


Criação do Centro
Brasileiro de
Pesquisas Físicas,
que comemora
60 anos, foi
fundamental para
o desenvolvimento
e investigação
cosmológica de
fronteira

Por Mário Novello

Universo *oscilante* e a cosmologia no Brasil



O Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (CBPF) faz 60 anos. Além de vários eventos que estão ocorrendo ao longo deste ano para comemorar a data, um livro especial sobre alguns importantes momentos de sua história será publicado ainda em 2009. Neste artigo comentarei brevemente um pouco dessa história, vivenciada por minha geração, concentrando-me em particular na cosmologia, e tratarei do cenário de Universo sem singularidade inicial, isto é, o modelo de Universo eterno.

A ciência é sempre uma atividade coletiva. Isaac Newton explicitou essa dependência com os trabalhos científicos antecedentes, quando argumentou que, se seu trabalho foi importante e conseguiu ver longe, isso se deveu ao fato de que estava apoiado sobre gigantes – referindo-se a Tycho Brahe e outros astrônomos que o antecederam.

Isso leva qualquer discurso sobre a ciência feito no CBPF a falar da importância de cientistas como Cesar Lattes, Jayme Tiomno, José Leite Lopes. E, para mim, em particular, lembrar Colber Gonçalves de Oliveira e Carlos Márcio do Amaral que iniciaram as bases para que estudos sistemáticos sobre gravitação pudessem ser feitos nos anos 60 permitindo, na segunda metade da década de 70, que atividades de pesquisa em cosmologia se iniciassem no CBPF e no Brasil.

Minha geração herdou, no fim dos anos 60, toda a excitação das profundas conquistas científicas dos pais fundadores do CBPF ao longo da década anterior e, em particular, com os trabalhos de César Lattes, Jayme Tiomno e Leite Lopes. Convivíamos então com a descoberta de Lattes do meson π , que iniciara a moderna física das partículas elementares; admirávamos os mecanismos pelos quais Tiomno intuía os meandros que, a partir da álgebra de Clifford, usada para descrever elétrons e neutrinos, pôde conduzir à violação de paridade e ao famoso triângulo de Tiomno, típico das interações fracas de desintegração da matéria; e ficávamos encantados com o modo elegante e simples com que Leite nos iniciava ao mundo das interações fortes que controlavam a estabilidade da matéria. A partir desse contato, pudemos – eu, Sergio Joffily, Alberto Santoro e outros mais de nossa geração – admirar a maravilhosa percepção com que, anos antes, Mario Schoenberg, em parceria com o físico russo-americano George Gamow, ao interpretarem o papel fundamental que o neutrino desempenha nos processos estelares, deu início à moderna astrofísica, estabelecendo o que chamaram de Processo Urca. Esse nome, que prefigurava onde seria instalado o CBPF, no tranquilo bairro carioca da Urca, se deveu ao momento em que Gamow e Schoenberg conseguiram entender a evolução estelar, depois de uma noite no Cassino da Urca. Seria uma verdadeira dádiva dos deuses se a organização internacional dedicada à cosmologia e astrofísica, que estamos construindo, o Brasil em parceria com o Vaticano, Armênia, e Itália – e, em breve, com a adesão da França e Alemanha – se instalasse naquele prédio hoje desativado.

IMAGEM DO TELESCÓPIO HUBBLE revela a beleza da galáxia espiral NGC 1300: interesse pela cosmologia cresceu muito nos últimos anos.

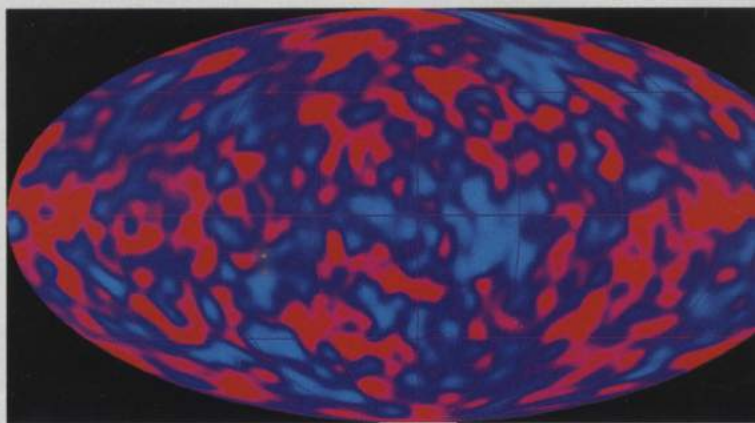
O MAPA DE RADIAÇÃO CÔSMICA, baseado nos primeiros anos de pesquisa do satélite Cobe, da Nasa, mostra as variações de temperatura (o vermelho é mais quente) nas estruturas iniciais do Universo, abrindo uma nova era de precisão na cosmologia e reforçando a teoria de que houve um Big Bang.

Uma Nova Ciência

Vivíamos então um momento excepcionalmente produtivo da ciência, que fizera do CBPF um lugar de atração para todos que pretendiam entender os mecanismos pelos quais a Natureza funciona: aqueles cientistas haviam produzido um cenário maravilhoso a partir do qual poderíamos entender um sem-número de efeitos físicos e processos fundamentais.

Ao construírem, no CBPF, um centro de reflexão fundamental sobre a Natureza, esses homens estavam perseguindo um modo de fazer ciência que, infelizmente estava por se esgotar, fadado a sofrer mudanças de tal ordem que o transformariam radicalmente. O melhor modo de exemplificar essa atitude e comparar as atitudes científicas representadas pelas duas formas distintas anteriores à unificação de 1927 da mecânica quântica representava alternativas em sua fundamentação e que simbolizávamos, então, com o que chamávamos de “as visões complementares de Heisenberg e Schrödinger”. O primeiro pretendia organizar o mundo quântico como resultado de observações substanciadas em números reais, representando medidas efetivamente realizadas. Competiria aos físicos descobrir conexões entre esses números. Foi o que Heisenberg realizou com enorme sucesso por meio da teoria das matrizes. Não haveria espaço, em seu esquema, para divagações ontológicas. A realidade se identifica com o observado. O real é o observado. Nada mais.

Em contraposição, Schrödinger descrevia o mundo como um processo contínuo, envolvendo uma função Psi em um espaço abstrato de representação, que simbolizava uma realidade cuja ontologia era um *a priori* que se exibiu ao longo de todo o processo organizado a partir



da efetiva realização de uma medida, passando por uma configuração controlada por uma dinâmica a que esta função Psi deveria satisfazer.

Dividíamos, de modo simplificado, mas bastante representativo do que vivíamos cotidianamente em nosso aprendizado como cientistas, o que chamávamos “o modo direto e prático de fazer ciência, típica da escola americana” (que identificávamos ingenuamente como o estilo-Heisenberg) e “o modo completo e metafísico da escola europeia, em particular da Alemanha (ou o estilo Schrödinger). Sabíamos que essa simplificação formal não representava fielmente as complexas interpretações que aqueles cientistas produziam em suas atividades cotidianas, mas isso nos bastava para entender a prática social vigente no mundo da ciência que começava a nos aparecer como o “primado da eficiência prática”. Contra essa visão, que nos parecia simplista, se opunha o modo completo e investigativo de não se deixar contentar com a superficialidade de explicações, mesmo que pudessem produzir uma forma prática de como elaborar e dar sentido às observações. No dizer de Lattes, não se deveria ceder aos encantos de sermos aceitos pelo *establishment*.

CRONOLOGIA DA COSMOLOGIA

Durante o ano de 2007 o Instituto de Cosmologia Relatividade e Astrofísica (Icra) do Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (CBPF), órgão do Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT), solicitou a uma equipe de cientistas que produzissem um pequeno resumo dos principais momentos que marcaram a cosmologia moderna ao longo do século 20. A partir desse resumo produziu-se um pôster contendo esses momentos como marcos de referência da evolução da cosmologia moderna desde seu começo, em 1917, até o fim do século passado.

O primeiro modelo cosmológico do físico russo Alexander Friedman (1888-1925) representa um universo espacialmente homogêneo (mesmas propriedades em qualquer lugar do espaço) e isotrópico (mesmas propriedades em qualquer direção do espaço) que se expande desde seu começo, quando o volume é zero, até um volume máximo. Depois, se contrai atingindo novamente a singularidade (volume igual a zero). A fonte dessa geometria é um fluido perfeito cuja energia se distribui de modo incoerente, sem interação entre suas partes (ou seja, sem pressão).

Década de 10

Década de 20

1915

O físico alemão Albert Einstein (1879-1955) cria uma nova teoria da gravitação, a relatividade geral (RG), identificando a força gravitacional com a estrutura geométrica do espaço-tempo.

1917

Einstein propõe o primeiro modelo cosmológico relativista e introduz uma nova constante universal representada pela letra grega Λ (lambda), chamada de constante cosmológica. Este modelo representa um universo finito e estático, isto é, sem expansão: o volume total do espaço tridimensional não varia com o tempo. O astrônomo holandês William de Sitter (1872-1934) usando as equações da relatividade geral estabelece o segundo modelo cosmológico e mostra que contrariamente ao modelo de Einstein, este mesmo lambda pode produzir um universo em expansão em regime estacionário, isto é, com velocidade de expansão constante. A existência de Λ é suficiente para produzir este universo, desprezando a ação da matéria e da energia. Assim, o modelo de Sitter não tem matéria, é pura geometria.

1922

1924

Friedman publica um segundo modelo cosmológico semelhante ao de 1922 com a importante diferença que nesta nova solução a estrutura do espaço tridimensional permite que o volume total do universo aumente indefinidamente.

Conceitos-chave

- Para convencer os governantes a apoiar um centro de pesquisas científicas, logo após o término da guerra, alguns dos mais notáveis cientistas brasileiros recorreram a um argumento estratégico. A nova física teria mergulhado tão profundamente na realidade a ponto de estimular o surgimento de uma sociedade menos dependente do exterior, com desdobramentos envolvendo independência em escala internacional e, internamente, mais justiça social.
- Ao longo de 1976 o CBPF, entidade que materializava essa expectativa, passou por mudanças radicais. Consciente das dificuldades que afetavam uma instituição de natureza especial, voltada para a pesquisa fundamental, o governo aceitou abrigar essa entidade em um órgão federal. Assim, o CBPF foi o primeiro instituto de pesquisas físicas incorporado diretamente à administração do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico [CNPq].
- A recente explosão do interesse pela cosmologia teve várias consequências, mas talvez a mais notável seja o fato de estar induzindo a uma refundação da física.
- Deste processo de refundação da física participaram cientistas brasileiros como Cesar Lattes e o inglês Paul Dirac, entre outros. Mas a maneira prática com que trataram essa questão permitiu uma reação que rejeitou essas ideias. Agora, no entanto, os formidáveis avanços recentes da cosmologia observacional permitem aceitar que estejamos próximos do tempo em que uma análise dessa refundação, um pouco mais sofisticada daquela simples modificação das constantes fundamentais como pretendidas por Dirac e outros, possa ser seriamente empreendida.

O matemático americano Edward Kasner (1878-1955) constrói uma solução das equações de Einstein, sem matéria e sem constante cosmológica, que representa um universo espacialmente homogêneo, mas anisotrópico, isto é, com propriedades distintas em diferente direções.

O astrônomo americano Edwin P. Hubble (1889-1953) deduz a relação empírica do afastamento das galáxias a partir de dados observacionais e introduz o conceito do universo em expansão. Talvez a maior descoberta já feita na cosmologia.



1927

O padre belga Georges Lemaître (1894-1966) constrói um modelo cosmológico representando um universo em expansão, contendo matéria, radiação e constante cosmológica Λ . Associa a singularidade inicial desse modelo à noção de "átomo primordial", apresentando uma hipótese cosmogônica segundo a qual o Universo teria resultado da desintegração radioativa de um átomo. Quase 30 anos depois, essa "explosão" vai reaparecer no imaginário cosmológico representado pelo cenário Big Bang.



1929

O matemático e físico americano Howard P. Robertson (1903-1961) estabelece uma forma matemática que representa Universo espacialmente homogêneo e isotrópico do tipo de Friedmann. Esse modelo de Universo obedece ao "princípio cosmológico" segundo o qual todos os pontos espaciais têm as mesmas propriedades físicas e geométricas.

Ou, traduzindo para os dias de hoje, não deveríamos escolher como tema de nossas pesquisas os caminhos que conduzem a um grande número de citações. Nosso diálogo, enquanto cientistas, e para merecer este nome, deveria ser com a Natureza e não com nossos colegas.

Hoje, uma simples consulta ao sistema desenvolvido pelos principais organismos financiadores da pesquisa – como CNPq e Capes – é suficiente para entender a direção em que se encaminhou o CBPF e, por continuação analítica, o Brasil.

Sensibilização do Poder

Para convencer os governantes da oportunidade de criar e apoiar um centro de pesquisas científicas, logo após o término da guerra mundial de 1939-45, aqueles pais fundadores e outros mais, cientistas e simpatizantes desta causa, foram levados a vender uma ilusão: a de que a nova física penetrara tão profundamente no conhecimento das leis da Natureza, conseguira apreender de forma tão completa como as diferentes substâncias se condensam a partir de átomos fundamentais, a partir de partículas mais ínfimas ainda, que certamente a sociedade poderia absorver seus ensinamentos para transformar significativamente seu cotidiano e, quem sabe, permitir o surgimento de uma sociedade menos dependente do exterior, afastando ecos tão presentes do passado de um país colonizado e conseqüentemente, mais igualitária e socialmente menos injusta.

No topo dessas possibilidades, surgia a questão nuclear e todo o mistério que então cercava ainda o impacto em nossas mentes das bombas que os americanos haviam utilizado na destruição de Hiroshima e Nagasaki. A mesma ciência que encantava com as descobertas maravilhosas dos constituintes fundamentais da matéria produzia também horror e destruição. Aprendíamos, então, que não era suficiente adquirirmos habilidades téc-



Prof. Mário Novello

Caro Mário

Estou te escrevendo para que
fique registrado que me lembro
muito do tempo em que participei
de suas aulas, durante o estágio de colônia
de férias em São Carlos e também de
seus cursos de pós-graduação em
cosmologia e gravitação no
CBPF, em particular os cursos de
cosmologia e gravitação em São Carlos
e em Campinas.

Estou aqui a escrever para lembrar
e registrar que a experiência de trabalhar
com você e com os outros colegas do
CBPF foi muito enriquecedora e muito
importante para mim.

Com o melhor de meus votos,
um abraço a todos.

Seu amigo,
Antonio César Olinto

nicas, aperfeiçoarmos
nosso conhecimento
para entender o micro-
cosmo – o mundo das
partículas elementares
– e até mesmo a estru-
tura e evolução das estre-
las e, para além, na for-
mação da cosmologia,
a totalidade maior, o
Universo. Era preciso
algo mais: refletir sobre
nossa atividade e res-
ponsabilizarmos toda a
sociedade – cientistas à
frente – na escolha sele-

atrás da qual se esconde um poder político que não
ousa se declarar como tal”.

Cosmologia e Gravitação

Durante o ano de 1976 o CBPF passou por uma mu-
dança radical. Consciente das dificuldades que afligiam
uma instituição de natureza muito particular, voltada
para a pesquisa fundamental, o governo aceitou inte-
grar este centro em um órgão federal. O CBPF passou
assim a ser o primeiro instituto de pesquisas físicas in-
corporado à administração do Conselho Nacional de
Pesquisas (CNPq), hoje Conselho Nacional do Desen-
volvimento Científico e Tecnológico.

O CBPF iniciou sua nova fase com Antonio César
Olinto como diretor. Foi nesse quadro de renovação que
a cosmologia conseguiu seu espaço e adquiriu destaque
como uma nova área de atuação da instituição. Esse pe-
ríodo é rico em debates entre personalidades que fizeram
a história da física no Brasil, mas deixarei para contar em
outra ocasião. Aqui, o que nos interessa é somente o re-
sultado final que desemboca no aceite pelo diretor do
CBPF em conceder apoio financeiro e institucional à cria-
ção da Primeira Escola Brasileira de Cosmologia e Gra-
vitação, e que, mais tarde, com sua internacionalização,
passou a ser conhecida como Brazilian School of Cosmo-
logy and Gravitation, daí a sigla BSCG.

O orçamento dessa Escola foi reduzido, financiada
basicamente pelo CBPF. Entretanto, o entusiasmo dos
alunos foi tão grande que conseguiu transformá-la em um
enorme sucesso, contrário às previsões pessimistas de vá-
rios colegas. Só para citar um exemplo desta importante
coparticipação dos estudantes, lembramos o desempe-
nho na organização dos textos da Escola. Embora os
professores houvessem preparado cuidadosamente suas
notas de aula, não tínhamos a possibilidade de imprimi-
las. Pois a solução foi dada pelos próprios alunos, que as

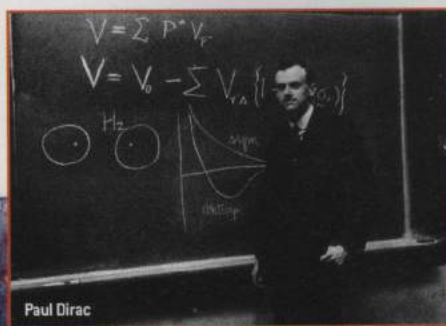
tiva da utilização dos conhecimentos produzidos. Em
uma frase: ciência com consciência.

Descobríamos então que, para minha geração, o
CBPF não era uma “simples escola de aprendizado de
como se pode ser um cientista e o que fazer para chegar
a isso”. Era mais, era um templo de formação humana,
onde os ideais de conhecer a estrutura do Universo só
adquiriam seu significado integral e completo ao ser
acompanhados de uma visão social humanista, demo-
crática, igualitária, tolerante e sem preconceitos. Não
nos importava substituir, no topo do conhecimento
científico, uma teoria por outra, mas rejeitar toda e
qualquer forma de autoritarismo e absolutismo, pois
sabíamos que toda verdade (científica ou não) é provi-
sória. Foi então que aprendemos a máxima que nor-
teou nossa carreira desde então: quando uma dada vi-
são, que atingiu o estágio de ser aceita como verdade
científica, pretende permanecer absoluta para dela usu-
fruir e utilizar o status elevado de que a ciência desfruta
na sociedade, ela nada mais será que “uma máscara

EM CARTA DE 1988,
César Lattes apoia a
transformação das
Escolas de Cosmologia em
foro permanente, como
forma de sensibilizar as
autoridades em Brasília.

CRONOLOGIA DA COSMOLOGIA

O astrônomo búlgaro F. Zwicky (1898-1974)
propõe o conceito de matéria escura graças às
observações das velocidades locais das galáxias
em aglomerados. Zwicky e colaboradores
inferem que há muito mais matéria no Universo
que a emitida pela luz visível (estrelas).



Paul Dirac

Década de 30

1932

Albert Einstein e William de Sitter
descobrem uma solução cosmológica
de tipo semelhante à de Friedmann,
tendo espaço homogêneo e isotrópico
caracterizado por uma geometria
euclidiana. A fonte deste Universo é um
fluido perfeito e sem pressão.

1933

1937

Uma nova questão surge na cosmologia: inverte-se o pensamento tradicional, isto é, de como a matéria influencia o comportamento global do Universo para como o Universo influencia as próprias leis da Física. O físico britânico Paul Dirac (1902-1984) lança a hipótese de que algumas constantes fundamentais da física [a constante de Newton, por exemplo] poderiam depender do estado cosmológico em que o Universo se encontra [interação gravitacional muda com a evolução cósmica]. Seguindo este modo de pensar, em 1967, o físico russo-americano Georg Gamow (1904-1960) sugere que a carga de elétron poderia variar com o tempo cósmico [interação eletromagnética muda com a evolução cósmica]. Em 1972, o físico brasileiro Mario Novello reorienta essa análise argumentando que não seriam as constantes fundamentais da física que poderiam depender do tempo cósmico, mas os próprios mecanismos de interação. Como um exemplo dessa orientação sugere que nos processos de desintegração da matéria via interação fraca, a violação da paridade dependeria do estágio de evolução do Universo [interação fraca muda com a evolução cósmica].

mimeografaram, criaram uma capa (de cor amarelo-forte) e providenciaram a encadernação manual de todos os textos disponibilizados pelos professores.

Essa força de vontade dos alunos estimulou enormemente os professores, que mantiveram toda a Escola em permanente atividade, produzindo uma interação aluno-professor que ficou como a marca principal dessa experiência e foi o que permitiu ao diretor do CBPF convencer as autoridades (CNPq, Capes) a financiar as demais Escolas.

Há também, além desses aspectos científicos envolvendo o início de uma atividade que deu certo e que hoje, 30 anos depois, continua cada vez mais estimulante e atrativa para aqueles jovens cientistas que pretendem examinar questões cosmológicas, uma curiosidade envolvendo um grande nome da ciência brasileira que certamente é conveniente deixar registrado aqui.

Tempos Difíceis

Nos anos 70 o Brasil vivia uma fase política extremamente difícil. Isto se fazia notar, e muito, no CBPF, que havia tido alguns de seus melhores quadros proibidos de continuar exercendo suas atividades científicas na instituição. Alguns deles haviam escolhido trabalhar em universidades no exterior, como José Leite Lopes, que encontrara na Universidade de Estrasburgo, na França, uma acolhida digna de seu status científico. Eu tentara convidá-lo para abrir esta Primeira Escola por duas razões: por se tratar de cientista importante no panorama brasileiro e internacional; além disso, havia uma razão mais pessoal. Embora não tivesse trabalhado em teoria da gravitação nem em cosmologia, fora meu orientador de tese de mestrado em 1968 e ali havia despertado meu interesse pelas bases formais da física. Consequentemente, estava ligado a meus interesses em cosmologia, a ciência que trata dos fundamentos da realidade do Universo. Entretanto, por

razões políticas, ele não pôde aceitar meu convite. Ao comunicar este fato logo na abertura da Primeira Escola, resolvemos, alunos e professores, redigir um documento assinado por todos e enviá-lo para Leite Lopes.

Na segunda metade dos anos 70, a atenção dos físicos foi atraída por processos de natureza global, cósmicos. Seguiu-se então uma intensa atividade que percorreu a comunidade dos físicos de diversas áreas e muitos foram levados a migrar para a cosmologia. Este movimento foi tão intenso e amplo e envolveu tantos cientistas que somente uma análise sociológica da prática científica permitiria entender a transformação pela qual passou essa ciência e as mudanças ocorridas no modo tradicional como os estudos cosmológicos tinham sido até então conduzidos.

Essa atividade produziu inúmeras propostas de soluções a algumas questões cosmológicas e induziu a reformulação de questões tradicionais da física, graças ao reconhecimento pela comunidade científica internacional da confiabilidade que poderia ser atribuída ao modo cósmico de investigação da Natureza.

Até o final dos anos 60, pouco interesse despertava a cosmologia, fora de um pequeno círculo de cientistas trabalhando na área. Há várias razões que podemos atribuir às causas desse desinteresse. Embora a difusão das atividades em cosmologia tivesse se iniciado já na década de 60, e os anos 70 possam ser considerados o divisor de águas entre uma e outra atitude, a popularização da cosmologia na comunidade geral dos físicos pode ser simbolicamente atribuída aos anos 80. Foi nesta década que ocorreram grandes conferências reunindo num só evento cosmólogos, astrônomos, astrofísicos relativistas (tradicionalmente, os que lidavam com o Universo em sua totalidade) e físicos teóricos de altas energias (que examinavam o microcosmo das partículas elementares). Um exemplo notável disso foi a conferência de FermiLab, nos



DE VOLTA AO BRASIL: Lattes desembarca em pleno auge da fama, graças à descoberta do meson pi.



Gamow desenvolve a ideia de um Universo em expansão, tendo uma fase primordial extremamente quente, permitindo a produção dos primeiros elementos químicos leves, hidrogênio e hélio. Fez uma estimativa da temperatura do Universo entre 1° e 5° kelvin.

O matemático austríaco Kurt Gödel (1906-1978) mostra que as equações da relatividade geral permitem gerar geometrias com curvas do tipo tempo fechadas, isto é, caminhos que conduzem ao passado. A partir daí, a estrutura da causalidade e a noção de tempo cósmico global recebem uma profunda crítica, que não foi resolvida até hoje pela relatividade geral.

Década de 40

1941

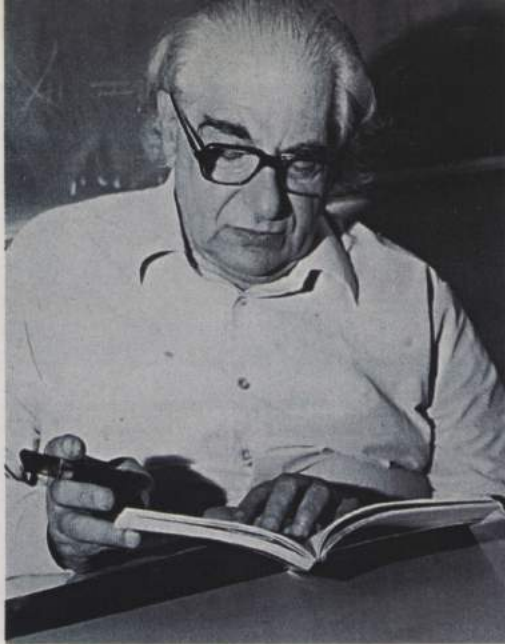
1948

1949

A MacKellar observa os primeiros dados sobre a existência de um mar de fótons em equilíbrio termodinâmico como um espectro térmico (corpo negro) a 2,3° Kelvin. Esses dados foram ignorados durante mais de 20 anos devido, em parte, à conjuntura da Segunda Guerra Mundial e só foram observados novamente nos anos 60 por dois radioastrônomos americanos, Robert Penzias e Robert Wilson.

O matemático anglo-austríaco Hermann Bondi (1919-2005), o astrofísico austríaco Thomas Gold (1920-2004) e o astrônomo britânico Fred Hoyle (1915-2001) exploram a ideia de um universo em expansão a uma taxa constante, caracterizando uma geometria semelhante a de W. de Sitter (*universo steady state*). Generalizam o antigo "princípio cosmológico" para o que chamam de "princípio cosmológico perfeito", que estende a homogeneidade do espaço para a do tempo, isto é, a configuração do Universo é sempre a mesma, representada por uma geometria que não é estática, mas estacionária. Desde essa época até a década de 60 o modelo do Estado Estacionário constituiu-se no maior adversário do modelo Big-Bang.





MARIO SCHOENBERG, ao lado do físico russo-americano George Gamow, interpretou o papel fundamental que o neutrino desempenha nos processos estelares.

CRONOLOGIA DA COSMOLOGIA

Estados Unidos, que recebeu o sugestivo título de *Inner Space/ Outer Space*.

Perspectivas Promissoras

Houve um concerto de razões que contribuíram para esse crescimento da cosmologia, algumas delas intrínsecas a essa ciência, outras totalmente independentes. Não é aqui o lugar para fazer esse inventário, mas somente a título esclarecedor, podemos citar, como exem-

plos, duas razões. Uma, interna à cosmologia, está relacionada ao sucesso dos novos telescópios e sondas espaciais, que produziram como consequência um enorme conjunto de dados novos, com grande confiabilidade. Outra razão, de natureza extrínseca, foi a crise da física de partículas elementares na década de 70 que requeria para seu desenvolvimento a construção de enormes aceleradores de altas energias, extraordinariamente dispendiosos e cuja construção enfrentava impedimentos políticos na Europa e nos Estados Unidos.

O cenário evolutivo associado à geometria descoberta pelo matemático russo Alexander Friedman, que descrevia um Universo dinâmico, em expansão, foi então o território escolhido para substituir no imaginário dos físicos a ausência de máquinas de acelerar partículas, impossibilitadas de serem construídas por razões financeiras. As causas aceitas para essa substituição estavam associadas ao sucesso da cosmologia. De fato, o modelo padrão do Universo baseava-se na existência de uma configuração que descrevia seu conteúdo material como um

fluido perfeito em equilíbrio termodinâmico, cuja temperatura T variava com o inverso do fator de escala; isto é, quanto menor o volume espacial total do Universo, maior a temperatura. Assim, nos primórdios da atual fase de expansão, o Universo teria passado por temperaturas fantasticamente elevadas, excitando partículas, expondo o comportamento da matéria a situações de altíssima energias. E, o que era mais conveniente, de graça, sem custos: bastava olhar os céus.

Foi nesse contexto que a Brazilian School of Cosmology and Gravitation (BSCG) começou a fazer sucesso nacional e internacional, promovendo a interação entre comunidades distintas, envolvendo astrônomos, relativistas, cosmólogos e físicos teóricos de campos de altas energias. Não é exagero dizer que a história da cosmologia no Brasil pode ser revelada na história das BSCG.

A explosão do interesse pela cosmologia, registrada nas últimas décadas, provocou várias consequências, mas talvez a mais notável – embora ainda pouco reconhecida – seja o fato de introduzir a elaboração da refundação da física. Somente para citar um exemplo capaz de fazer-nos entender o significado que devemos atribuir a esta refundação, podemos nos referir à eletrodinâmica.

O sucesso da teoria linear de Maxwell na descrição dos processos eletromagnéticos foi notável ao longo de todo o século 20. A aplicação dessa teoria ao Universo, dentro do cenário padrão de homogeneidade e isotropia espacial produziu várias características, algumas inesperadas. Entre elas, a que tem consequências mais formidáveis foi a demonstração de que a teoria linear do eletromagnetismo conduz inevitavelmente à existência de uma singularidade em nosso passado. Isto é, o Universo teria tido um tempo finito de evolução para atingir o estágio atual em que se encontra.

Essa característica da teoria linear foi a principal responsável pela aceitação, no imaginário dos cientis-

Quando recebi o relatório da Comissão do Icrá para o pôster de cosmologia, um fato chamou de imediato minha atenção: a década de 1950 não continha nenhum verbete. Isto é, no período correspondente a toda a década de 1950 não foi encontrado nenhuma notícia relevante envolvendo a questão cosmológica. Por quê? O que teria acontecido tanto coletivamente – nas diferentes agências e Institutos de pesquisa espalhados pelo mundo – de tão determinante a ponto de impedir que alguma novidade sobre o Universo ganhasse uma dimensão mínima capaz de aparecer como um fato relevante em nossa compreensão da evolução e estrutura do Universo?



Criação do Primeiro Grupo de Cosmologia e Gravitação do Brasil no Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas [CBPF].

Década de 60

Década de 70

Década de 1950

Os radioastrônomos americanos Arno Penzias e Robert Wilson observam a existência de uma radiação cósmica de fundo, constituída por um mar de fótons em equilíbrio termodinâmico como um espectro térmico (corpo negro) a 2,7° Kelvin, confirmando o fenômeno constatado por MacKeller em 1941. A radiação cósmica de fundo é associada a uma evidência do cenário Big Bang.

1963

1967

O físico russo Andrei Sakharov (1921-1989) propõe um modelo das partículas elementares capaz de explicar a assimetria matéria-antimatéria dos constituintes fundamentais da matéria bariônica (como o próton e o nêutron) existentes no Universo.



1970

Vera C. Rubin e W. K. Ford encontram evidências da matéria escura estudando a curva de rotação das estrelas em galáxias vizinhas à Via Láctea.

1972

tas, de que os chamados teoremas de singularidade descobertos ao final dos anos 60 seriam efetivamente aplicáveis ao nosso Universo.

Entretanto, na década seguinte, uma análise um pouco mais profunda mudou essa interpretação, tornando as consequências dos teoremas menos categóricas. Isso envolveu uma análise maior do modo pelo qual o campo eletromagnético é afetado pela interação gravitacional. Que ele é afetado, não havia dúvida, pois essa propriedade estava na base da própria teoria da Relatividade Geral, posto que o campo carrega energia. Restava saber, com precisão, de que maneira essa ação deveria ser descrita e quais as diferenças qualitativas que a participação do campo gravitacional pode provocar. Logo se percebeu que não havia um modo único capaz de descrever essa interação. Isso se deve ao caráter vetorial e tensorial dos campos eletromagnético e gravitacional, respectivamente. Várias propostas para essa interação foram examinadas.

Uma dessas mudanças no eletromagnetismo, provocada pelo campo gravitacional, parecia fantasiosa, pois poderia ser interpretada, embora de modo ingênuo, como se o transportador do campo, o fóton, adquirisse uma massa nesse processo de interação com a geometria do espaço-tempo, através de sua curvatura. Mais: essa massa dependeria da intensidade da curvatura. Na verdade, tratava-se, para usar o termo técnico, de um acoplamento não mínimo entre os dois campos: um modo de interação que não permite que o comportamento do campo eletromagnético possa ser reduzido – pela utilização do Princípio de Equivalência – à estrutura desse campo na ausência idealizada do campo gravitacional. Pois esse acoplamento modifica radicalmente as propriedades da geometria do Universo dentro do cenário espacialmente homogêneo e isotrópico. Só para citar uma nova característica notável: o campo eletromagnético, sob esse

modo de interação com o campo gravitacional, produz um Universo eterno, sem singularidade, sem começo, estendendo-se indefinidamente para o passado. Não é difícil mostrar que essa interação gera também uma não linearidade do próprio campo eletromagnético.

ANão Linearidade

Essa propriedade abriu caminho para que se pensasse em outros modos de não linearidade do campo eletromagnético sem que essa forma de interação com a gravitação fosse dominante. Esses modos não se identificavam com as correções não lineares ao eletromagnetismo de Maxwell como aquelas obtidas por Euler e Heisenberg, que tem origem quântica, embora pudessem contê-las. Independentemente dessas possibilidades permitidas pelo mundo quântico, os físicos começaram a buscar outras origens para a não linearidade: elas deveriam ser pensadas como se as equações de Maxwell, com que até então o eletromagnetismo era tratado, nada mais seriam que aproximações de uma forma mais complexa associada a uma descrição não linear. Essa não linearidade deveria aparecer como um modo cósmico do campo, a linearidade sendo localmente, uma aproximação, invertendo o modo tradicional de pensar a não linearidade como correções da teoria “básica” linear.

Esse exemplo simples permite introduzir a situação fantástica que a cosmologia está produzindo e que podemos sintetizar numa frase pequena de grande consequência formal: a extrapolação da física terrestre para todo o Universo deveria ser revista.

O modo antigo de generalização é um procedimento bastante natural e comum entre os cientistas. Assim se legisla, por extrapolação, mesmo em condições nunca antes testadas, até que uma nova física possa impedir, bloquear, limitar essa extensão de um conhecimento científico local à totalidade dos processos no Universo.

O AUTOR

Graduado em física pela Universidade de Brasília e Universidade Federal do Rio de Janeiro, Mário Novello é mestre em física pelo CBPF e doutor pela Universidade de Gênève. Pesquisador titular do CBPF, criou, em 1976, o grupo de cosmologia e gravitação nessa instituição, inaugurando o estudo sistemático da cosmologia no Brasil. Em 2003 criou o Instituto de Cosmologia, Relatividade e Astrofísica (Icra). Recebeu, em 2004, o título *doutor honoris causa* pela Universidade de Lyon por seus estudos envolvendo modelos cosmológicos sem singularidade, entre outros reconhecimentos acadêmicos.



Realização da Primeira Escola Brasileira de Cosmologia e Gravitação no CBPF (RJ) hoje chamada Brazilian School of Cosmology and Gravitation (BSCG). A partir daí, as escolas têm se realizado a cada dois anos, onde são apresentadas as pesquisas mais modernas na cosmologia, gravitação, astrofísica e áreas afins.

Os físicos brasileiros M. Novello e J.M. Salim elaboram o primeiro modelo cosmológico com “bouncing”, tendo fótons não lineares como fontes, isto é, o Universo teria uma fase anterior de colapso, onde o volume diminui com o tempo, atinge um valor mínimo e, depois, passa a se expandir.

1977

Steven Weinberg

1978

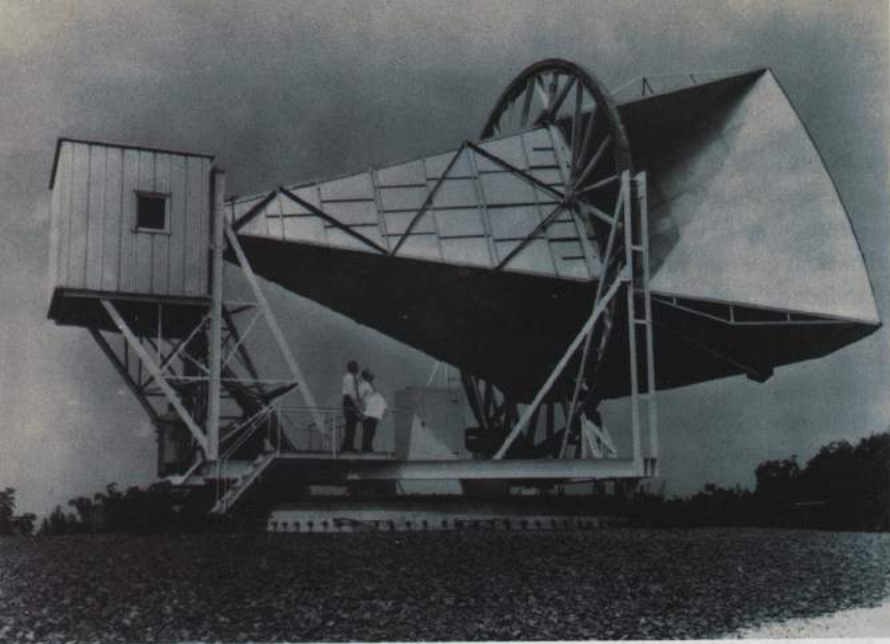
Para explicar a abundância de elementos químicos leves (hidrogênio, hélio etc.) e as diferentes escalas de estruturas do universo, B.W. Lee e Steven Weinberg, nos anos 70, e complementando este trabalho, J. R. Bond, G. Efstathiou e Joseph Silk, nos anos 80, elaboram o conceito de matéria escura não bariônica, ou seja, a matéria escura não seria formada por prótons, nêutrons e elétrons como a matéria convencional.

Arno Penzias e Robert Wilson ganham o Prêmio Nobel pela descoberta da radiação cósmica de fundo.



1979

Os físicos russos V. Melnikov e S. V. Orlov elaboram o primeiro modelo cosmológico com “bouncing”, tendo campos escalares quantizados [quebra espontânea de simetria] como fontes.



RADIOTELESCÓPIO dos astrônomos Arno Penzias e Robert Wilson pesquisou a radiação cósmica de fundo em micro-ondas, confirmando a teoria do Universo inflacionário.

CRONOLOGIA DA COSMOLOGIA

Dito de outro modo, essas considerações parecem apontar para a necessidade de uma nova forma de crítica copernicana. Não igual àquela que nos retirou do centro do Universo, mas uma outra que estaria arguindo contra a extrapolação que os cientistas vem utilizando. Isto é, pensar que às próprias Leis da Física não deveria ser atribuída uma característica global, e que a partir desse ponto de vista se legitimaria a ação de descartar os processos cosmológicos globais na construção de uma teoria completa dos fenômenos naturais.

Isto é, essas Leis podem adquirir formas e modos distintos daqueles com que, em situações semelhantes, elaborou-se com sucesso uma física terrestre. Essa reflexão, que pode levar a uma descrição diferente daquela que os físicos estão acostumados, e que se torna a cada dia mais necessária e mesmo indispensável, é o que chamamos de refundação da física pela cosmologia. Podemos citar o físico inglês Paul Dirac e o físico brasileiro Cesar Lattes como precursores recentes desse modo de pensar. Infelizmente o modo prático pelo qual eles propuseram uma particular

refundação foi por demais simples, permitindo a elaboração de uma poderosa reação que refugou essas ideias para o terreno fronteiro e pantanoso da especulação. Os formidáveis avanços recentes da cosmologia observacional permitem aceitar que estejamos próximos do tempo em que uma análise dessa refundação, um pouco mais sofisticada daquela simples modificação das constantes fundamentais como pretendidas por Dirac e outros, possa ser seriamente empreendida.

Universo Eterno ou Big Bang?

Nas últimas décadas do século passado, o modelo Big Bang, ao identificar no cenário padrão da cosmologia a singularidade da geometria de Friedmann com o “começo de tudo que existe”, produziu uma descrição simples da história do Universo, mas de grande apelo popular. Essa visão, que pareceu a muitos como a versão moderna de antigos mitos de criação, foi identificada com a descrição científica do começo do Universo: uma grande explosão inicial cuja origem seria inacessível ao modo científico de analisar os processos físicos. Isso foi possível porque àquela época apareceram certos teoremas da singularidade, identificados como o suporte formal da inevitabilidade da existência de uma singularidade em toda solução das equações da Relatividade Geral, teoria básica capaz de produzir uma descrição global do Universo.

Abdicar de examinar o momento de condensação máxima pela qual o Universo passou não deveria ser nem sequer considerada uma atitude científica, posto que ela não permite nenhuma explicação daquela hipotética explosão. A extrema simplificação dessa descrição criou uma dificuldade que, cedo ou tarde, deveria aparecer como o fracasso do projeto científico em produzir uma explicação racional para a totalidade dos fenômenos físicos. Não deixa de ser curioso perceber que vários cientistas deixaram-se levar pela descrição desse mito de criação

O cosmólogo canadense J. E. Peebles relaciona a evolução de pequenas alterações na temperatura da radiação cósmica de fundo com a criação de estruturas como galáxias e aglomerados de galáxias, levando em conta a matéria escura e as flutuações iniciais.

J. Huchra, M. Davis, D. Latham, J. Tonry realizam o primeiro mapeamento da distribuição de matéria convencional em grandes escalas no Universo.



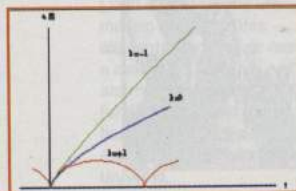
Lançamento do Cosmic Background Explorer (Cobe), satélite Explorador do Fundo Cósmico.

Década de 80

1981

Modelo de Universo inflacionário. Alguns físicos elaboram a proposta do modelo inflacionário, reatualizando a importância da constante cosmológica num breve período da história da evolução do Universo. A inflação do Universo consiste na existência de um período de expansão geométrica extremamente acelerada, que teria ocorrido próximo à singularidade do modelo de Friedmann.

1982



1983

1987

Descoberta dos primeiros arcos gigantes formados pelo efeito de lente gravitacional. O estudo desse fenômeno, além de comprovar o desvio da luz pela gravidade, confirma a presença de matéria escura em aglomerados de galáxias.

1989

contido no Big Bang. Poderíamos aventar várias razões para isso, mas não é este o lugar para procurar as motivações dominantes na produção de um paradigma não científico por parte dos cientistas.

O século 21 se iniciou com uma modificação dessa atitude por parte dos cientistas. Há várias razões para isso, mas a mais abrangente tem uma origem colateral e está ligada à possibilidade da existência de uma aceleração da expansão do Universo. A interpretação de certos dados astronômicos, como se a expansão do Universo estivesse variando de modo não uniforme, pôs por terra a ideia de que um fluido com pressão negativa não é realista. Independentemente de observações futuras que poderão vir a apoiar ou não esta interpretação sobre a aceleração do Universo, o que importa aqui é explicitar a mudança de atitude dos cientistas face às propriedades que a matéria/energia em escala cósmica pode ter.

Como consequência, empreendeu-se a investigação sistemática sobre as causas daquele momento extremamente condensado que desemboca na atual fase de expansão pela qual o Universo passa. Cenários de Universo Eterno passaram a ser considerados realistas pelos cosmólogos e consequentemente programas de análise de observações cósmicas capazes de evidenciar alguma propriedade anterior ao momento de condensação máxima foram colocados em andamento, no estudo das propriedades em grande escala do Universo, através de observações cada vez mais completas e minuciosas graças à utilização de sofisticados instrumentos.

Estes programas de investigação estão procurando identificar características que distingam observacionalmente os diversos cenários de Universo propostos. Em particular, ênfase tem sido dada ao mecanismo pelo qual foram criadas as grandes distribuições de matéria observadas como galáxias e aglomerados de galáxias. Dentre estes cenários, o que possui maior consistência e embasa-

mento teórico consiste no chamado Universo Eterno Dinâmico no qual uma fase de colapso gravitacional anterior à atual expansão teria ocorrido. Assim, podemos sintetizar nosso conhecimento cosmológico sobre a situação atual da descrição do Universo, no que diz respeito à questão da singularidade inicial, nos seguintes pontos:

- O modelo Big Bang ao identificar o começo do Universo com uma singularidade criou uma questão de princípio, inibindo a possibilidade de uma descrição completa e racional da Totalidade. Ao aceitar a existência de um momento de criação a um tempo finito ele impede a racionalidade do Universo. Consequentemente, esse modelo não pode sequer ser entendido como uma descrição científica da Totalidade do que existe;

- A possibilidade de que a expansão do Universo esteja acelerada, acoplada à ideia de que a gravitação é descrita pela teoria da Relatividade Geral criou dificuldades formais de compatibilidade com a física que conduziram à hipótese de que um tipo especial de energia – denominada *energia escura* – que deveria existir e ser a principal responsável pela evolução do Universo;

- Essa energia escura viola as condições de aplicabilidade dos “teoremas de singularidade”. Isso significa que este tipo de matéria/energia permite configurações não singulares, isto é, a possibilidade de que o Universo não tenha um começo singular a um tempo finito;

- Um Universo Eterno Dinâmico, possuindo uma fase colapsante anterior à atual, descreve sua dinâmica para além do ponto de condensação máxima, o suposto Big Bang. A análise da evolução de estruturas materiais em grande escala – como, por exemplo, as galáxias – permite distinguir propriedades do Universo associadas a uma possível fase colapsante, anterior à atual fase de expansão. E, dessa forma, entender o que teria dado origem ao começo da atual fase de expansão pela qual passa o Universo.

PARA CONHECER MAIS

O que é cosmologia? Mário Novello. Ed. Jorge Zahar.

Máquina do tempo (um olhar científico). Ed. Jorge Zahar.

A master and a friend. Roberto Salmeron Fetschrift. Ed. A Santoro et al., 2003.

A observação de que o Universo está tendo sua expansão acelerada criou um grave problema para a teoria da relatividade geral. Segundo essa teoria, a causa da aceleração está associada a uma substância com propriedades esdrúxulas que convencionou-se chamar de “energia escura”. Esta parece ser a substância dominante no Universo, embora não se saiba precisamente “o que ela é” e “de que tipo de energia se trata”. Essa energia, juntamente com a matéria escura, constitui os fenômenos observados que mais diretamente demonstram que as atuais teorias das partículas elementares e da gravitação estão ou incorretas ou incompletas. Observações cósmicas do século 21 mostram que se deve considerar seriamente a hipótese de que a teoria da gravitação de Einstein deve ser modificada. Consequentemente deveríamos esperar o aparecimento de uma nova cosmologia.

Aceleração do Universo

Medidas da luminosidade e *redshift* de explosões de supernovas do tipo Ia sugerem fortes evidências de que o Universo teria sofrido uma transição de fase e passa atualmente por uma fase de expansão acelerada.

Década de 90

1990

1998

Século 21

Lançamento do telescópio espacial Hubble. Um dos principais objetivos dessa missão espacial era determinar a taxa de expansão atual do Universo, denominada parâmetro de Hubble. Hoje o satélite é utilizado para inúmeros estudos cosmológicos.

