de Hubble de relacionar suas observações com o efeito De Sitter, pouco contribuiu para estimular as suas incursões, já hesitantes, no aspecto teórico da cosmologia.

vezes de “desvios de velocidade”, mas raramente daquilo que a sua descoberta foi chamada desde então — a expansão do universo. Anos depois, ele ainda se referia à idéia da expansão cósmica como “bastante surpreendente”.⁵

Na verdade, o homem que aproximou a relatividade de Einstein e os desvios para o vermelho das espirais não era um teórico eminente, nem um grande observador, mas um obscuro padre e matemático belga chamado Georges Lemaître. Filho de um fabricante de vidros de Louvain e da filha de um cervejeiro, Lemaître resolveu, aos 90 anos, tornar-se cientista e padre: “Não há conflito entre a ciência e a religião”, costumava dizer.⁶ Muito participante, Lemaître fez, por sugestão de Eddington, uma viagem pelos Estados Unidos, comparecendo a reuniões científicas e distribuindo cartões de visita. Durante essa viagem ficou sabendo dos desvios para o vermelho de Slipher, e ao voltar para Bruxelas escreveu, em 1927, um artigo profético onde levantou uma superestrutura matemática ligando os desvios observados ao universo em expansão da relatividade geral.

Ninguém percebeu. Lemaître publicou seu artigo numa revista obscura — um hábito que pode ter sido admiravelmente humilde, mas profissionalmente pouco útil, e do qual nunca se livrou. De qualquer modo, ele não tinha a aparência que sugere o gênio. De ar burguês, rechonchudo, um jeito doméstico numa roupa de padre, Lemaître foi ignorado pelos luminares que abordou quando a Conferência Solvay de Física reuniu-se em Bruxelas, em outubro. Até mesmo Einstein, habitualmente paciente, perdeu a calma com as solicitações desse pilar da normalidade de classe média. *Vos calculs sont corrects, mais votre physique est abominable*, disse-lhe Einstein. “Seus cálculos são corretos, mas a sua física é abominável.”⁷ (Einstein retratou-se mais tarde, e em Bruxelas, em 1933 transferiu a Lemaître uma conferência, procurando tranquilizar o nervosismo do padre, que gaguejava durante a palestra, com apartes como *très joli, très, très joli* — “muito bonito, muito, muito bonito”).⁸

A situação tornou-se clara a Lemaître, embora não para os seus colegas mais famosos, com a publicação do artigo de Hubble, de 1929, sobre a relação entre desvio para o vermelho e distância. Em janeiro de 1930 Eddington, DeSitter e outros mestres reconhecidos da cosmologia teórica reuniram-se na Real Sociedade Astronômica e ali se empenharam, em vão, em construir uma ponte matemática entre a cosmologia relativista de DeSitter e a descoberta de Hubble. Lemaître leu sobre suas tentativas no número de fevereiro de *The Observatory* e escreveu Eddington, lembrando-lhe que já tinha resolvido o problema. Eddington mandou uma cópia do artigo de Lemaître a DeSitter e em seguida, com a generosidade e o critério que tinham orientado os seus esforços semelhantes em favor de Einstein, anos antes, começou a proclamar ao mundo que um professor de matemática belga, pouco conhecido, era o autor da primeira cosmologia do universo em expansão. Foi assim que Hubble tomou conhecimento do significado potencial de sua própria descoberta.

Enquanto isso, Lemaître começara a refletir sobre a origem do universo. Um universo em expansão devia ter sido, era evidente, muito diferente do que é hoje. As galáxias situam-se agora a milhões de anos-luz de distância; no passado, deviam estar próximas. Na verdade, no começo, tudo devia ter estado perto de tudo. A densidade do jovem universo deveria ter sido realmente muito alta — tão alta, talvez, quanto a de um núcleo atômico. Refletindo segundo cami-

nhos convergentes que recuavam no tempo, Lemaître começou a forjar os primeiros elos entre a cosmologia, a ciência do que é muito grande, e a física nuclear, a ciência do que é muito pequeno.

Essa extrapolação não agradou ao propagandista de Lemaître, Eddington. "Como não posso deixar de mencionar essa questão de um começo", escreveu ele, "pareceu-me que a teoria mais satisfatória seria aquela que não fizesse esse começo *muito pouco estético, muito abrupto*" (grifos de Eddington).⁹ Ele imaginava que o universo tinha começado como um sistema estável, talvez parecido com um aglomerado de estrelas, que se tinha separado de modo a produzir a expansão cósmica. Lemaître adotava uma posição mais radical. Propunha que o universo teria começado como um ponto infinitamente pequeno — uma "singularidade", em termos matemáticos — num tempo zero, "um dia sem ontem", em que o espaço era infinitamente curvo e toda matéria e energia se concentravam num único *quantum* de energia.¹⁰ Lemaître chamou esse estado de "átomo primordial" e sua erupção, de "grande barulho".¹¹ Mais tarde o astrofísico Fred Hoyle, que gostava ainda menos dessa idéia do que Eddington, designou o evento da criação com um nome intencionalmente feio, que "pegou". Hoyle chamou-o de *big bang*, ou "a grande explosão".

A distância entre a teoria européia e as observações norte-americanas começou a diminuir em princípios da década de 1930, quando Einstein, e muitos judeus alemães, intelectuais, e outros indesejáveis, leram os dizeres que Hitler escrevia nos muros e começaram a emigrar para os Estados Unidos. Em 1931 Einstein visitou Mount Wilson, onde Hubble, tirando baforadas do cachimbo numa indiferença churchillianiana pelo protocolo respeitado nos observatórios, levou-o à cúpula e mostrou-lhe a prova espectrográfica da expansão cósmica prevista pela teoria geral. Dois anos depois, de volta ao sul da Califórnia, Einstein ouviu Lemaître descrever sua teoria do átomo primordial numa conferência na biblioteca do observatório de Mount Wilson, na rua Santa Barbara, em Pasadena. "No início de tudo tivemos fogos de artifício de uma beleza inimaginável", disse Lemaître, fazendo poesia. "Houve depois a explosão seguida de fumo que encheu os céus. Chegamos tarde demais e só podemos visualizar o esplendor do ato da criação." Einstein ergueu-se, no fim da conferência, e chamou a teoria de Lemaître de "a mais bela e satisfatória interpretação que já ouvi."^{12*}

Sem o acabamento necessário para ser considerado uma teoria, o conceito de Lemaître, de uma decadência nuclear como a gênese, poderia ser melhor classificado de uma hipótese de trabalho. Lemaître compreendeu isso muito bem, e lembrou aos leitores de seu livro, *The Primeval Atom*, que: "não se deve dar demasiada importância a esta descrição do átomo primeiro, descrição que terá de ser modificada, talvez, quando nosso conhecimento dos núcleos atômicos for mais perfeito."¹³ Não obstante, embora experimental, a abordagem de Lemaître foi precursora do caminho seguido pela cosmologia na segunda metade

do século XX, contribuiu para levá-la a esse caminho, e teve o salutar efeito imediato de atrair os físicos nucleares para a arena cosmológica. Alguns aceitaram o desafio e o resultado foi uma infusão de sangue e capacidade intelectual novos nesse campo. Dentro em pouco, físicos da estatura de Enrico Fermi, Carl Friedrich von Weizsäcker e Edward Teller estavam aplicando seu considerável talento à questão do que aconteceu nos primeiros momentos do *big bang*.

Na linha de frente desse ataque incluía-se um imigrante russo, de uma aparência enganosamente bem-humorada, George Gamow. Espirituoso, iconoclasta, irreverente sobre os feitos da humanidade, se não sobre os da natureza, Gamow, como Einstein, era uma dessas raras pessoas que parecem não ter perdido nunca a curiosidade infantil e a capacidade de maravilhar-se. Uma das coisas que mais o intrigavam era a maneira pela qual o universo começou.

O principal interesse de Gamow, como iremos ver, relacionava-se com a formação de elementos no princípio da história do universo. Raciocinou que a matéria do jovem universo poderia ter sido quente e densa bastante para que os núcleos atômicos se tivessem separado em várias combinações, criando os elementos tal como os conhecemos. Essa linha de pesquisa teria resultados mistos nas mãos de Gamow (a física teórica não era bastante madura para muitos dos cálculos necessários) mas seu quadro do universo inicial como um plasma quente, denso, que evoluía rapidamente, deu origem a uma das mais fortes previsões da história da ciência — a radiação cósmica de fundo, uma energia generalizada, fervilhante, que restou do *big bang*.

O conceito do *big bang* quente, de Gamow, significava que, se o universo começou quente e se vem expandindo e resfriando desde então, sua temperatura hoje, embora fria, não seria *absolutamente* fria. Devia haver algum calor residual do *big bang*. Essa energia teria sido estendida, e com isso baixou de frequência, pela expansão cósmica. Em termos técnicos, os fótons que levam a energia do *big bang*, originados nos comprimentos de onda da luz, se desviaram para o vermelho na subsequente expansão do universo pelas frequências inferiores da energia eletromagnética que chamamos de radiação de microondas do rádio. Os colegas de Gamow, Ralph Alpher e Robert Herman, ao corrigirem erros aritméticos num dos seus artigos sobre o *big bang*, sugeriram ser o universo de hoje impregnado de um oceano de fótons, com uma temperatura ambiente de "cerca de 5°" kelvin.¹⁴

Na época, pouca atenção foi dada à previsão de Alpher e Herman, de que a radiação residual devia ser proveniente do *big bang*. Parecia uma teoria meio obscura e, de qualquer modo, impossível de ser verificada; a radioastronomia estava na infância, e ainda não havia na Terra um radiotelescópio de microondas. Uma década depois, quando a radioastronomia se tinha tornado uma realidade, Robert Dicke, da Universidade de Princeton, chegou independentemente à mesma idéia, e pôs-se a construir um receptor de microondas para ouvir a radiação cósmica de fundo. Ainda estava trabalhando nele quando soube que dois pesquisadores dos Laboratórios Bell, Arno Penzias e Robert Wilson, estavam enfrentando problemas para explicar um zumbido persistente numa antena de microondas que a Bell tinha construído para experiências com satélites de comunicações. A temperatura desse ruído indesejado era de 2,7°. Embora nenhum dos três se lembrasse do trabalho de Gamow, Alpher e Herman, era exatamente esse o valor que tinham previsto (quando seus cálculos foram

* Einstein referia-se à sugestão de Lemaître, de que os raios cósmicos, as partículas subatômicas de alta energia do espaço, tinham sido gerados nos fogos de artifício primeiros. Isso não se sustentava nos seus detalhes, mas antecipava aspectos da previsão subsequente de Gamow, de que o universo podia estar impregnado de uma radiação cósmica de fundo composta de fótons antigos liberados pelo *big bang*.

atualizados para corrigir aperfeiçoamentos posteriores na escala de Hubble para a idade do universo). Penzias e Wilson ganharam um Prêmio Nobel em física pela sua descoberta, e Lemaître, então com 72 anos, ficou sabendo dela numa das últimas conversas que teve em sua vida.

Hoje, a afirmação de que vivemos num universo em expansão repousa sobre três linhas de pesquisa fundamentais. A primeira é a lei de Hubble: a relação entre as distâncias das galáxias e o desvio para o vermelho de sua luz parecem estar nos limites da observação de hoje — na casa das centenas de milhões de anos-luz — e a única explicação coerente para esse estado de coisas é que os desvios são produzidos pela velocidade de recessão das galáxias num universo em expansão. A segunda evidência é a radiação cósmica de fundo: ela traça a curva do “corpo negro” que caracterizaria o espectro de fótons liberados no *big bang*, sendo recebida com força igual de todas as direções, exceto por uma pequena anisotropia (ou ponto quente) introduzida pelo movimento absoluto da Terra dentro da estrutura cósmica geral. O terceiro dado é cronológico: a idade do universo deduzida a partir da velocidade de expansão, cerca de 10 a 20 bilhões de anos, adequa-se às idades das estrelas mais velhas que se conhecem, cerca de 12 a 16 bilhões de anos, e à temperatura da própria radiação cósmica de fundo.

Quaisquer que sejam as outras implicações para o pensamento humano — e são muitas — a expansão do universo tem a tremenda vantagem de proporcionar à cosmologia uma dimensão de história cósmica. A estrutura do universo, a partir daquele núcleo atômico até os vastos superaglomerados de galáxias que se estendem por centenas de milhões de anos-luz de espaço, pode ter evoluído de estruturas anteriores; a explicação de sua atual posição exige, evidentemente, que tenhamos um melhor conhecimento de sua história. Até mesmo as leis naturais podem ter um passado mutável. Essas considerações serão discutidas na Terceira Parte deste livro. Mas antes precisamos examinar como a nossa espécie chegou a compreender as profundidades da história terrestre e cósmica. É tempo de falarmos do tempo.

NOTAS

1. Albert Einstein, “Cosmological Considerations on the General Theory of Relativity”, 1917, in Einstein, 1952, p. 188.
2. Einstein, 1923, p. 127.
3. In Smith, Robert, 1982, p. 173.

4. Hubble, 1985, p. 35.
5. Ibid.
6. Lemaître, citado em *The New York Times Magazine*, 19 de fevereiro de 1933.
7. Andre Deprit, “Monsignor Georges Lemaître”, in Berger, 1985, p. 370.
8. Ibid, p. 376.
9. In Ferris, 1983, p. 119.
10. In Berger, p. 373.
11. *Los Angeles Times*, 12 de janeiro de 1933.
12. *The New York Times*, 12 de janeiro de 1933; *Los Angeles Times*, 12 de janeiro de 1933.
13. Lemaître, 1950, p. 140.
14. Ralph A. Alpher e Robert C. Herman, “Evolution of the Universe”, *Nature*, vol. 162, pp. 774 ss., 1948, in Lang e Gingerich, 1979, p. 866.