

Sobral: um eclipse e um enigma não resolvido

Marcos Cesar Danhoni Neves¹
Josie Agatha Parrilha da Silva²

Resumo: o presente artigo apresenta uma discussão histórica da relatividade geral a partir de seu evento mais conhecido: a observação da deflexão dos trajetos de luz das estrelas observadas no eclipse solar em Sobral, 1919. Os resultados são interpretados à luz do paradigma newtoniano e einsteiniano, demonstrando a necessidade da inserção da história da ciência no ensino de física e cosmologia.

Palavras-chave: relatividade, cosmologia, educação para a ciência, paradigmas.

Sobral: an eclipse and an unsolved enigma

Abstract: This paper presents a historical discussion on general relativity from his best-known event: the observation of the deflection of the light of the stars observed in the solar eclipse in Sobral, 1919. The results are interpreted in the light of the newtonian and einsteinian paradigm, demonstrating the need to insert the history of science in teaching physics and cosmology.

Keywords: relativity, cosmology, science education, paradigms.

Introdução

O presente trabalho consistiu numa série de estudos acerca da cosmologia do Big Bang e do desenvolvimento da teoria da relatividade (restrita e geral) realizada durante um curso de “Tópicos de Física Moderna e Contemporânea” num Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência.

A ideia inicial foi analisar livros-textos e de divulgação em física e Cosmologia acerca dos dois temas supracitados. Depois foi realizada uma pesquisa que envolvia a escolha de textos *outsiders*, ou seja, não publicados em revistas de divulgação científica ou de revistas das áreas duras em que se inserem temas relativos à relatividade e Cosmologia. Os textos escolhidos foram os de Arp (1989), Born (1954), Capria (2001), De Broglie (1962, 1966), Finlay-Freundlich (1953, 1954).

A ideia foi inserir elementos históricos que foram tornados periféricos na posterior reconstrução histórica da ciência física e da Cosmologia e que, hoje, encontram-se cristalizados em textos usados em diferentes níveis de ensino (que vão da pré-escola à pós-

¹ Doutor em Educação, Universidade Estadual de Maringá-UEM/Universidade Federal Tecnológica – UTFPR – Campus Ponta Grossa, Brasil, macedane@yahoo.com

graduação). Os dados emersos dessas análises, especialmente sobre temas escolhidos (interferometria e éter, deflexão de raio de luz, o evento de Sobral, *redshifts* gravitacionais, absorção de gravidade, *redshifts* anômalos (REBOUL, 1981), quasares, predição da temperatura da radiação cósmica de fundo antes de Penzias e Wilson, o enigma da velocidade radial dos braços espiralados de galáxias, matéria escura), evidenciaram a necessidade do ensino de uma história da ciência que reconstruísse a noção da “interpretação”, da sociologia da ciência e da característica intrínseca de sua não-neutralidade.

A questão da educação científica foi amplamente discutida dentro de parâmetros de análise que iam desde a ausência de temas de física moderna e contemporânea no Ensino Médio até o ensino dogmático da ciência física e de sua história em cursos de física e Astronomia.

Enfatizamos, após as estrepitosas comemorações do centenário do *annus mirabilis* de Einstein realizadas em 2005, o evento do eclipse solar total realizado em Sobral-CE (apesar de não pertencer aos estudos de 1905 da Relatividade Geral). Ao final, num *overview*, recuperamos os aspectos de modelos, observações e teorias que foram postos às margens dos paradigmas atuais.

O *annus mirabilis* e além

O ano de 2005 comemorou os 100 anos dos trabalhos fundamentais de Einstein: o *annus mirabilis* do famoso físico alemão. Devido ao centenário daqueles trabalhos notáveis, as comemorações foram dedicadas à Física, ao seu ensino e suas implicações na sociedade. O ano de 2005 foi denominado, pela Organização das Nações Unidas para a educação, a ciência e a cultura - UNESCO (órgão de Cultura da ONU) como o *Ano Mundial da Física*.

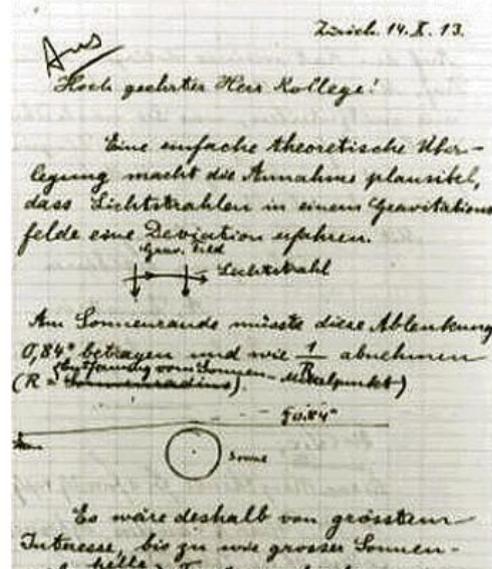
Na esteira das comemorações em todo o mundo, parece que houve um esquecimento fundamental em se determinar o que efetivamente foi realizado nos anos posteriores a 1905 e qual a Física foi legada à contemporaneidade, e, especialmente, o que ainda é incerto em teorias que estruturam uma visão científica de mundo.

O ano de Einstein foi também comemorado com pompa e circunstância no Brasil pelo fato de ter sido aqui um dos lugares (Sobral, no Ceará) onde “a teoria de Einstein – a relatividade geral – foi provada”.

² Doutora em Educação para a Ciência e a Matemática, Universidade Estadual de Ponta Grossa-UEPG/Universidade Federal Tecnológica – UTFPR – Campus Ponta Grossa, Brasil, josieaps@hotmail.com

Einstein previa (Figura 1), tal qual Newton fizera em seu *Opticks*, que um raio de luz passando próximo de uma grande massa gravitacional poderia sofrer uma deflexão. Porém, diferentemente de Newton, Einstein previra um valor duas vezes superior.

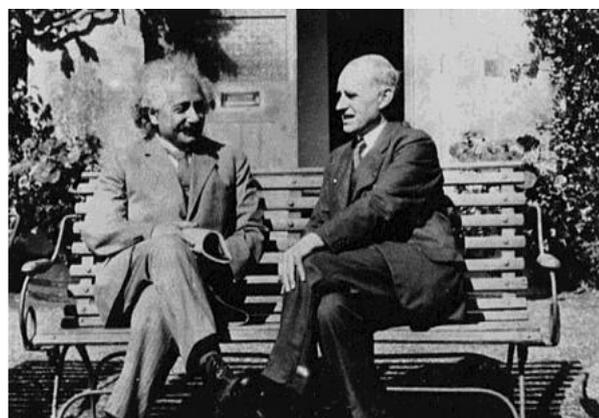
Figura 1. Estudos de Einstein sobre a deflexão da luz.



Fonte: Las Casas (1999)

O que a história oficial conta é que as observações, tanto em Sobral quanto em Príncipe (na África), comprovaram a previsão da relatividade geral (Santos e Aurette 1992). Esse fator pode ter sido determinante para Einstein ganhar o Prêmio Nobel (apesar de tê-lo recebido pelos trabalhos de 1905, especificamente aquele sobre a explicação do efeito fotoelétrico), pois Eddington, que havia liderado a expedição a Príncipe, agiu como o maior ‘publicitário’ do físico alemão (Figura 2) e de suas ideias sobre uma nova visão de mundo e de universo.

Figura 2. Einstein e Eddington em Cambridge.



Fonte: Las Casas (1999)

O trabalho de Eddington e de suas expedições eram, pois, de determinar o efeito produzido, ou não, pelo campo gravitacional sobre o trajeto de um raio de luz (estrela). Dizem Dyson, Eddington e Davidson (1920):

- i) o trajeto não é afetado pela gravidade;
- ii) a energia, ou massa de luz, é sujeita à gravidade, do mesmo modo que a matéria. Se a lei que rege a gravidade for à newtoniana, haverá deslocamento aparente de uma estrela próxima da orla solar de 0,87 segundos de arco;
- iii) o trajeto do raio de luz é determinado de acordo com a teoria da relatividade generalizada de Einstein: nesse caso, o deslocamento aparente de uma estrela junto ao bordo solar apresenta valor de 1,75 segundos de arco.

Problemas nas interpretações das observações

O grande problema das observações de Sobral (Figuras 3, 4, 5) e Príncipe foram às condições nas quais o fenômeno do eclipse solar total (Figura 6) foi registrado, especialmente as condições climáticas em Príncipe, o transporte de equipamentos óticos de precisão (especialmente em Príncipe – levados por carregadores nativos por mais de um quilômetro) e o método empregado para quantificar as possíveis causas de erros. E a respeito destes últimos, von Klüber (1960) e Bertotti, Brill e Krotkov (1962) os enumeram:

- i) refração da luz da coroa solar e/ou na atmosfera terrestre;
- ii) distorções no sistema ótico causadas pelas mudanças de temperatura durante o eclipse;
- iii) mudanças de escala entre as chapas fotográficas e as chapas de comparação;
- iv) distorções na emulsão fotográfica durante o processo de secagem;
- v) erros de medida das imagens nas placas.

Figura 3. Sobral e Príncipe: a região da totalidade



Fonte: Kyoto University (2016).

A influência da refração atmosférica é um dado muito relevante a ser considerado numa observação desse gênero. O transporte do material poderia ter descalibrado os instrumentos, além de, no momento das medidas, o aquecimento do espelho pelo Sol poder ocasionar distorções graves nos resultados. Em Dyson *et al* é relatado esse possível problema em Sobral.

Outro erro apontado (von Klüber 1960) era a mudança de comprimento focal, para o telescópio de 343 cm, entre as chapas fotográficas e aquelas de comparação (feitas meses antes do fenômeno para se determinar a posição das estrelas. Esse tipo de erro induz a erros de escala que podem ter a mesma ordem de grandeza do efeito previsto por Einstein.

Antes que Eddington retornasse da expedição a Príncipe, o astrônomo real, Sir Frank Dyson, já havia comunicado à Royal Astronomical Society, na reunião de 11 de julho de 1919 que:

Tenho uma carta do Prof. Eddington de dois dias atrás. Ele está esperançoso de ter tomado medidas que assegurem o deslocamento definitivo, mas ele obviamente está muito desapontado. Ele tirou 16 fotografias, mas somente as últimas seis tinham céu claro o suficiente para mostrar algumas estrelas, e ainda assim, ele obteve três, quatro ou cinco imagens; e, como o céu é geralmente claro em somente uma parte da chapa, as estrelas estão pessimamente distribuídas nas chapas. Da melhor chapa, no entanto, ele tem alguma evidência da deflexão de Einstein, mas os erros das chapas foram completamente determinados. (FOWLER, 1919, p.261)

Isso é a confissão de que boa parte das chapas obtidas em Príncipe eram simplesmente “imprestáveis”! Mesmo assim, Eddington não se dá por batido e afirma que: “uma chapa tinha boas imagens de cinco estrelas, o que garantia uma possibilidade de determinação.” (EDDINGTON, 1920, p.115). Sua descrição dessa chapa diz: “Os resultados desta chapa dão um deslocamento definido, de bom acordo com a teoria de Einstein e em desacordo com a previsão newtoniana. Embora o material fosse pobre em relação àquilo que esperávamos, foi convincente” (EDDINGTON, 1920, p.116).

Seguindo a descrição daqueles fatos, Eddington continua: “O tempo nublado acabou com meus planos e eu tentei medir de diferentes maneiras, conseqüentemente eu não tive como anunciar preliminarmente o resultado. Mas uma das chapas que eu medi dava o valor de acordo com Einstein” (DOUGLAS 1957, p.207). O “*grande achado*” de Eddington se dará sobre a análise das posições relativas de apenas cinco estrelas em duas chapas do total de 16 tiradas!

Em Sobral, o fator climático não influenciou de forma tão negativa: o céu estava brilhante, sem nuvens que ameaçassem as observações. Apesar disso, as fotografias (feitas a partir de dois telescópios idênticos aos de Príncipe, além de um terceiro com distância

focal diferente) acabaram decepcionando pela qualidade das imagens, que revelaram definição ruim. Diz Eddington (1920): “[as] medidas apontavam que estavam de acordo com a “meia-deflexão”, ou seja, com o valor newtoniano, metade daquele requerido pela teoria de Einstein” (EDDINGTON, 1920, p.117).

O Enigma de Sobral

Aqui reside o que poderíamos batizar de “o enigma de Sobral”, através da seguinte interrogação: “Por que, em sua comunicação oficial à Royal Astronomical Society, Eddington preferiu os resultados de Príncipe e não aqueles de Sobral (que apresentava muitas chapas “prestáveis”)? (Ver local: Figura 4)

Figura 4 - O local da observação do eclipse em Sobral.

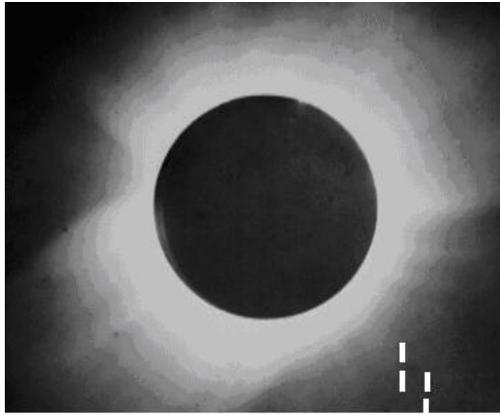


Fonte: Las Casas (1999)

A resposta foi a de que em Sobral não havia “chapas de controle”, ou seja, chapas tiradas meses antes do fenômeno. No entanto, essa não é uma resposta válida. Em Sobral, sabemos, pelo próprio Eddington (1920), que a expedição inglesa permaneceria ainda dois meses para fotografar a mesma região do céu, a fim de obter o controle para as chapas tiradas no dia do eclipse. (Figura 5) A respeito desse comportamento, Campbell (1923, p.11) escreve:

O Prof. Eddington estava inclinado a considerar com peso a determinação africana, mas, com as poucas imagens de seu pequeno número de chapas fotográficas, os resultados não foram bons como aquelas obtidas no Brasil. A lógica dessa situação não parece estar clara.

Figura 5 - Fotografia da totalidade do eclipse em Sobral, 1919. As pequenas linhas brancas verticais no canto inferior direito mostram a posição deslocada das estrelas.



Fonte: Las Casas (1999)

Apesar de todos esses problemas, os dados pró-Einstein acabaram sendo anunciados durante uma reunião da Royal Astronomical Society em 6 de novembro de 1919. E os resultados foram anunciados com pompa e circunstância, como atesta o relato de Whitehead (1926, p.278):

Foi muita sorte estar presente no Encontro da Royal Society em Londres quando o Astrônomo real da Inglaterra anunciou que as chapas fotográficas do famoso eclipse, como medidas pelos seus colegas do Observatório de Greenwich, verificaram a predição de Einstein de que os raios de luz são encurvados ao passarem nas vizinhanças do sol. A atmosfera toda era de tenso interesse, como num drama grego: nós éramos o coro comentando o desfecho deste supremo incidente. Foi a qualidade dramática nos primeiros estágios: o cerimonial tradicional, e a figura de Newton, nos serviu como generalizações geniais depois das modificações em dois séculos [de história]. Não era uma busca pessoal: estávamos no limite de uma grande aventura do pensamento.

Einstein, diria seu biógrafo, Clark (1971, p.679): “tornara-se, em Berlim, na manhã de 7 de novembro de 1919, muito famoso”. Thomson, o *Chair* daquela reunião, iniciou a discussão, mas antes endossou com veemência a confirmação da previsão da teoria de Einstein, dizendo:

É difícil para a audiência avaliar o significado destes números, mas o astrônomo real e o Prof. Eddington estudaram o material cuidadosamente, e eles mostram a evidência decisiva em favor de um valor maior para o deslocamento. Isto é o resultado mais importante obtido em conexão com a gravitação desde os dias de Newton e esta Sociedade está tão próximo dele ... Se for sustentado que Einstein tinha razão – e sobreviver a dois testes severos em conexão com o perihélio de Mercúrio e o presente eclipse – então este resultado será uma das maiores contribuições do pensamento humano. (THOMSON, 1919, p.42)

Hermann Bondi (1960, p.167), que jamais poderá ser classificado como um antirelativista, diz que:

A predição de Einstein pode ser checada somente em raras ocasiões quando, no momento de um eclipse, estrelas brilhantes estiverem próximas na direção do sol. O efeito é difícil de ser estudado mesmo nas circunstâncias mais favoráveis. As

indicações são mais favoráveis à teoria da relatividade, mas seria prematura dizer que isso é conclusivo.

Nigel Calder (1979, p.103) arremata:

Os resultados do eclipse foram um triunfo. As ideias de Newton acerca da gravidade foram um desafio intransponível por mais de dois séculos, mas em quatro anos de desenvolvimento da teoria Einstein foi confirmado e Newton destronado. A deflexão da luz pela gravidade é o ponto central da teoria da relatividade. Mas medidas posteriores da deflexão das luzes das estrelas em outros eclipses deram valores muito espalhados. Foram em torno de 60% da predição de Einstein. As dificuldades de observações são muitas, mais que os defeitos da teoria. Enquanto eles não permitirem qualquer restauração de Newton, é sempre melhor deixar um espaçozinho para a gravidade. Assim, sessenta anos depois de seu triunfo inicial, astrônomos e relativistas estão decididamente céticos sobre esta forma de checar as ideias de Einstein.

A pergunta que resta, então, continua sendo: “no enigma de Sobral, os resultados de Newton não deveriam ter sido validados ao invés daqueles de Einstein?” Se a mensuração da deflexão envolve precisão muito difícil de ser obtida, como relata Bondi em 1960, como pôde a “confirmação” da relatividade geral ter-se dado tão precocemente, no distante 1919?

Considerações Finais

Na história recente da ciência, especialmente da Cosmologia, encontramos, tal qual, no *enigma de Sobral* muitas *anomalias* que acabaram sendo varridas para debaixo do tapete.

O físico alemão Finlay-Freundlich (1953, 1954) analisou a influência do potencial gravitacional sobre os resultados dos *redshifts* observados, encontrando *redshifts* de 10 a 20 vezes o predito pela relatividade geral (*redshift* gravitacional). Sugeria que o fóton perdia energia no denso campo de radiação solar.

Louis de Broglie, em 1962, concorda com a ideia de um *redshift* causado pelo 'enfraquecimento' (ou fadiga) da luz, e não por um efeito Doppler.

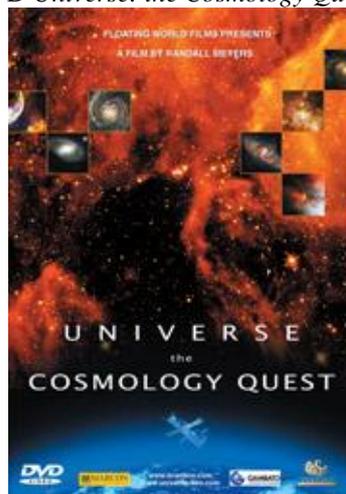
Halton Arp, em duas referências (1973, 1989) – citadas no capítulo 8-, apresenta dados empíricos sobre *redshifts* de quasares que colocam em dúvida a questão de suas distâncias cosmológicas (nos confins do Universo), ou seja, os quasares observados (de altos *redshifts*) parecem estar associados fisicamente a galáxias (de baixos *redshifts*). O argumento é muito forte e, assim, o quasar jamais poderia estar a uma distância cosmológica, nos confins do Universo. Para ele, o quasar poderia ser a ejeção de matéria de um núcleo galáctico, explicando os elevados *redshifts* de quasares associados a galáxias (de baixos *redshifts*).

O uso da história da ciência, com pesquisa às fontes originais do conhecimento, explorando as polêmicas de época, assim como um olhar crítico sobre as anomalias em medidas e observações demonstraram para nós que o professor, a partir das leituras críticas, mesmo que especializadas, dispõe de ferramenta fundamental para compreender o contexto didático e epistemológico da construção da ciência.

Randall Meyers (2004), que trabalhou na edição do consagrado filme de Hollywood, *The English Patient (O Paciente Inglês)*, editou um DVD duplo intitulado *Universe: The Cosmology Quest* (Figura 6) e procurou ir ao encontro de fontes originais e polêmicas da ciência. O resultado poderia servir para a educação científica e para demonstrar que as divergências de concepções de mundo fazem parte da própria estrutura da ciência e de seu ensino.

Feyerabend diria que nossa sociedade moderna é “copernicana” porque os cientistas são copernicanos e porque lhes aceitamos “a cosmologia tão arcaicamente quanto, no passado, se aceitou a cosmologia de bispos e cardeais” (FEYERABEND, 1985, p.97). Em síntese, a manutenção de certas interpretações estão condicionadas àquilo que as teorias induzem nas observações e medidas que, enfim, determinarão os *fatos*. Fatos, pois, confundem-se constantemente, na longa histórias das ciências, com aquilo que concordamos em batizar de *verdade* ou *realidade*.

Figura 6. Frontispício do DVD *Universe: the Cosmology Quest*, de Randall Meyers (2004)



Fonte: Arquivo pessoal do autor, 2016.

Referências

- ARP, H. et al. **The redshift controversy**. W. A. Benjamin Publishers: Massachussets, 1973.
- ARP, H. **La contessa sulle distanze cosmiche e le quasar**. Jaca Book: Milano, 1989.

BERTOTTI, B., BRILL, D., and KROTKOV, R. Experiments on gravitation, in Witten, L. (Ed.) **Gravitation: An Introduction to Current Research**. New York: John Wiley, pp. 1–48, 1962.

BONDI, H. **The Universe at Large**. New York: Anchor Books, 1960.

BORN, M. **Einstein theory of relativity**. Dover Publications: New York, 1962.

ALDER, N. **Einstein's Universe**. Harmondsworth, Middlesex: Penguin, 1979.

CAMPBELL, W. W. The total eclipse of the Sun, September 21, 1922. **Publications of the Astronomical Society of the Pacific**, 35, 11, 1923.

CAPRIA, M. M. A Construção da Imagem Científica de Mundo. Vale do Sinos: Unisinos, 2001.

CLARK, R. W. **Einstein: The Life and Times**. New York: World Publishing Company, 1971

DE BROGLIE, L. Remarques sur l'interpretation de la dualité des ondes et des corpuscules. **Cahiers de Physique**, 16, 425-445, 1962.

DE BROGLIE, L. Sur le déplacement des raies émises par un objet astronomique lointain. **Comptes Rendues de l'Academie des Sciences de Paris**, 263, 589-592, 1966.

DOUGLAS, A. V. **The Life of Arthur Stanley Eddington**. London: Thomas Nelson & Sons, 1957.

DYSON, F. W., EDDINGTON, A. S., and DAVIDSON, C. A. Determination of the deflection of light by the Sun's gravitational field, from observations made at the total eclipse of May 29, 1919. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London**, Series A, 220, 291, 1920.

EDDINGTON, A. S. (1920). **Space, Time and Gravitation: An Outline of the General Relativity Theory**. Cambridge University Press, 1920.

FEYERABEND, P. **Contra o método**. Livraria Francisco Alves: Rio de Janeiro, 1985.

FINLAY-FREUNDLICH, E. E. Über die rotverschiebung der spektralliniem. **Nachrichten der Akademie der Wissenschaften in Gottingen**, 7, 95-102, 1953.

FINLAY-FREUNDLICH, E. Redshifts in the spectra of celestial bodies. **Philosophical Magazine**, 45, 303-319, 1954.

FOWLER, A. (Chair of) Meeting of the Royal Astronomical Society, Friday, July 11, 1919. **The Observatory**, 42, 297, 1919.

KYOTO UNIVERSITY. Philosophy and History of Science. Disponível em: <<http://www1.kcn.ne.jp/~h-uchii/Edd.on1919.html>>. Acesso em 11 set. 2016.

LAS CASAS, R. **A Fama de Einstein: como, quando e onde começou?** Disponível em: <<http://www.observatorio.ufmg.br/pas16.htm>>. Acesso em 11 set. 2016.

MEYERS, R. Universe: the cosmology quest. Los Angeles: Floating Worlds, 2004. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=zy0KBzipGK4>> e <<https://www.youtube.com/watch?v=L01PU3r6fmA>>. Acesso em 11 set. 2016.

REBOUL, K. J. Untrivial red shifts: a bibliographical catalogue. **Astronomy and Astrophysics Supplement**, 45, 129-144, 1981.

SANTOS, A. M. N. e ARETTA, C. **Eddington e Einstein: Verificação Experimental da Teoria da Relatividade Generalizada na Ilha do Príncipe**. Lisboa: Gradiva, 1992.

THOMSON, J. [Chair of] Joint Eclipse Meeting of the Royal Society and the Royal Astronomical Society. **The Observatory**, 42, 389, 1919.

VON KLÜBER, H. The determination of Einstein's light-deflection in the gravitational field of the Sun. **Vistas in Astronomy**, 3, 47, 1960.

WHITEHEAD, A. N. **Science and the Modern World**. Cambridge University Press, 1926.