

Origens da Cosmologia no Brasil e o modelo do Universo Eterno

Mário Novello

Instituto de Cosmologia, Relatividade e Astrofísica (ICRA/CBPF)

1.

O CBPF faz 60 anos. Além de vários eventos que estão ocorrendo ao longo deste ano para comemorar esta data, um livro especial sobre alguns importantes momentos de sua história será publicado ainda em 2009. Aqui, neste artigo irei comentar brevemente um pouco desta história, vivenciada por minha geração, concentrando-me em particular na Cosmologia e tratar do cenário de universo sem singularidade inicial, isto é, o modelo de universo eterno.

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

Isso conduz, qualquer discurso sobre a ciência produzida 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 1960, permitindo que na segunda metade da década de 1970 o início de atividades de pesquisa em Cosmologia se iniciasse no CBPF e no Brasil.

2.

Minha geração herdou, ao final dos anos 1960, 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 dera início à moderna física das partículas elementares; admirávamos os mecanismos pelos quais Tiomno intuíra 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 deste contato, pudemos eu, Sérgio Joffily, Alberto Santoro e outros mais de nossa geração, admirar a maravilhosa percepção com que anos antes, Mario Schoenberg, junto com o físico russo-americano George Gamow, ao interpretarem o papel fundamental que o neutrino desempenha nos processos estelares, deram início à moderna Astrofísica estabelecendo o que chamaram de “Processo Urca”. Este nome, que prefigurava onde seria instalado o Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas 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 belíssima referência histórica (verdadeira dádiva dos deuses) se a organização internacional dedicada a Cosmologia e Astrofísica, que estamos construindo no 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.

Reconhecíamos então que vivíamos 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 construir, no CBPF, um centro de reflexão fundamental sobre a Natureza, estavam perseguindo um modo de fazer ciência que, infelizmente estava por se esgotar, fadada a

sofrer mudanças de tal ordem que a transformariam radicalmente. O melhor modo de exemplificar esta atitude é comparar as atitudes científicas representadas pelos dois modos distintos que, anteriormente à unificação de 1927 da Mecânica Quântica, representavam alternativas em sua fundamentação e que simbolizávamos, então, no que chamávamos “as visões complementares de Heisenberg e Schrodinger”. O primeiro pretendia organizar o mundo quântico como o resultado de observações consubstanciadas em números reais representando medidas efetivamente realizadas. Competiria aos físicos descobrir conexões entre estes números. Foi o que Heisenberg realizou com enorme sucesso através 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.

Por outro lado, Schrodinger 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 exibia 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, no que chamávamos “o modo direto e pratico de fazer ciência, típica da Escola americana” (que identificávamos, ingenuamente, como o estilo-Heisenberg) e “o modo completo e metafísico da Escola européia, em particular da Alemanha (ou, o estilo-Schrodinger)”. Sabíamos que esta simplificação formal não representava fielmente as complexas interpretações que aqueles cientistas produziam em suas atividades cotidianas, mas isso nos bastava para entender a atitude 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 elas pudessem produzir uma forma útil de como elaborar e dar sentido às observações. No dizer de Lattes, não se deveria ceder aos encantos de sermos aceitos pelo establishment. Ou, traduzindo para os dias de hoje, não deveríamos escolher como projetos principais de nossas pesquisas, os temas que conduzem inevitavelmente a um grande numero 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 em qual direção se encaminhou o CBPF e, por continuação analítica, o Brasil.

3.

Para conseguir convencer os governantes da oportunidade em criar e apoiar um centro de pesquisas científicas, logo após o término da guerra mundial de 39-45, 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, tornando-se mais igualitária e socialmente menos injusta. No topo destas 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 adquirir habilidades técnicas, aperfeiçoar nosso conhecimento para entender o microcosmo – o mundo das partículas elementares – até a estrutura e evolução das estrelas e mesmo para além, na formação da Cosmologia, esta totalidade maior, o Universo. Era preciso algo mais: era preciso refletir sobre nossa atividade e responsabilizarmos toda a sociedade – cientistas à frente – na escolha seletiva da utilização dos conhecimentos produzidos. Em uma palavra: 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 sê-lo”. 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 acompanhado de uma visão social humanista, democrática, igualitária, tolerante, sem preconceitos de qualquer forma. Não nos importava substituir, no topo do conhecimento científico, uma teoria por outra, mas sim rejeitar toda e qualquer forma de autoritarismo e absolutismo, pois sabíamos que toda verdade (científica ou não) é provisória. Foi então que aprendemos a máxima que norteou nossa carreira desde então: quando uma dada visão, que atingiu o estágio de ser aceita como verdade científica, pretende permanecer absoluta, para dela usufruir e utilizar o status elevado que a ciência possui na sociedade, ela nada mais será do que “uma máscara atrás da qual se esconde um poder político que não ousa se declarar como tal”.

4.

Durante o ano de 1976 o Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas passou por uma mudança radical. Consciente das dificuldades que afligiam quase que constantemente uma instituição de natureza muito especial quanto o CBPF, voltada para a pesquisa fundamental, os governantes em Brasília aceitaram finalmente integrar este centro em um órgão federal. O CBPF passou assim a ser o primeiro instituto de pesquisas físicas incorporado diretamente à administração do Conselho Nacional de Pesquisas (CNPq) e, mais tarde, ao Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT).

O CBPF iniciou sua nova fase com a vinda de Antonio César Olinto para o cargo de Diretor do novo CBPF/CNPq. Foi neste quadro de renovação da instituição que a Cosmologia conseguiu seu espaço e adquiriu destaque como uma nova área de atuação do CBPF. A história deste período é rica em debates entre personalidades que fizeram a história da Física no Brasil, mas deixarei para contá-la em outra ocasião. Aqui, o que nos interessa é somente seu resultado final que desemboca na aceitação pelo diretor do CBPF de conceder apoio financeiro e institucional à realização da Primeira Escola Brasileira de Cosmologia e Gravitação, e que, mais tarde, com sua internacionalização, passou a ser conhecida como

Brazilian School of Cosmology and Gravitation, daí a sigla BSCG. Em 2008 aconteceu a décima-terceira BSCG e já estamos organizando sua próxima sessão para setembro de 2010.

5.

Na segunda metade dos anos 1970, 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, muitos dos quais foram levados a migrar para a Cosmologia. Este movimento foi tão intenso e amplo, envolveu tantos cientistas, que somente uma análise sociológica da prática científica permitiria entender a transformação pela qual passou esta 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 1960, pouco interesse despertava a Cosmologia, fora de um pequeno círculo de cientistas trabalhando na área. Há várias razões que podemos atribuir às causas deste desinteresse. Embora a difusão das atividades em Cosmologia tivesse se iniciado já nesta 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 disto foi a conferência do Fermilab (EUA) em 1983, que recebeu o sugestivo título *Inner Space/ Outer Space*.

Houve um concerto de razões que contribuíram para este crescimento da Cosmologia, algumas delas intrínsecas a esta ciência, outras totalmente independentes. Não é aqui o lugar para fazer este inventário, mas somente a título esclarecedor, podemos citar como exemplos, 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 A. 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 realizar esta substituição estavam associadas ao sucesso da Cosmologia. Com efeito, 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 fantásticamente elevadas, excitando partículas, expondo o comportamento da matéria em situações de altíssimas energias. E, o que era mais conveniente, de graça, sem custos: bastava olhar os céus.

Foi neste 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. Talvez não fosse exagerado dizer que a história da Cosmologia em nosso país pode ser revelada na história das BSCG.

6.

RUMO A UMA SEGUNDA REVOLUÇÃO COPERNICANA?

A explosão do interesse pela Cosmologia, registrada nas últimas décadas, provocou várias consequências, mas talvez a mais notável – embora pouco reconhecida ainda como tal – seja que ela está induzindo a elaboração da re-fundação da Física. Somente para citar um exemplo capaz de fazer-nos entender o significado que devemos atribuir a esta re-fundação, 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 XX. A aplicação desta teoria ao Universo, dentro do cenário padrão de homogeneidade e isotropia espacial, produziu várias características,

algumas inesperadas. Dentre estas, a que possui 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.

Esta característica da teoria linear foi a principal responsável pela aceitação, no imaginário dos cientistas, 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 esta interpretação, tornando as consequências dos teoremas menos categóricas. Isso envolveu uma investigação maior do modo pelo qual o campo eletromagnético é afetado pela interação gravitacional. Que ele é afetado, não havia dúvida, pois esta propriedade estava na base da própria teoria da Relatividade Geral, posto que o campo carrega energia. Restava saber, com precisão, de que maneira esta 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 esta interação. Isso se deve ao caráter vetorial e tensorial dos campos eletromagnético e gravitacional, respectivamente. Várias propostas para esta interação foram examinadas.

Uma destas mudanças no Eletromagnetismo, provocada pelo campo gravitacional, parecia ser fantasiosa, pois ela poderia ser interpretada, embora de modo ingênuo, como se o transportador do campo, o fóton, adquirisse uma massa neste processo de interação com a geometria do espaço-tempo, através de sua curvatura. Mais: essa massa dependeria da intensidade desta curvatura. Em 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 – a estrutura que este campo possui na ausência idealizada do campo gravitacional. Pois este acoplamento modifica radicalmente as propriedades da geometria do Universo dentro do cenário espacialmente homogêneo e isotrópico. Só para citar uma característica nova notável: o campo eletromagnético, sob este 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 esta interação gera também uma não-linearidade do próprio campo eletromagnético.

Esta propriedade abriu o caminho para que se pensasse em outros modos de não-linearidade do campo eletromagnético sem que esta forma de interação com a gravitação fosse dominante. Estes modos não se identificavam com as correções não-lineares ao

Eletromagnetismo de Maxwell como aquelas obtidas por Euler e Heisenberg, que possuem origem quântica, embora pudessem contê-las. Independentemente destas possibilidades permitidas pelo mundo quântico, os físicos começaram a pensar em 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 do que aproximações de uma forma mais complexa associada a uma descrição não-linear. Esta 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.

Este exemplo simples, permite introduzir a situação fantástica que a Cosmologia estaria produzindo e que podemos sintetizar numa frase pequena de grande consequência formal: *a extrapolação da Física terrestre a 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.

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

Isto é, estas Leis podem adquirir formas e modos distintos daqueles com que, em situações semelhantes, mas não as mesmas, elaboraram-se com sucesso uma Física terrestre. Esta análise, esta reflexão que pode levar a uma descrição diferente daquela que os físicos estão acostumados, e que se torna cada dia mais necessária e mesmo indispensável, é o que chamamos de refundação da Física pela Cosmologia. Podemos citar o físico inglês P. A. M. Dirac e o físico brasileiro C. 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 estas idéias 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 desta re-fundação, um pouco mais sofisticada daquela simples modificação das

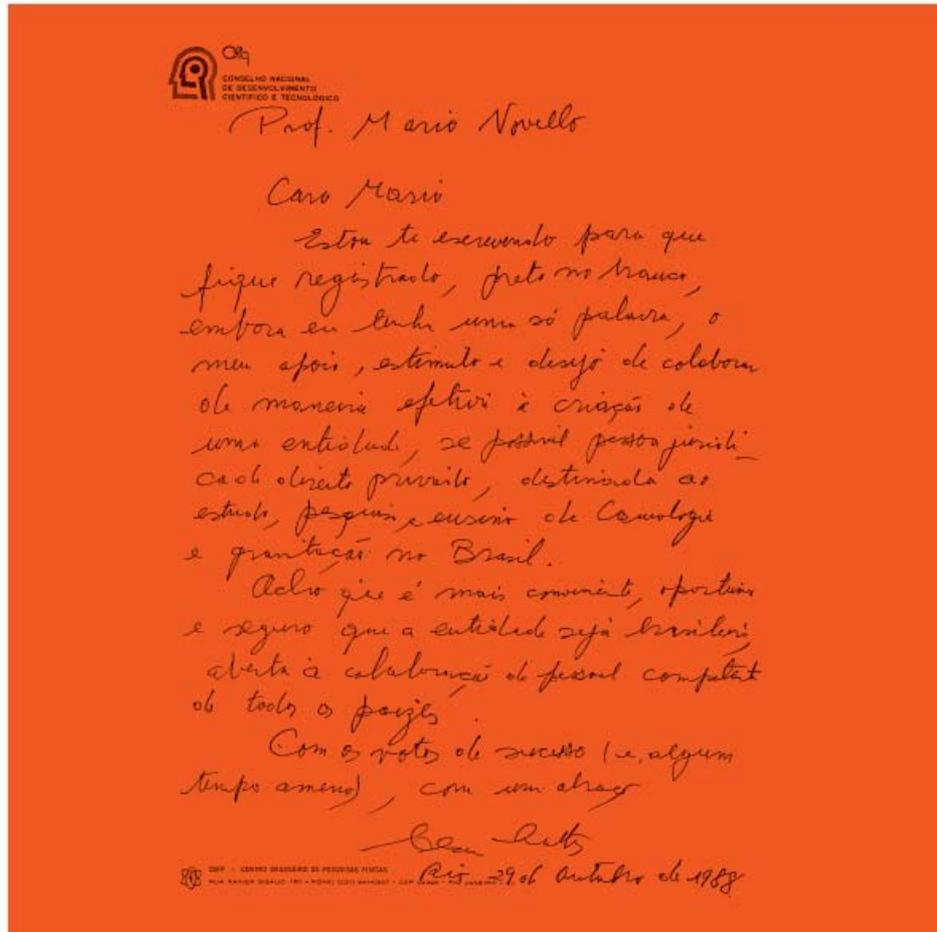
constantes fundamentais como pretendidas por Dirac e outros, possa ser seriamente empreendida.

7.

Em 1988 o Grupo de Cosmologia e Gravitação do CBPF pretendeu dar uma função permanente à Escola que organizávamos periodicamente, através de um Centro de Cosmologia, que deveria ser criado na esfera do Ministério da Ciência e Tecnologia. Naquele momento foram solicitadas a vários cientistas – a pedido do Ministro – suas opiniões sobre o Grupo, que estão transcritas no documento sobre os 30 anos da Brazilian School of Cosmology and Gravitation – e que pode ser obtido gratuitamente no CBPF. Particular atenção merece o apoio que recebi de César Lattes. Frequentemente quando Lattes vinha ao Rio, conversávamos muito sobre a organização da atividade científica. Aproveitando estes momentos, Lattes comentava suas idéias sobre os efeitos locais da propriedade de evolução do Universo, dizendo estar de posse de argumentos sólidos para mostrar como as próprias interações da Física dependeriam do estado de evolução do Universo. Anos antes, Vítório Canuto, em visita à nossa Escola de Cosmologia, havia apresentado uma revisão extensa sobre idéias semelhantes de Dirac e, no início dos anos 70 eu e meu colaborador do CERN, P. Rotelli, havíamos produzido uma alternativa à proposta de Dirac sobre a dependência cósmica das interações fracas. As idéias de Lattes não possuíam desenvolvimento semelhante às de Dirac, e se aproximavam muito das minhas, razão pela qual começamos a redigir juntos o esboço de um artigo (ainda inédito).

Lattes achava totalmente desnecessário escrever sobre seu apoio à minha idéia de transformação das Escolas de Cosmologia em um foro permanente, com continuidade, voltado integralmente para questões cosmológicas. Finalmente, convenci-o de que uma sua carta poderia ser importante para que administradores em Brasília soubessem precisamente sua posição em relação a esta questão.

Ela está reproduzida abaixo.



Finalmente, em 2003, depois de um longo caminho, a criação do Instituto de Cosmologia, Relatividade e Astrofísica (ICRA) foi anunciada pelo Ministro da Ciência e Tecnologia, Roberto Amaral, durante a realização no Rio de Janeiro do X Marcel Grossmann Meeting, conferência internacional da qual participaram mais de 500 cientistas. Além de desenvolver suas atividades próprias nas áreas de pesquisa, ensino de pós-graduação, divulgação da ciência, a nova instituição deveria se tornar, tão logo implantada, o braço na América do Sul da ICRA Net – uma rede internacional de Institutos de Astrofísica – conforme as palavras de seu Presidente, o físico Remo Ruffini. Na administração do Ministro Eduardo Campos o ICRA foi constituído como uma Coordenadoria no CBPF. Mais recentemente, na administração do Ministro Sérgio Rezende foi assinado, em 21 de setembro de 2005, em Roma, um Acordo Internacional entre o Brasil e a ICRA Net que permitiu a entrada efetiva do Brasil naquela organização. Em 24 de outubro de 2007 o Diário da União publicou o Decreto Legislativo número 292, no qual o Congresso Nacional (Câmara de Deputados e o Senado Federal) ratificou este Acordo. Depois de quase 30 anos, o CBPF construiu seu Instituto de Cosmologia. Essa é a data que celebramos hoje.

8. 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. Esta 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, pois àquela época apareceram certos teoremas da singularidade, que foram 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 sequer considerada uma atitude científica, posto que ela não permite nenhuma explicação daquela hipotética explosão.

A extrema simplificação desta 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 deste mito de criação 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 XXI se iniciou com uma modificação desta 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 idéia 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 conseqüentemente 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 embasamento 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, como segue:

1. 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, este modelo não pode sequer ser entendido como uma descrição científica da Totalidade do que existe;
2. A possibilidade de que a expansão do Universo esteja acelerada, acoplada à idéia 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*, deveria existir e ser a principal responsável pela evolução do Universo;
3. Esta 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;

4. 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.

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 para que produzissem um pequeno resumo dos principais momentos que marcaram a Cosmologia Moderna ao longo do século XX. A partir desse resumo produziu-se um pôster contendo estes momentos como marcos de referencia da evolução da Cosmologia Moderna desde seu começo em 1917 até o final do século passado.

A década de 1910

1915

O físico alemão A. 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 tri-dimensional não varia com o tempo.

1917

O astrônomo holandês W. de Sitter (1872-1934) usando as equações da RG de Einstein estabelece o segundo modelo cosmológico, e mostra que contrariamente ao modelo de Einstein, este mesmo Λ 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.

A década de 1920

1922

O primeiro modelo cosmológico do físico russo A. 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 e, depois, se contrai atingindo novamente a singularidade (volume igual a zero). A fonte desta geometria é um fluido perfeito cuja energia se distribui de modo incoerente, sem interação entre suas partes (ou seja, sem pressão).

1924

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

1927

O padre belga G. Lemaître (1894-1966) constrói um modelo cosmológico representando um universo em expansão, contendo matéria, radiação e constante cosmológica Λ . Associa a singularidade inicial deste modelo à noção de “átomo primordial”, apresentando uma hipótese cosmogônica segundo a qual o universo teria resultado da desintegração radioativa

de um átomo. Quase trinta anos depois, esta “explosão” vai reaparecer no imaginário cosmológico representado pelo cenário Big Bang.

1927

O matemático americano E. 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 diferentes direções.

1929

O astrônomo americano E. 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.

1929

O matemático e físico americano H. P. Robertson (1903-1961) estabelece uma forma matemática que representa universos espacialmente homogêneo e isotrópico do tipo de Friedmann. Este modelo de universo obedece ao “Princípio Cosmológico” segundo o qual todos os pontos espaciais têm as mesmas propriedades físicas e geométricas.

A década de 1930

1932

A. Einstein e de W. 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 sem pressão.

1933

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 do que aquela que emite luz visível (estrelas).

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 P.A.M. 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 G. Gamow (1904-1960) sugere que a carga do 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 sim os próprios mecanismos de interação. Como um exemplo dessa orientação, sugere então 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).

A década de 1940

1941

A. McKellar observa os primeiros dados sobre a existência de um mar de fótons em equilíbrio termodinâmico como um espectro térmico (corpo negro) a $2,3^\circ$ Kelvin. Estes dados foram ignorados durante mais de vinte anos devido em parte à conjuntura da Guerra Mundial, e só foram observados novamente nos anos 60 por dois radio-astrônomos americanos.

1948

G. Gamow desenvolve a idéia de um universo em expansão, tendo uma fase primordial extremamente quente, permitindo a produção dos primeiros elementos químicos leves do universo (hidrogênio e hélio). Fez uma estimativa da temperatura do universo entre 1° e 5° Kelvin.

1948

O matemático anglo-austríaco H. Bondi (1919-2005), astrofísico austríaco T. Gold (1920-2004) e o astrônomo britânico F. Hoyle (1915-2001) exploram a idéia 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.

1949

O matemático austríaco K. Gödel (1906-1978) mostra que as equações da Relatividade Geral permitem gerar geometrias possuindo 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.

A década de 1950

Quando recebi o relatório da Comissão do ICRA 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 encontrada nenhuma notícia relevante, envolvendo a questão cosmológica. Por que seria isso? O que teria acontecido tanto coletivamente – nas diferentes agências e Institutos de pesquisa espalhados pelo mundo – que teria sido 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?

A década de 1960

1963

Os radio-astrônomos americanos A. Penzias e R. 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 $2,7^\circ$ Kelvin, confirmando o fenômeno constatado por A. McKellar em 1941. A radiação cósmica de fundo é associada a uma evidência do cenário Big Bang.

1967

O físico russo A. 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.

A década de 1970

1970

V.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

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

1977

Para explicar a abundância de elementos químicos leves (hidrogênio, hélio etc.) e as diferentes escalas de estruturas do universo, B.W. Lee e S. Weinberg, nos anos 70, e complementado este trabalho, J.R. Bond, G. Efstathiou, J. 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 ordinária.

1978

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.

1978

A Penzias e R. Wilson ganham o Prêmio Nobel por terem descoberto a radiação cósmica de fundo.

1979

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 possuiria uma fase anterior de colapso onde o volume diminui com o tempo, atinge um valor mínimo e, depois, passa a se expandir.

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.

A década de 1980

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 vizinho à singularidade do modelo de Friedmann.

1982

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.

1983

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

1987

Lentes gravitacionais¹

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

Lançamento do COBE (Cosmic Background Explorer), um satélite Explorador do Fundo Cósmico².

¹ Denomina-se lente gravitacional qualquer corpo material capaz de produzir modificação na trajetória da luz que circunavega próxima devido à força gravitacional exercida por este corpo.

² O detector FIRAS (Espectrofotômetro Absoluto do Infravermelho Extremo) mostrou que a radiação cósmica de fundo segue um espectro térmico (corpo negro) com uma grande precisão. Já o detector DMR (Radiômetro Diferencial de Microondas) constatou a existência de pequenas diferenças de temperatura na radiação cósmica de fundo, que seriam as sementes das estruturas no universo.

A década de 1990

1990

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.

1998

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.

Século XXI

A observação de que o universo está tendo sua expansão acelerada criou um grave problema para a Teoria da Relatividade Geral. Segundo esta teoria, a causa desta aceleração está associada a uma substância com propriedades esdrúxulas que convencionou-se chamar de “energia escura”. Esta energia escura parece ser a substância dominante no universo, embora não se saiba precisamente “o que ela é” e “de que tipo de energia se trata”. A energia escura 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 XXI mostram que se deve considerar seriamente a hipótese de que a Teoria da Gravitação de Einstein deve ser modificada. Conseqüentemente deveríamos esperar o surgimento de uma nova Cosmologia.

Bibliografia

M. Novello-

- O que é Cosmologia? Ed. Jorge Zahar
- Máquina do tempo (um olhar científico) Ed. Jorge Zahar
- Roberto Salmeron Fetschrift (a master and a friend) Ed. A Santoro et al. 2003.