

MARCOS CESAR DANHONI NEVES, FABIANA RIBEIRO, FRANCIANA PEDROCHI, JORGE
HENRIQUE OLIVEIRA, MÔNICA SANCHES, RAQUEL CARMEM SCOARIS, ROBERTO
GONÇALVES BARBOSA, SANDRA APARECIDA ROMERO, SÍLVIA OLIVEIRA RESQUETTI,
VANÍRIA BIANCHI

O enigma de Sobral: o tardio *Annus Mirabilis* de Einstein no Brasil e além...

**[The enigma of Sobral: Einstein's later *ANNUS MIRABILIS* in Brazil and
beyond...]**

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 o curso “Tópicos de Física Moderna e Contemporânea” do Mestrado em Educação para a Ciência (UEM).

A idéia inicial foi analisar livros-textos e de divulgação em física e cosmologia acerca dos dois temas supracitados. Depois foi realizada uma pesquisa envolvendo 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 idéia 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-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, 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 reconstrua 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.

No presente artigo enfatizamos, devido às comemorações do centenário do *annus mirabilis* de Einstein, o evento de Sobral (apesar de pertencer aos estudos de 1915 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 comemora os 100 anos dos trabalhos fundamentais de Einstein: o *annus mirabilis* do famoso físico alemão. Devido ao centenário daqueles trabalhos notáveis, o corrente ano foi dedicado à física e suas implicações na sociedade. O ano de 2005 foi denominado de “Ano Mundial da Física”.

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

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

Einstein previa (figura 1) que, 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.

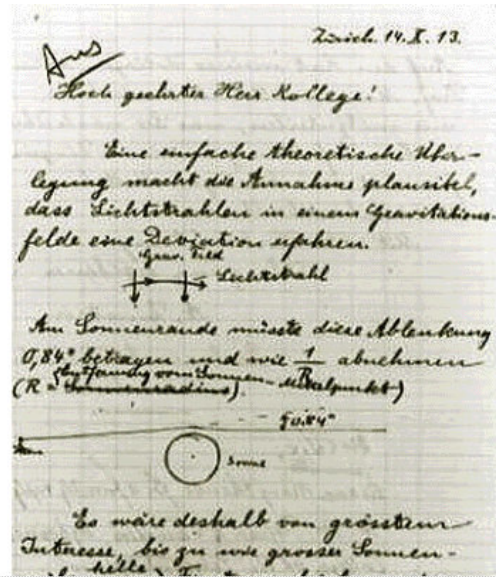


Figura 1. Estudos de Einstein sobre a deflexão da luz

O que a história oficial conta é que as observações, tanto em Sobral quanto em Príncipe, comprovaram a previsão da relatividade geral (Santos e Aurretta 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 à Príncipe, agiu como o maior ‘publicitário’ do físico alemão (figura 2) e de suas idéias sobre uma nova visão de mundo e de universo.

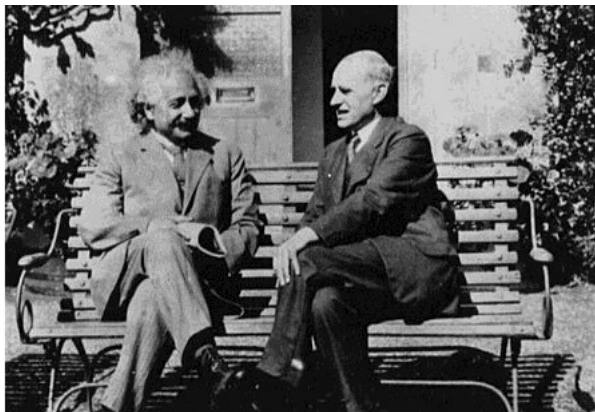


Figura 2. Einstein e Eddington em Cambridge

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). Diz 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 a newtoniana, haverá um deslocamento aparente de uma estrela próxima da orla solar de $0,87''$.
- 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 um valor de $1,75''$.

Problemas

O grande problema das observações de Sobral (figuras 3,4,5) e Príncipe foram as 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:

1. refração da luz da coroa solar e/ou na atmosfera terrestre.
2. distorções no sistema ótico causado pelas mudanças de temperatura durante o eclipse.
3. mudanças de escala entre as chapas fotográficas e as chapas de comparação.
4. distorções na emulsão fotográfica durante o processo de secagem.
5. erros de medida das imagens nas placas.



Figura 3. Sobral e Príncipe: a região da totalidade

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 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 (Fowler 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.

Isso é a confissão de que boa parte das chapas obtidas em Príncipe eram simplesmente “imprestáveis”! Porém, mesmo assim, Eddington não dá-se 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 desta chapa diz:

Os resultados desta chapa dá 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]

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 uma 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 quê, em sua comunicação oficial à Royal Astronomical Society, Eddington preferiu os resultados de Príncipe e não aqueles de Sobral (que apresentava muitas chapas “prestáveis”)?



Figura 4. Uma vista de Sobral



Figura 5. O local da observação do eclipse em Sobral

A resposta foi a de que em Sobral não haviam “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.

A respeito desse comportamento, Campbell (1923) 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.

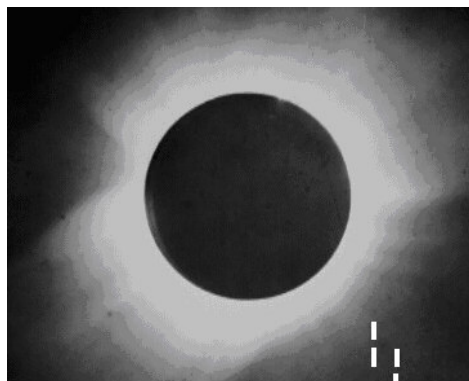


Figura 6. Fotografia da totalidade do eclipse em Sobral, 1919. As pequenas linhas brancas verticais no canto inferior direito mostram a posição deslocada das estrelas.

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):

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 grama 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): “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 (Thomson, 1919):

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.

Hermann Bondi (1960), que jamais poderá ser classificado como um anti-relativista, 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.

E Nigel Calder (1979, p.103) que arremata:

Os resultados do eclipse foram um triunfo. As idéias 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 idéias 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 uma 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?

Conclusão

Na história recente da ciência, especialmente da Cosmologia, encontramos, tal qual, o “enigma de Sobral” muitas “anomalias” que acabaram sendo varridas para debaixo do tapete.

Freundlich (1953, 1954) discutiu o redshift das linhas espectrais de estrelas dos tipos O e B, pertencentes a nebulosa de Órion. Ele analisou a influência do potencial gravitacional sobre os resultados dos redshifts observados. Ele encontrou para as estrelas do tipo O um redshift de cerca de + 18 km/s. Analisando sistemas binários de

estrelas, ele encontrou redshifts de 10 a 20 vezes o predito pela relatividade geral (redshift gravitacional).

Tentando explicar a natureza dos redshifts observados, Freundlich (1954) sugere a seguinte hipótese:

Eu proponho introduzir como hipótese adicional (o fato de que) a luz, passando através de profundas capas de campos intensos de radiação, perde energia - talvez devido a uma interação fóton-fóton - e que a energia perdida seja proporcional tanto à densidade do campo de radiação quanto ao comprimento do caminho atravessado pela luz através do campo de radiação.

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

Um fóton vindo de uma nebulosa muito distante teria sua onda enfraquecida através de uma pequena atenuação ou absorção pela matéria absorvedora extremamente tênue que sabemos existir no espaço interestelar ... Isto poderia resultar num gradual decréscimo do quantum $h \cdot \nu$, e produzir assim um redshift através de um mecanismo bastante diferente da forte absorção do fóton ou do efeito Compton. O mecanismo real seria a continuação absorção 'fraca' da onda.

Quatro anos depois, em 1966, De Broglie continua mantendo esta posição.

Além dos trabalhos citados até o momento, que são "desconhecidos" dos livros-textos e da bibliografia em geral de Cosmologia Moderna (mesmo o clássico *Os Três Primeiros Minutos*, de S. Weinberg, 1980, em seu capítulo 6, '*Digressão Histórica*', não faz menção a nenhum dos autores citados no presente trabalho, que defendem a idéia de um Universo estacionário), existem inúmeros outros artigos que apresentam redshifts *anômalos*. A referência de Reboul apresenta lista 772 redshifts não explicados pelo efeito Doppler!

Por que o Big Bang é a teoria paradigmática atual da Cosmologia Moderna? Segundo Weinberg:

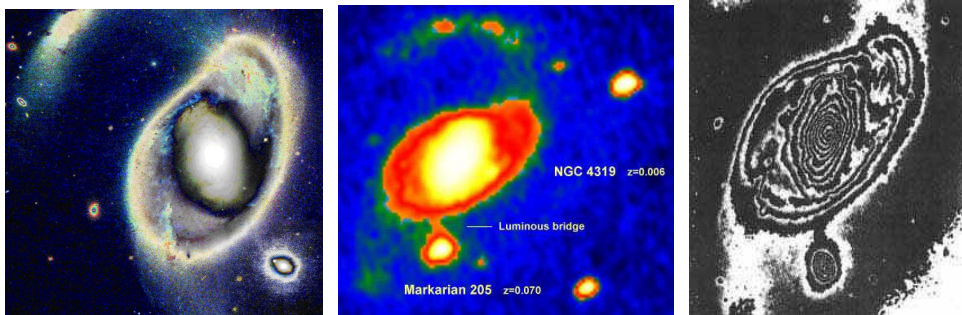
Porque (...) ficamos com o 'modelo padrão' [Big Bang]? Como foi que ele suplantou as outras teorias, inclusive a do estado permanente? É um tributo à objetividade da astrofísica moderna a afirmação de que o consenso foi atingido pela pressão dos dados empíricos, e não por variações de preferência filosófica nem pela influência de mandarins da astrofísica.

É discutível a questão dos "dados empíricos", de que nos fala Weinberg. Halton Arp, em duas referências (1973, 1989), apresenta dados empíricos sobre redshifts de quasars que colocam em dúvida a questão de suas distâncias cosmológicas (nos confins do Universo), ou seja, os quasars observados (de altos redshifts) parecem estar associados fisicamente a galáxias (de baixos redshifts) - ver tabela. A figura 7a mostra uma fotografia da galáxia NGC 4319. A galáxia tem um baixo redshift, mas o objeto menor (supostamente um quasar) de forma elíptica brilhante - canto inferior esquerdo da foto - apresenta um redshift altíssimo. Os defensores do Big Bang afirmaram apressadamente que a foto era uma coincidência ótica, uma ilusão ótica, causada pela sobreposição na chapa fotográfica de um objeto próximo - a galáxia - e um quasar, ao fundo, muito mais distante. No entanto, Halton Arp, trabalhando o processo fotográfico descobriu que entre os dois objetos existe uma ponte física ('*luminous bridge*'), como mostram as figuras 7b e 7c. Assim, o quasar jamais poderia estar à distância cosmológica, nos confins do Universo.

Para Arp, o quasar pode ser a ejeção de matéria de um núcleo galáctico, o que explicaria os elevados redshifts de quasars associados a galáxias (de baixos redshifts).

Galáxia	Redshift	Quasar	Redshift
NGC 622	0,018	UB1 e BS01	0,91 e 1,46
NGC 470	0,009	68 e 68D	1,88 e 1,53
NGC 1073	0,004	BS01, BS02 e RS0	1,94, 0,60 e 1,40
NGC 3842	0,020	QS01, QS02 e QS03	0,34, 0,95 e 2,20

Tabela



Figuras 7 a,b,c – Fotografias da galáxia NGC 4319

A questão que está em jogo é a concepção kuhniana da aceitação da comunidade científica de um paradigma, ou seja, a de que o esquecimento das fontes originais do conhecimento acaba por determinar uma escolha, numa atitude que define os problemas da ciência como resolvidos de fato.

Por exemplo, Einstein, ao tomar conhecimento de trabalho de Freundlich, responde em carta à Max Born (1962):

Freundlich ... não me abala de maneira alguma. Ainda que a deflexão de luz, o movimento do perihélio ou o desvio fossem desconhecidos, as equações da gravitação continuariam a ser convincentes, pois evitariam o sistema inercial (...). É realmente estranho que os seres humanos se mostrem geralmente surdos aos mais fortes argumentos, enquanto se inclinam a superestimar precisões de medida (grifos nossos).

Essa carta de Einstein é flagrante ao mostrar que a ciência é, sobretudo, **opção**. Tanto Freundlich quanto Einstein poderiam estar surdos um com relação aos argumentos do outro e vice-versa.

A questão é que o paradigma do Big Bang aí está porque, à medida que juntaram-se os "dados empíricos" posteriormente à teoria, a educação científica tratou de realizar o trabalho **seletivo**, expurgando teorias rivais.

Feyerabend (1985) diz:

(essa estagnação [a da Física] liga-se ao fato de que a Física está se transformando de ciência em negócio e de que os físicos mais jovens deixaram de usar a História e a Filosofia como instrumentos de pesquisa).

E continua:

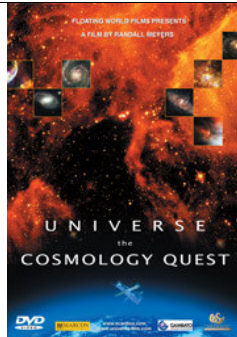
A sociedade moderna é 'copernicana', mas não porque a doutrina de Copérnico haja sido posta em causa, submetida a um debate democrático e então aprovada por maioria

simples; 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.

A permanência da teoria do Big Bang demonstra a essência básica da ciência e de sua propagação pelo ensino: um constante e "quase natural" esquecimento das fontes originais do conhecimento.

O uso da história da ciência, na pesquisa às fontes originais do conhecimento, na exploração das polêmicas e de suas anomalias, assim como o uso de mapas conceituais demonstraram para nós que o professor, a partir das leituras críticas, mesmo que especializadas, dispõe de uma 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" (ver sinopse original no box) procurou ir ao encontro de fonte originais e polêmicas da ciência. O resultado poderia servir para a educação científica e para mostrar que as divergências de concepções de mundo fazem parte da própria estrutura da ciência e de seu ensino.



This feature length presentation is a unique mixture of 'human interest' and science documentary film. As the first comprehensive documentary to deal with major new approaches in non-big bang cosmologies, it reveals several deep-rooted theoretical and observational controversies.

This is a fact, well hidden from university students and the general public, which is told with clarity and conviction; and potentially leading to the down-fall of the presiding Big Bang theory.

The story is told by 16 world renown astronomers and cosmologists; such as the legendary Sir Fred Hoyle, controversial cosmologists - Geoffrey Burbidge and Halton Arp, philosopher and telescope designer John Dobson, and Nobel Laureate Kary Mullis.

Nearly 3.5 hours of film and extra interviews, illustrated with 3D animations and a lush symphonic soundtrack - a scientific and historical "must" for anyone interested in astronomy and cosmology today!

Director:

Randall Meyers

Agradecimentos.

M.C.D.N. agradece ao CNPq (Projeto NOIAC) pelos recursos financeiros nos últimos anos.

Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência, UEM, PR,
macedane@yahoo.com

Referências bibliográficas

- Arp, H. et al. (1973). *The redshift controversy*. W.A. Benjamin Publishers: Massachussets.
- Arp, H. (1989). *La contessa sulle distanze cosmiche e le quasar*. Jaca Book:Milano.
- Bertotti, B., Brill, D., and Krotkov, R. (1962). Experiments on gravitation, in Witten, L. (Ed.) *Gravitation: An Introduction to Current Research*. New York: John Wiley, pp. 1–48.
- Bondi, H. (1960). *The Universe at Large*. New York: Anchor Books.
- Born, M. (1962). *Einstein theory of relativity*. Dover Publications:New York.
- Calder, N. (1979). *Einstein's Universe*. Harmondsworth, Middlesex: Penguin.
- Campbell, W. W. (1923). The total eclipse of the Sun, September 21, 1922. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 35, 11.
- Capria, M.M (2001). *A Construção da Imagem Científica de Mundo*. Vale do Sinos: Unisinos.
- Clark, R. W. (1971). *Einstein: The Life and Times*. New York: World PublishingCompany.
- De Broglie, L. (1962). Remarques sur l'interpretation de la dualité des ondes et des corpuscules. *Cahiers de Physique*, 16, 425-445.
- De Broglie, L. (1966). Sur le déplacement des raies emises par un objet astronomique lointain. *Comptes Rendues de l'Academie des Sciences de Paris*, 263, 589-592.
- Douglas, A. V. (1957). *The Life of Arthur Stanley Eddington*. London: Nelson.
- Dyson, F. W., Eddington, A. S., and Davidson, C. A (1920). 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.
- Eddington, A. S. (1920). *Space, Time and Gravitation: An Outline of the General Relativity Theory*. Cambridge University Press.
- Feyerabend, P. (1985). *Contra o método*. Livraria Francisco Alves:Rio de Janeiro.
- Fowler, A. (1919). (Chair of) Meeting of the Royal Astronomical Society, Friday, July 11, 1919. *The Observatory*, 42, 297.
- Finlay-Freundlich, E. E. (1953). Uber die rotverschiebung der spektralliniem. *Nachrichten der Akademie der Wissenschaften in Gottingen*, 7, 95-102.
- Finlay-Freundlich, E. (1954). Redshifts in the spectra of celestial bodies. *Philosophical Magazine*, 45, 303-319.
- Meyers, R. (2004) [http://www.scanbox.com/images/film/1414/UniverseCosmology\(1\).jpg](http://www.scanbox.com/images/film/1414/UniverseCosmology(1).jpg)
- Misner, C.W. et al. (1973). *Gravitation*. W.H. Freeman, p. 1279.
- Reboul, K.J. (1981). Untrivial red shifts: a bibliographical catalogue. *Astronomy and Astrophysics Supplement*, 45, 129-144.
- Santos, A.M.N. e Aretta, C. (1992) *Eddington e Einstein: Verificação Experimental da Teoria da Relatividade Generalizada na Ilha do Príncipe*. Lisboa: Gradiva, 1992.
- Thomson, J. (1919). [Chair of] Joint Eclipse Meeting of the Royal Society and the Royal Astronomical Society. *The Observatory*, 42, 389.

- von Klüber, H. (1960).The determination of Einstein's light-deflection in the gravitational field of the Sun. *Vistas in Astronomy*, 3, 47.
- Weinberg, S. (1980). *Os três primeiros minutos: uma discussão moderna sobre a origem do universo*. Guanabara Dois:Rio de Janeiro.
- Whitehead, A. N. (1926). *Science and the Modern World*. Cambridge University Press.

Inserito: 17 ottobre 2005
Scienza e Democrazia/Science and Democracy
www.dipmat.unipg.it/~mamone/sci-dem