

30
anos | years

**Escola Brasileira de
Cosmologia e Gravitação**
Brazilian School of
Cosmology and Gravitation

Mario Novello



Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas
Ministério da Ciência e Tecnologia

Agradecimentos Acknowledgments

É extremamente difícil enumerar todos – pessoas e instituições – que participaram no esforço coletivo para que a Escola Brasileira de Cosmologia e Gravitação (BSCG) pudesse atingir o atual nível de excelência e internacionalização. Dentre as instituições de fomento à pesquisa e entidades científicas nacionais que apoiaram a BSCG destacamos:

Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal do Ensino Superior (Capes), Financiadora de Estudos e Projetos (Finep), Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (Faperj), Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Fapesp), Sociedade Astronômica Brasileira (SAB), Departamento de Física da Universidade Federal da Paraíba, Academia Brasileira de Ciências (ABC), Comissão Brasileira de Energia Nuclear (CNEN).

Agradeço também aqueles que em diferentes cargos de direção apoiaram a BSCG. Suas ações foram fundamentais para permitir que o Brasil pudesse ter uma Escola de aperfeiçoamento tão importante em uma área de fronteira do conhecimento científico:

Diretores do CBPF, Antonio Cesar Olinto (1976/1979) e Amós Troper (1987-2000), Ministros das áreas técnicas de diferentes governos, como Ministro Israel Vargas, Ministro Celso Amorim, Ministro Aléxis Stepanenko e o Ministro da Fazenda Fernando Henrique Cardoso, Lindolpho de Carvalho Dias (Presidente do CNPq), Jose Fernando Perez (Diretor Científico da Fapesp), Lourival Carmo Mônaco (Presidente da FINEP), Elói Fernandez y Fernandez (Secretário Estadual de Ciência e Tecnologia), Wilson Antonio Auerswald (CNPq), Marilene Farinasso (CNPq), e os diretores científicos da Faperj, Luiz Bevilacqua, Fernando Pelegrino, Luis Fernandes e Jerson Lima.

A BSCG teve o apoio de governos e entidades científicas internacionais dentre as quais devo destacar:

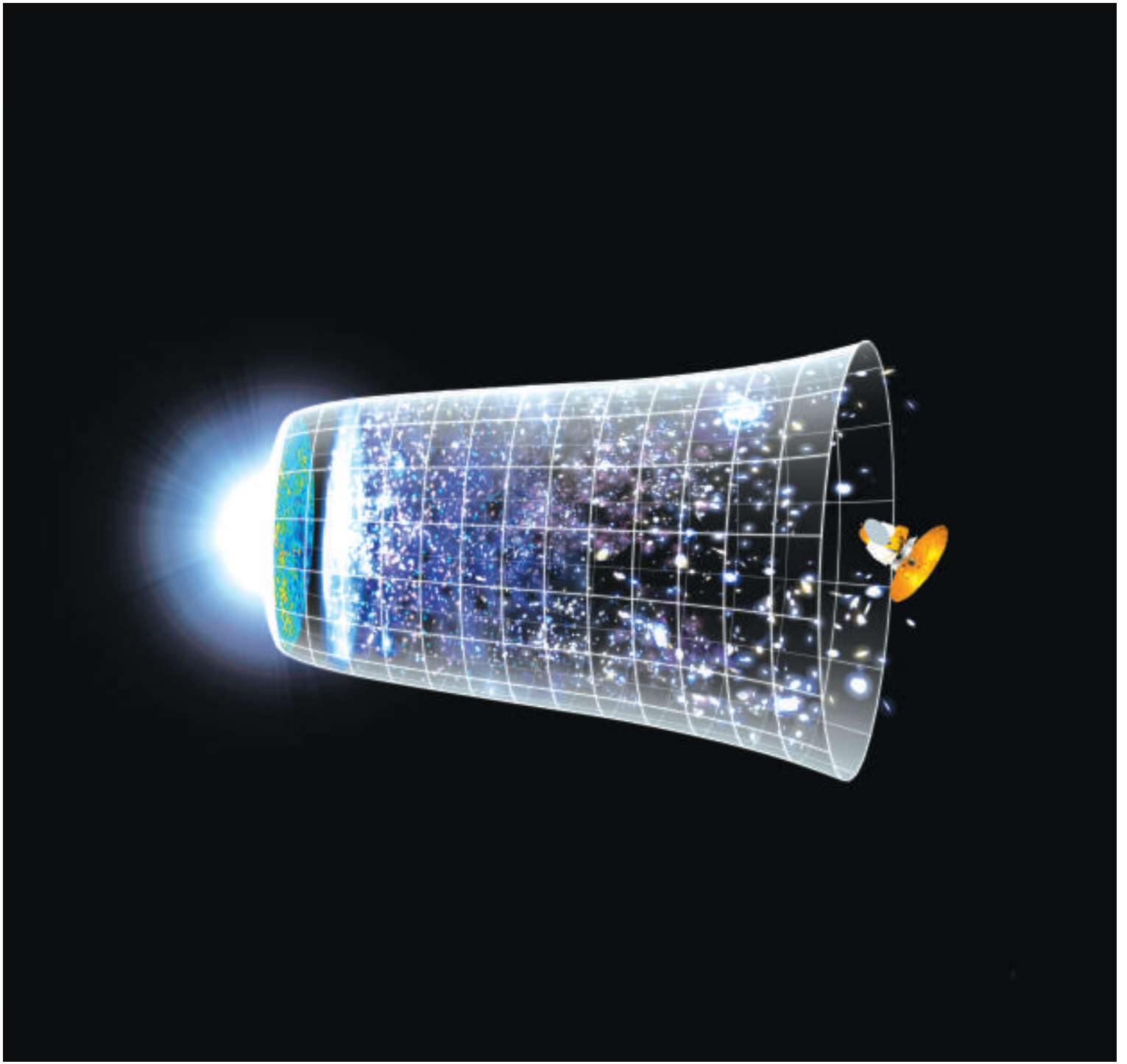
Academia de Ciências da União das Repúblicas Socialistas Soviéticas (URSS), República Popular da China, Universidade de Paris (França), Universidade de Lyon (França), Universidade de Marseille, Center for Theoretical Physics (CTP, Marseille, França), FermiLab (Chicago, USA), Centro Latino Americano de Física (CLAF), International Center for Theoretical Physics (ICTP, Trieste, Itália), International Center for Relativistic Astrophysics (ICRANet, Roma e Pescara, Itália).

Agradeço a todos meus alunos e colaboradores que, em diferentes ocasiões e nas mais inesperadas tarefas foram fundamentais para que a BSCG prosseguisse em sua missão e, em particular, José Martins Salim, Lygia Rodrigues, Nilton O. Santos, Isaias Costa, Sergio Jorás, Carlos Romero, Martha Motta da Silva, Luiz Rezende, Luciane Rangel de Freitas, Renato Klippert, Vitorio de Lorenci e muitos outros.

Um agradecimento especial para meu colaborador Santiago E. Perez Begliaffa que tem dividido comigo a organização da BSCG neste século.

Nas últimas reuniões, temos contado com o apoio fundamental do comitê científico composto por cientistas de reputação internacional Edgard Elbaz, Fang Li Zhi, Remo Ruffini, Vitaly Melnikov, Edward Kolb e Roland Triay, respectivamente da França, China, Itália, Rússia e Estados Unidos.

Agradeço a quase infinita paciência bem como a enorme dedicação de minhas colaboradoras que cuidaram da parte administrativa nas diferentes Escolas: Deise Monte Rego, Roseni Monteiro Leal, Simone Santana Franco, Sônia Ribeiro da Silva Ferreira, Rosemond Ortins de Bettencourt, Mônica Ramalho, Federica di Berardini e Luzia London.



“Para desenvolver a ciência é indispensável
antes criar uma vontade política.”

“In order to develop Science it's essential
first to create a political will”

K.Kennedy



01 PAG 08

Uma revolução na ciência:
a expansão da Cosmologia

A revolution in science:
the expansion of Cosmology

02 PAG 18

Antecedentes da Escola Brasileira
de Cosmologia e Gravitação

Background of the Brazilian School
of Cosmology and Gravitation

03 PAG 26

Temas e palestrantes da BSCG:
de 1978 a 2008

BSCG themes and speakers:
from 1978 to 2008

04 PAG 46

Depoimentos de cientistas sobre a
Escola Brasileira de Cosmologia e Gravitação

Scientists' statements about the
Brazilian School of Cosmology and Gravitation

05 PAG 60

Cosmologia do Século XX
cronologia

Cosmology in the 20th Century
a chronology



01

Uma revolução na ciência: a expansão da Cosmologia

A revolution in science: the expansion of Cosmology

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. Esse 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 diversas propostas de solução a algumas questões cosmológicas e induziu a reformulação de questões tradicionais da Física, graças ao reconhecimento pela comunidade científica inter-

In the second half of the 1970's, the attention of physicists was drawn to processes of a global nature, namely cosmic processes. This was ensued by intense activity throughout the community of physicists in various areas, many of whom were led to migrate to Cosmology. Such a broad and intense displacement, involving so many scientists, requires proper sociological analysis of the scientific practice in order to provide insights into the transformation Cosmology was going through and to the changes in the traditional mode cosmological studies had been conducted until then.

This activity produced numerous proposals of solutions to some cosmological problems and prompted a reformulation of traditional questions of Physics, thanks to the reliability that could be attributed to

nacional 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 podem ser atribuídas às causas deste desinteresse. Embora a difusão das atividades em Cosmologia tivesse iniciado já na década de 60, e os anos 70 sejam considerados o divisor de águas entre uma e outra atitude, a popularização da Cosmologia na comunidade geral dos físicos pode ser conferida 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 foi a conferência do FermiLab (EUA) em 1983, que recebeu o sugestivo título *Inner Space/Outer Space*.

Houve um concerto de razões que contribuiu para este crescimento da Cosmologia, algumas delas intrínsecas, outras totalmente independentes. Não é aqui o lugar para fazer este inventário, mas somente a título esclarecedor, podemos citar duas razões: uma inerente à Cosmologia, está relacionada ao su-

the cosmic way of investigating nature, a fact acknowledged by the international scientific community .

Up until the late 1960's, Cosmology attracted very little interest, apart from a small group of scientists working in the area. There are several reasons one could attribute to the causes of this lack of interest. Though dissemination of activities in Cosmology had started in that decade, the 1970's could be considered the split between one attitude and the other, and the popularization of Cosmology in the overall community of physicists was achieved in the 1980's. In fact, it was in this decade that major conferences brought cosmologists, astronomers, relativist astrophysicists (traditionally, those who dealt with the Universe in its totality), and theoretical high energy physicists (who examined the microcosmos of elementary particles) together in a single event. One remarkable example was the US Fermilab 1983 Conference, which was given the suggestive title of *Inner Space/ Outer Space*.

There have been concerted reasons contributing for this growth in Cosmology, some of which are intrinsic to this science while others are totally independent of it. This is not the place for such an inventory, but, just for clarifying purposes, one could give two examples. One, internal to Cosmology, is related to

cesso dos novos telescópios e sondas espaciais que produziram 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

the success of the new telescopes and space probes, which yielded a huge amount of highly-reliable new data. Another, of an extrinsic nature, was the crisis of elementary particles physics in the 1970's, which, for the purposes of its own development, required the construction of huge and extraordinarily expensive high-energy accelerators, which faced political hindrances in Europe and in the United States.

The evolutionary character associated to the geometry discovered by Russian mathematician A. Friedmann, who described a dynamic expanding Universe, was thus the territory of choice to substitute in the minds of high-energy physicists, for the lack of particle accelerators, machines that could not be accomplished due to financial reasons. Such displacement was associated with the successes of Cosmology. Indeed, the standard model of the Universe was based on the existence of a configuration that described its material content as a perfect fluid in thermodynamic balance, whose temperature scaled as the inverse of the expansion; that is, the smaller the Universe's total spatial volume, the greater the temperature. So, in the early times of the current expansion phase, the Universe would have experienced fantastically high temperatures, thereby exciting particle states and requiring the knowledge of the behavior of matter in situations of very high energies for its descrip-

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 seja exagerado dizer que a história da Cosmologia em nosso país pode ser revelada na história das BSCG.

Rumo a uma segunda revolução copernicana?

A explosão do interesse pela Cosmologia, registrada nas últimas décadas, provocou várias consequências, talvez a mais notável – embora ainda pouco reconhecida 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 êxito da Teoria Linear de Maxwell na descrição dos processos eletromagnéticos foi notável ao longo de todo o século XX. A sua aplicação ao Universo, dentro

tion. And, most conveniently, for free, without costs: all it took was to look at the skies.

It was within this context that the Brazilian School of Cosmology and Gravitation, BSCG, became a national and international endeavor, promoting the interaction between different physicists communities, involving astronomers, relativists, cosmologists, and theoretical high-energy physicists. It may not be an overstatement to say that the history of Cosmology in our country may be revealed through the analysis of the history of the BSCG.

Moving toward a second copernican revolution?

The booming interest for Cosmology, as recorded in the past few decades, has yielded several consequences, but perhaps the most remarkable — though not yet recognized as such — shall be that it is inducing an effort to re-found Physics. To mention but one example that can help us understand the meaning of this re-founding, we could refer to Electrodynamics.

The success of Maxwell's linear theory in describing electromagnetic processes was remarkable along the 20th Century. The application of this theory to the Universe, within the standard scenario of spa-

do cenário padrão de homogeneidade e isotropia espacial, produziu várias características, algumas inesperadas. Dentre elas, a que possuiu conseqüências 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.

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 crítica um pouco mais profunda mudou essa interpretação, tornando as conseqüências 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 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 poderia provocar. Logo se percebeu que não havia um modo único capaz de descrever

tial homogeneity and isotropy, produced a number of particular features, including some unexpected ones. Among the latter, the one with most formidable consequences was the demonstration that the linear theory of Electromagnetism inevitably leads to the existence of a singularity in our past. That is, the Universe would have had a finite time to evolve and reach its current state.

This was the single most important characteristic of the linear theory since it led to the acceptance, in the scientists' imagination, that the so-called theorems of singularity discovered in the late 1960's would, in effect, be applicable to our Universe.

However, in the following decade, a slightly more profound criticism changed this interpretation, thus rendering the consequences of theorems less imposing. This involved a lengthier analysis of the mode through which the electromagnetic field is affected by the gravitational interaction. That it is affected, there had been no doubt, because this property was at the basis of the very theory of General Relativity, given that the field carries energy. What was yet to be learned, in detail, was how to describe this action and which qualitative differences the participation of the gravitational field could provoke. It soon came out that there was no single mode to describe this

esta interação. Isso se deve ao caráter vetorial e tensorial dos campos eletromagnético e gravitacional, respectivamente. Várias propostas para esta interação foram examinadas.

Uma dessas mudanças no Eletromagnetismo, provocada pelo campo gravitacional, parecia ser fantástica, pois ela poderia ser interpretada, embora de modo ingênuo, como se o transportador do campo, o fóton, adquirisse uma massa durante o processo de interação com a geometria do espaço-tempo, através de sua curvatura. Mais: essa massa dependeria da intensidade da 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 – à 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 e considerável: 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

interaction. This is due to the vectorial and tensorial nature of electromagnetic and gravitational fields, respectively. Several proposals for this interaction were then examined.

One of these changes to Electromagnetism, motivated by the gravitational field, seemed to be somehow unrealistic because it could be naively interpreted as if the field transporter, the photon, acquired a mass in this process of interaction with the geometry of space-time, through its curvature. Moreover: this mass would depend on the intensity of this curvature. In fact, to adhere to the technical terminology, it was a non-minimal coupling between both fields: a mode of interaction that does not allow the behavior of the electromagnetic field to be reduced—by using the Principle of Equivalence—to the structure that this field possesses in the idealized absence of a gravitational field. This coupling radically changes the properties of the geometry of the Universe in the spatially homogeneous and isotropic scenario. Just to mention a new and remarkable characteristic, the electromagnetic field, under this mode of interaction with the gravitational field, produces an Eternal Universe, without singularity, without beginning, extending indefinitely to the past. It is not difficult to show that this interaction also generates a non-linearity of the electromagnetic field.

gera também uma não-linearidade do próprio campo eletromagnético.

Essa 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 Físi-*

This property led the way to think about other non-linear feature of the electromagnetic field where this form of interaction with gravitation was not dominant. These features did not correspond to non-linear corrections to Maxwell's Electromagnetism such as those obtained by Euler and Heisenberg, of quantum origin, though they could contain them. Regardless of these possibilities allowed by the quantum world, physicists started to think about other origins for the non-linearity: they should be thought as if Maxwell's equations with which Electromagnetism had been treated this far would be nothing more than approximations of a more complex form associated to a non-linear description. This non-linearity should appear as a cosmic mode of the field, where linearity is locally an approximation, thereby inverting the traditional way of thinking non-linearity as corrections to the “basic” linear theory.

This simple example allows for the introduction of a fantastic situation that Cosmology would be producing and that we can synthesize in a small sentence of great formal consequences: *the extrapolation of terrestrial Physics to the entire Universe should be reviewed.*

The old generalization mode is a rather natural and common procedure among scientists. Thus, by ex-

ca 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, essas 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, as Leis Globais da Física podem adquirir formas e modos distintos da Física terrestre. Esta análise 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 re-fundação da Física pela Cos-

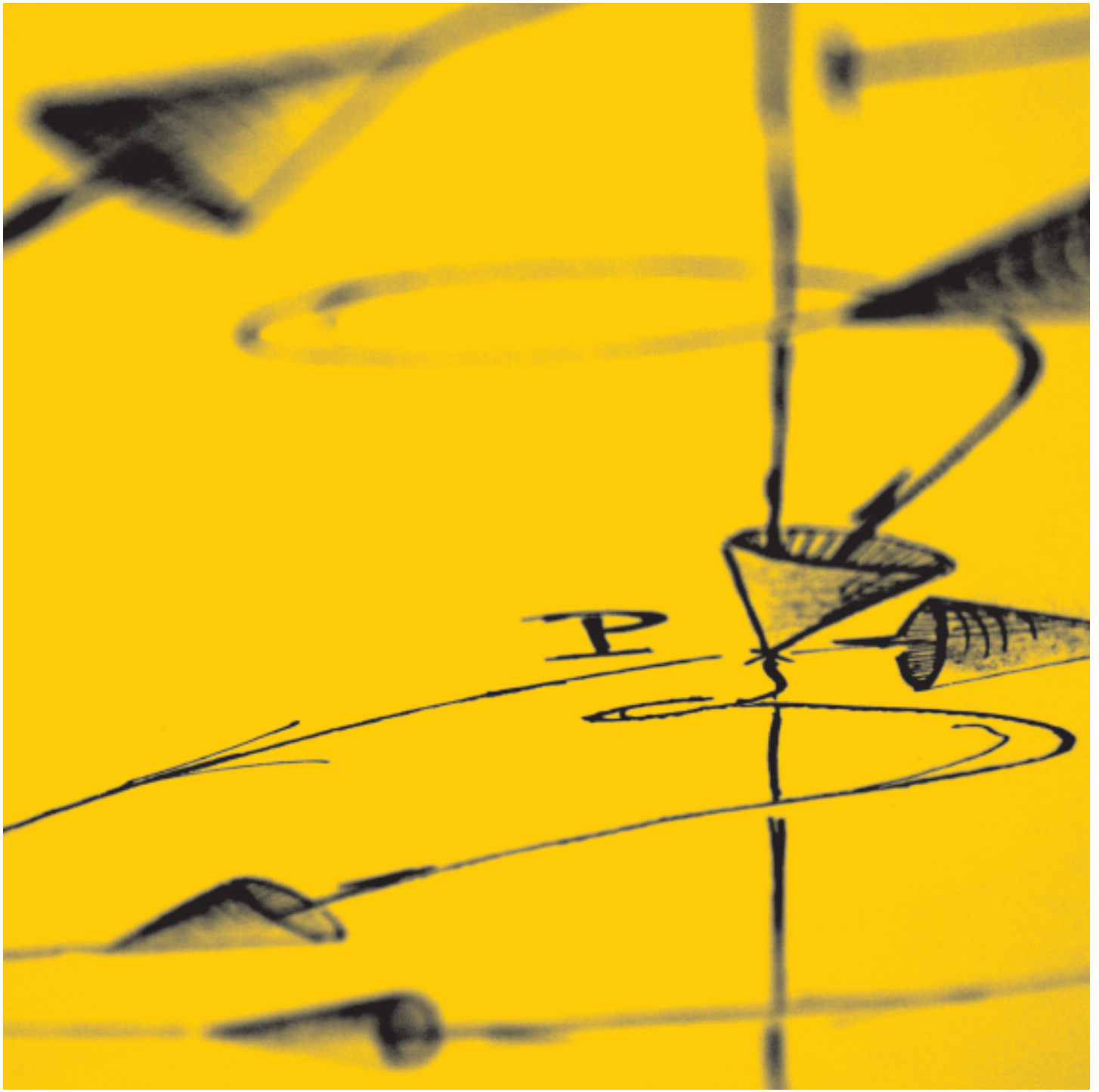
trapolation, even in conditions that have never been tested before, we go on legislating until new physics can stop, block, limit this extension of the local scientific knowledge .

In other words, the considerations above seem to point to the need of a new Copernican criticism. Not quite the one that removed us from the center of the Universe, but another, arguing against the extrapolation scientists have been resorting to. That is, to think that a global characteristic should not be attributed to the Laws of Physics and that, from this perspective, the action of discarding global cosmological processes in building a complete theory of natural phenomena would be legitimate.

That is, these Laws may take forms and modes that are different from those with which, in similar but not the same situations, “terrestrial” Physics was successfully developed. This analysis, that may lead to a description different from that physicists are used to, which becomes more and more necessary, even indispensable, is what we refer to as re-founding Physics through Cosmology. We may quote English physicist P.A.M. Dirac and Brazilian physicist C. Lattes as recent precursors of this way of thinking. Unfortunately, the practical mode they proposed for a particular re-foundation was too simple, thus

mologia. 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 re-fundação foi por demais simples, permitindo a elaboração de uma poderosa reação que refugou suas 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 da re-fundação, um pouco mais sofisticada daquela simples modificação das constantes fundamentais como pretendidas por Dirac e outros, possa ser seriamente empreendida.

allowing for a powerful reaction that shunned these ideas to the bordering and swampy terrain of speculation. Recent and formidable advances in Observational Cosmology allow us to accept that the time is coming when an analysis of this re-foundation, slightly more sophisticated than that simple modification of the fundamental constants as Dirac and others intended, may be seriously undertaken.



02

Antecedentes da Escola Brasileira de Cosmologia e Gravitação

Antecedents of the Brazilian School of Cosmology and Gravitation

Ao final de janeiro de 1971, o supervisor de meu pós-doutorado em Oxford, o renomado físico Denis Sciama, convidou-me para uma reunião no All Souls College, onde alguns cientistas que trabalhavam em seu grupo de pesquisas também seriam convidados – R. Penrose, S. Hawking, G. Ellis e W. Rindler. Desse grupo, além de mim, somente Penrose e Rindler compareceram para, informalmente, discutir algumas grandes questões da Física, em particular aquelas relacionadas a uma ciência que estava passando por uma intensa atividade: a Cosmologia. Em um dado momento da reunião, Sciama comentou que ele considerava importante que participássemos da primeira grande Escola de Cosmologia que os franceses estavam organizando para o verão daquele ano, possivelmente em julho, em um belíssimo lugar no Mediterrâneo, na pequena cidade de Cargèse, na Córsega.

At the end of January, 1971, my post-doctorate supervisor in Oxford, the renowned scientist Denis Sciama, invited me for a meeting at the All Souls College to which some scientists who worked in his research group were also invited (R. Penrose, S. Hawking, G. Ellis, W. Rindler, among others - Apart from myself, of all these, only Penrose and Rindler showed up). The goal was to informally discuss some major issues of Physics, particularly those related to a science that was experiencing intense activity back then: Cosmology. In a given moment of that meeting, Sciama said he considered it important that we participated in the first major School of Cosmology that the French were organizing for the coming summer, possibly July, in a beautiful place in the Mediterranean, in the small island of Cargèse, Corsica.

Era uma situação muito especial e vinha em um momento crucial de minha decisão de dedicar-me à Cosmologia. Uma semana antes, quando eu participei de uma conferência no International Center for Theoretical Physics (ICTP) em Trieste, e conversei com um físico do CBPF, recém-chegado do Brasil, ele havia feito alguns comentários sobre minha escolha que me deixaram apreensivo. Ele dissera que “havia decidido” que seria muito importante para o Brasil e o CBPF que eu mudasse meus interesses e iniciasse um programa de orientar minhas pesquisas para “uma área mais útil para o país, como, por exemplo, algum setor do estado sólido”. E, acrescentara que a renovação de minha bolsa de doutorado poderia depender dessa decisão. Esse tipo de ação não era incomum naquela época. Não sei se hoje tal interferência possa ocorrer. Pelo menos, não dessa forma pouco sutil. Minha decisão já estava tomada e a renovação de minha bolsa aconteceu, em particular graças a um físico brasileiro que trabalhava em Genebra como eu, embora ele não estivesse no Institut de Physique da Universidade de Genebra, mas sim no CERN: Roberto Salmeron. Ele, depois de tomar conhecimento da evolução de meu trabalho de tese, informou-me que apoiaria minha decisão de optar por um caminho que à época parecia completamente fora da motivação principal dos cientistas, a Cosmologia. Se faço um pequeno resumo desse in-

It was a very special situation and it came at a crucial moment of my decision to dedicate myself to Cosmology. One week before, when I had participated in a conference at the International Center for Theoretical Physics (ICTP) in Trieste, I had talked to a CBPF physicist who had just arrived from Brazil and made some comments on my decision to dedicate to Cosmology that caused me to become apprehensive. His comments were that “a decision had been made” that it would be very important for Brazil and the CBPF that I shifted my interests and started a program to guide my research efforts to “a more useful area for the country, such as some sector of solid state physics”. And, he added, renewal of my doctorate’s scholarship could depend on my decision. This type of action was not uncommon in those days. I don’t know whether such interference would happen today. At least, not with that lack of subtlety! My decision had already been made and my scholarship was renewed, particularly thanks to a Brazilian physicist who worked in Geneva like myself, though he was not at the Geneva University’s Institut de Physique but rather at CERN: Roberto Salmeron. After learning of the evolution of my dissertation work, he told me he would be supporting my decision to choose a path that looked totally estranged from the major motivation of most scientists, that is, Cosmology. If I allow myself to wander a bit into this

cidente, é somente para mostrar o estado geral das atribulações que, um cientista deveria ultrapassar naquela época para dirigir-se à Cosmologia. Curiosamente, menos de dez anos depois, esta ciência começou uma formidável fase de expansão, passando desde então, a atrair um número cada vez mais crescente de cientistas. Isso dito voltemos à Córsega.

A Escola de Cargèse resultou ser um tremendo sucesso. Ali compareceram grandes nomes da Cosmologia vindos não somente da Inglaterra e dos Estados Unidos, como por exemplo Schucking, Silk, Steigman, Harrison, Rees e Ellis, mas também alguns europeus do continente, em particular o professor Hagedorn, que à época atraía muita atenção com sua teoria que postulava a existência de uma temperatura máxima induzindo uma nova perspectiva sobre a singularidade do modelo padrão.

Por razões diversas, os grandes ausentes daquela reunião foram os representantes da então chamada Escola soviética de Cosmologia que, no entanto, atraíam minha atenção por me parecer mais imaginativa do que as propostas convencionais dos físicos americanos e europeus. Entretanto, foram estes que afinal acabaram por dominar durante as décadas seguintes o pensamento da comunidade científica do Ocidente, com algumas belíssimas exceções.

incident, it is just to show the general state of affairs a scientist had to overcome back then in order to address Cosmology. Curiously enough, less than ten years later, Cosmology started a formidable phase of expansion, and has attracted an ever bigger number of scientists since then. Having said that, let us go back to Corsica.

The Cargèse School was an enormous success. In attendance were great names of Cosmology coming not only from England and the United States, such as Schucking, Silk, Steigman, Harrison, Rees, Ellis, and others, but also some European ones, particularly professor Hagedorn, who was very successful at the time with his theory that postulated the existence of a maximum temperature inducing a new perspective on the singularity of the standard model.

For various reasons, the big names missing in that meeting were the representatives of the Soviet School of Cosmology who, nevertheless, attracted my attention because their approach seemed to be more imaginative than the conventional proposals by European and American physicists. However, they were the ones who eventually commanded the thoughts of the western community of scientists for the coming decades, with some beautiful exceptions.

Um simples exame, mesmo que superficial, da BSCG mostra que a Escola soviética, esteve muito presente desde a primeira reunião, até os dias atuais. Dessa forma, a BSCG conseguiu popularizar, em especial junto aos cientistas brasileiros, muitas idéias dos físicos soviéticos. A peculiaridade da Escola soviética e sua originalidade marcaram esta participação singular e permitiu muitas vezes que a BSCG se tornasse um dos principais veículos de idéias alternativas às que dominavam o panorama da Cosmologia. Para exibirmos um exemplo particular, extremamente relevante, basta citar o curso dado em 1979 na II BSCG, em João Pessoa, pelo professor Evgeni Lifshitz que, baseando-se no trabalho que fizera juntamente com V. Belinski e I. Khalatnikov, tratava do modo pelo qual o Universo se comporta nas vizinhanças de uma singularidade, fazendo a audaciosa hipótese da existência de uma fase anisotrópica primordial. Quase 30 anos depois, no mais recente congresso Marcel Grossmann, realizado em 2006 em Berlim, uma das sessões plenárias, dada pelo físico francês Thibault Damour, pretendeu resgatar aquelas idéias originais de Belinski-Lifshitz-Khalatnikov, adaptando-as às propostas modernas de investigação cosmológica.

Aquela Escola de Cargèse durou duas maravilhosas semanas, sob a alegre e descontraída coordenação do professor E. Schatzman. Ele, um entusiasta da di-

A simple and superficial exam of the list of lecturers that participated in the BSCG shows that this Russian School has been really active, from the very first meeting to date. Thus, the BSCG have managed to popularize, especially among Brazilian scientists, many ideas from those Soviet physicists and, later, from the Russian community. The peculiarity and originality of this Russian School have marked this unique participation and often allowed it to become the main outlet for ideas that are alternative to the ones dominating the panorama of Cosmology. To share a particular and extremely relevant example, suffice it to mention the course program offered in 1979 at the II BSCG, in João Pessoa, by Professor Evgeni Lifshitz who, based on his previous efforts with V. Belinski and I. Khalatnikov, addressed the way in which the Universe behaved in the vicinities of a singularity, raising a daring hypothesis of the existence of a primordial anisotropic phase. Nearly thirty years later, in the most recent Marcel Grossmann Congress held in 2006 in Berlin, one of the plenary sessions conducted by the French physicist Thibault Damour attempted to revive the original ideas by Belinski-Lifshitz-Khalatnikov, adapting them to modern proposals of cosmological investigation.

The Cargèse School lasted two wonderful weeks, under the happy and casual coordination of Profes-

vulgação científica, reuniu durante algumas noites – ora na praia, ora no centro da pequeníssima Cargèse – os jovens participantes da Escola para, naquelas estreladas noites, explicarmos as recentes descobertas da Astrofísica e da Cosmologia aos moradores das localidades vizinhas. Depois de uma breve introdução ao comportamento e estrutura das estrelas e das galáxias, nosso coordenador incitava os moradores a fazerem perguntas, de todos os tipos, aos cientistas. Perguntas que não se limitavam às áreas da Astrofísica, Cosmologia e Física em geral, mas inevitavelmente, transbordavam para o papel social do cientista, um tema que apaixonava Schatzman.

Numa dessas noites, sentindo o frio que vinha do mar, e concentrados em torno de uma pequena fogueira, disse-lhe que aquela reunião havia de tal modo me entusiasmado, sido tão rica de informações, uma experiência tão especial, que ao retornar ao meu país eu iria tentar organizar reuniões semelhantes. Ele, extremamente atencioso como sempre, comprometeu-se dizendo que eu poderia certamente contar com seu apoio, acrescentando uma questão sobre o número de cientistas brasileiros trabalhando nessa área. Respondi que embora houvesse uns poucos isolados físicos que poderiam acompanhar o desenvolvimento das modernas propriedades da Teoria da Gravitação, não havia nada

em E. Schatzman. Himself an enthusiast of scientific communication, he brought together the young participants, sometimes at the beach and others at tiny Cargèse's downtown area, for some beautiful stary evenings of explanations to awed locals about recent discoveries in Astrophysics and Cosmology. After a brief introduction to the behavior and structure of stars and galaxies, our coordinator urged listeners to ask questions of all sorts to the scientists. Those questions were never limited to Astrophysics, Cosmology, and Physics in general; they rather and inevitably overflowed into a scientist's social role, a theme Schatzman was passionate about.

In one such evening, feeling the cold breeze from the sea, concentrated around a small bonfire, I told him that the meeting had been so exciting to me, so informative, and such a unique experience, that I would try to organize similar meetings as soon as I got back to my country. Being so kind and heedful of others, as usual, he committed himself by saying that I could certainly count on his support, adding one question about the number of scientists working in that area in Brazil. I answered that though there were a few physicists working in isolation who could follow up on the development of modern properties of the gravitation theory, there was nothing systematic going on in my country. He

sistemático em meu país. Ele então acrescentou que para que esta idéia pudesse ser bem sucedida, eu deveria antes tratar de criar um pequeno núcleo de jovens cientistas a quem fosse dada uma formação sólida em Teoria da Gravitação e um ou mais anos de estudos cosmológicos. Quando voltei ao CBPF, no segundo semestre de 1972, foi precisamente o que fiz, criando o grupo de Gravitação e Cosmologia do CBPF, que serviu como embrião do atual Instituto de Cosmologia Relatividade e Astrofísica (ICRA-Brasil).

then added that if the idea was to be successful, I should try to create first a small core composed by young scientists who were to receive solid training in the theory of gravitation and one or two years of Cosmology studies. When I returned to CBPF, in the second semester of 1972, that was exactly what I did, creating the Gravitation and Cosmology Group of CBPF, which turned up to be the seed of today's Institute of Cosmology Relativity and Astrophysics (ICRA-Brazil).

O Ministro da Ciência e Tecnologia, Roberto Amaral, anuncia a criação do ICRA-Brasil durante a **X Marcel Grossmann**, realizada no Rio de Janeiro em 2003. Da esquerda para a direita, Fernando Pelegrino, Remo Ruffini, Mario Novello, Roberto Amaral e Luiz Pinguelli Rosa.

Minister of Science and Technology Roberto Amaral announce the creation of ICRA-Brasil during the **X Marcel Grossmann Meeting** realized in 2003, Rio de Janeiro. From left to right, Fernando Pelegrino, Remo Ruffini, Mario Novello, Roberto Amaral and Luiz Pinguelli Rosa.

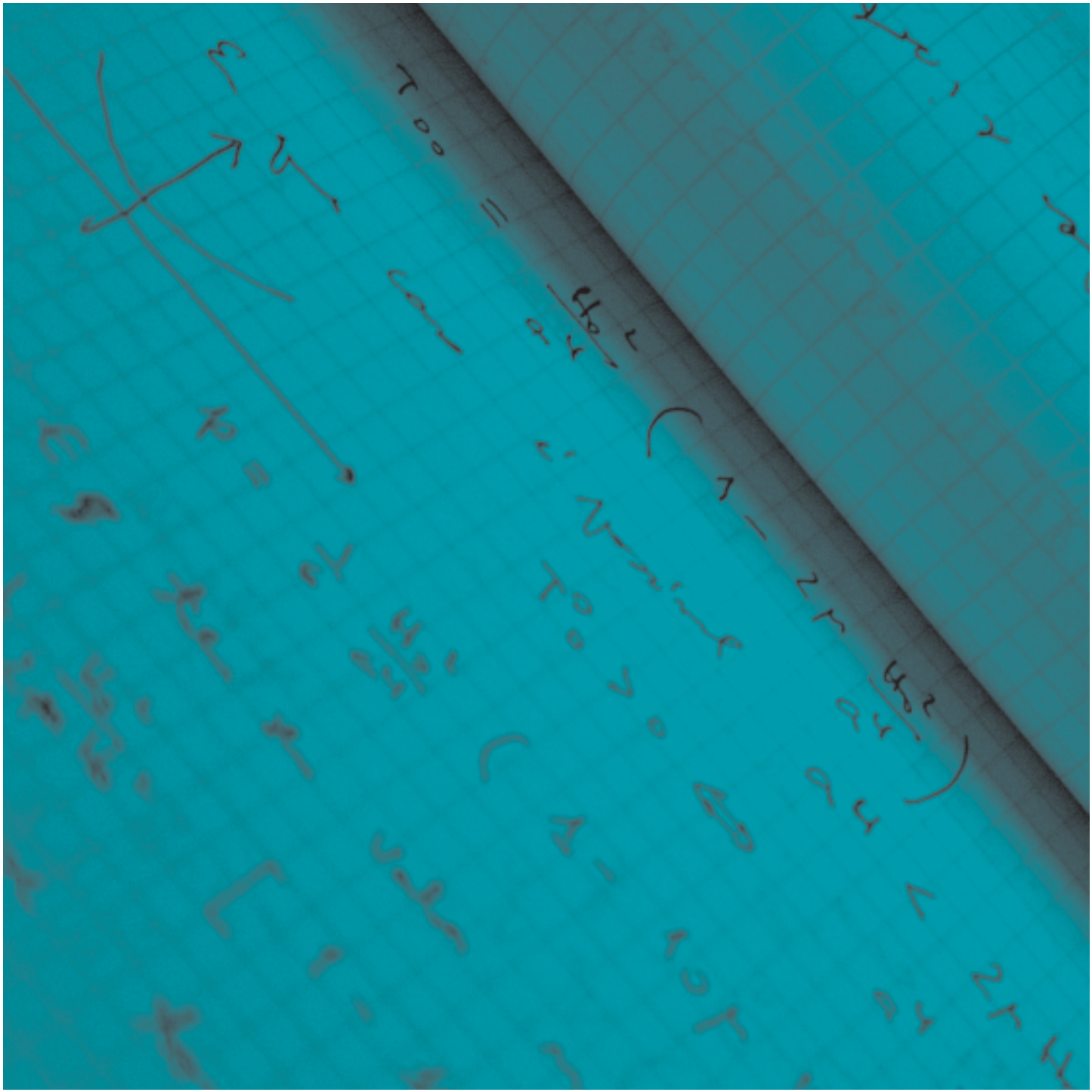


ICRA-BRASIL

A criação do ICRA-Brasil (Instituto de Cosmologia Relatividade e Astrofísica) foi anunciada, pelo Ministro da Ciência e Tecnologia Roberto Amaral, durante a X Marcel Grossmann Meeting, conferência da qual participaram quase 500 cientistas de 58 países, no Rio de Janeiro, em 2003. Além de desenvolver suas atividades próprias nas áreas de pesquisa, ensino pós-graduado, divulgação da ciência, a nova instituição deveria se tornar, tão logo implantada, o braço na América do Sul do ICRA Internacional, assim como da ICRANet, conforme esclareceu, na ocasião, seu Presidente, o físico Remo Rufinni. Na administração do Ministro Eduardo Campos, o ICRA-Brasil foi constituído como uma Coordenadoria no Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (CBPF), confiada ao professor Mário Novello. Mais recentemente, já na administração do Ministro Sérgio Rezende, foi assinado, em 21 de Setembro de 2005 em Roma, um Acordo Internacional, entre o Brasil e a ICRANet que permite a cooperação entre aquela instituição e o ICRA-Brasil. Em 24 de Outubro de 2007 o Diário da União publicou o Decreto Legislativo numero 292 no qual o Congresso Nacional (Câmara de Deputados e o Senado Federal) ratificou aquele Acordo de Cooperação.

ICRA-BRAZIL

The creation of ICRA-Brazil (Institute of Cosmology Relativity and Astrophysics) was announced by Minister of Science and Technology Roberto Amaral during the X Marcel Grossmann Meeting, a conference attended by nearly 500 scientists from 58 countries, in Rio de Janeiro, in 2003. Besides developing its own activities in the areas of research, graduate studies, and science communication, the new institution should soon become ICRA International's South American arm, as well as ICRANet's, as clarified by the then President Remo Rufinni. During Minister Eduardo Campos's administration, the ICRA-Brazil was built as a Coordination of the Brazilian Physics Research Center (CBPF), in charge of Professor Mário Novello. More recently, under the administration of Minister Sérgio Rezende, an International Agreement was signed in Rome on September 21, 2005, between Brazil and ICRANet allowing for cooperation between that institution and ICRA-Brazil. On October 24, 2007, the National Gazette published the Legislative Decree number 292 whereby the National Congress (House of Representatives and Federal Senate) ratified that Cooperation Agreement.



03

Temas e palestrantes da BSCG: de 1978 a 2008

BSCG themes and speakers: from 1978 to 2008

Durante o ano de 1976 o Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas – CBPF passou por uma mudança radical. Consciente das dificuldades que afligiam quase que constantemente uma instituição de natureza muito especial, voltada para a pesquisa fundamental, o governo federal aceitou finalmente integrar este centro a 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), hoje, Conselho Nacional do Desenvolvimento Científico e Tecnológico.

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.

During the year of 1976, the Brazilian Center for Research in Physics went through a radical change. Aware of the constant difficulties posed to a special institution such as the CBPF, focused on fundamental research, the federal government finally accepted to integrate this center to a federal agency. The CBPF thus became the first physics research institute to be directly incorporated to the National Research Council (CNPq), currently the National Council for Scientific and Technological Development.

The CBPF started its new phase with the arrival of Antonio César Olinto, designated as head of the new CBPF/CNPq. It was within this framework of renewal that Cosmology conquered its space and came forth as a new area of the endeavors of CBPF. The history of this period is rich in debates between personali-

Este período é rico 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: a aceitação do diretor do CBPF em conceder apoio financeiro e institucional à realização da Primeira Escola Brasileira de Cosmologia e Gravitação, que mais tarde, com sua internacionalização, passou a ser conhecida como Brazilian School of Cosmology and Gravitation, daí a sigla BSCG.

Esta I Escola foi dividida em duas partes, envolvendo cursos básicos que duravam uma semana inteira, e seminários avançados cujas aulas poderiam se limitar a uma ou no máximo três sessões. É interessante perceber que ainda hoje a BSCG se estrutura da mesma forma.

O orçamento da Escola foi muito pequeno, sendo basicamente financiada pelo CBPF. Entretanto, o entusiasmo dos estudantes foi tão grande que conseguiu transformá-la em um enorme sucesso, contrariamente às previsões pessimistas de alguns pesquisadores. Só para citar um exemplo dessa importante co-participação dos estudantes, lembro o desempenho na organização dos textos da Escola. Embora os professores houvessem preparado cuidadosamente suas notas de aula, não tínhamos a possibilidade de

ties who built the history of Physics in Brazil, but I will talk about it in another occasion. Of our interest here is only the outcome, as the head of the CBPF agreed to grant financial and institutional support to the First Brazilian School of Cosmology and Gravitation, which would later be known as Brazilian School of Cosmology and Gravitation when it went international, therefore acquiring the acronym BSCG.

This School was divided into two parts, involving basic programs that lasted a full week, and advanced seminars whose classes could be limited to one up to three sessions at most. Interestingly enough, the BSCG is structured as such, to date.

The budget of the School was very small, as it was basically funded by the CBPF. However, the enthusiasm of the students was such that turned it into a major success, contrary to the pessimistic forecast of various colleagues. To mention but one example of this important student co-participation, I recall their performance in organizing the School texts. Though the faculty had carefully prepared their class notes, we had no possibility to print them. The solution was then offered by the students themselves: they mimeographed the notes, created a strongly-yellow-colored cover and manually bound all of the texts!

This willpower on the part of the students greatly

imprimi-las. Pois a solução foi dada pelos próprios alunos que os mimeografaram, criaram uma capa (de cor amarela-forte) e providenciaram a encadernação manual de todos os textos disponibilizados pelos professores!

Essa força de vontade dos alunos estimulou enormemente os professores que passaram toda a Escola em permanente atividade, produzindo uma interação aluno-professor que ficou como a marca principal dessa I Escola e foi o estopim que permitiu ao diretor do CBPF convencer as autoridades (CNPq, Capes) a financiar, logo no ano seguinte, a II Escola, bastante mais completa e administrativamente mais organizada que a primeira, onde tudo começou.

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

Nos anos 70 o Brasil vivia uma fase política extremamente difícil. Isto se fazia notar, e muito, no CBPF. Alguns de seus melhores quadros foram proibidos de continuar exercendo suas atividades científicas

encouraged the staff, who then spent the entire School in permanent activity, thus producing a student-teacher interaction that lingered on as a hallmark and operated as a trigger for CBPF's director to convince the relevant authorities (CNPq, Capes) to provide the funds in the subsequent year for the 2nd School, much more complete and administratively more organized than the 1st.

Beside these scientific aspects involving the onset of a successful activity that thirty years later is even more attractive and exciting for young scientists who intend to delve into Cosmology issues, there is also a curious fact involving a great name of Brazilian science that would perhaps be convenient to leave as a record in this BSCG commemorative booklet.

In the 1970's, Brazil was going through an extremely difficult political phase. That was clearly observed at CBPF, and very much so, for some of the institution's most outstanding members had been prohibited to continue practicing their scientific activities here. Some had already chosen to practice in universities abroad, such as José Leite Lopes, who was welcomed in the Strasbourg University, France, in accordance to his high scientific achievement. I tried to invite him to open this 1st School for two reasons: first, he was an important scientist in the Brazilian and the

na instituição e haviam escolhido trabalhar em universidades no exterior, como José Leite Lopes que encontrara na Universidade de Strasbourg, na França, uma acolhida digna de seu status científico. Eu tentara convidá-lo para abrir a I Escola por duas razões: primeiro por se tratar de cientista importante no panorama brasileiro e internacional; e por outro lado, havia uma razão mais pessoal, embora Leite não tivesse trabalhado em Teoria da Gravitação nem em Cosmologia, fora meu orientador de tese de Mestre em 1968 e havia despertado meu interesse pelos fundamentos formais da Física. Consequentemente, Leite Lopes estava ligado a meu interesse em Cosmologia, a ciência que trata dos fundamentos da realidade do Universo. Entretanto, por razões políticas, Leite não pôde aceitar meu convite. Ao comunicar esse fato logo na abertura da I Escola, resolvemos todos ali presentes, alunos e professores, redigir um documento para ele. Eis o que dizia aquela carta-manifesto assinada por todos os alunos e professores da I Escola:

**Caro Leite,
A Primeira Escola de Cosmologia e Gravitação do CBPF teve um grande ausente: você.
Aceite nossa calorosa lembrança como manifestação de que continuas e continuarás sempre presente entre nós.**

international scene; on the other hand, there was a more personal reason. Though he had worked neither on Gravitation Theory nor on Cosmology, Leite had been my master's thesis advisor in 1968 and had then aroused my interest for the formal foundations of Physics. Consequently, he was connected to my interests in Cosmology, the science that deals with the foundations of the reality of the Universe. However, for political reasons, Leite could not accept my invitation. As we communicated this fact at the opening ceremony of the 1st School, all of us teachers and students in attendance decided right there to write a document bearing everybody's signature to send to him. And here is a copy of that letter-manifesto:

**Dear Leite,
The First CBPF School of Cosmology and Gravitation had a major absentee: you.
Accept our warm remembrance as manifestation that you are still and will always be present among us.**

The BSCG was created to become a forum for studies and analyses of Cosmology's major issues, and a brief examination of these events' profile provides an understanding of how the idea has been evolving since 1978, when the first such meeting was held. Both the 1st and the 2nd School (held respectively in

A BSCG foi criada para se constituir em um fórum de estudo e análise das principais questões associadas à Cosmologia e um rápido exame do perfil histórico destes eventos permite compreender como esta idéia tem evoluído desde o ano de 1978, quando ocorreu o primeiro encontro.

Tanto a I quanto a II Escolas (realizadas nos anos de 1978 e 1979, respectivamente) constituíram-se em um meio de consolidação, junto aos nossos jovens físicos, da estrutura básica da Teoria da Gravitação, bem como das ferramentas e técnicas matemáticas, indispensáveis a uma maior compreensão da Teoria da Relatividade Geral e da sua caracterização da estrutura dinâmica do espaço e do tempo. Além desse trabalho de base, foram apresentados alguns conceitos primordiais de teorias correlatas à Gravitação e à Relatividade Geral, envolvendo rudimentos das Teorias Unificadas e alguns aspectos básicos da Astrofísica Relativística. Isto pode ser comprovado por um exame dos cursos apresentados na II Escola.

Nas III e IV Escolas (realizadas, respectivamente, em 1982 e 1984) foram aprofundadas as noções de Astrofísica apresentadas nas Escolas anteriores. Além disso, focalizou-se o estudo das Teorias de Partículas Elementares e a sua íntima associação com o

1978 and 1979) were a means to consolidate the basic structure of Gravitational Theory for our young physicists, as well as the crucial mathematical tools and techniques for a better understanding of the General Theory of Relativity. Besides this basic endeavor, some crucial concepts of theories that are correlated with Gravitation and the General Theory of Relativity involving rudiments of the Unified Theories and some basic aspects of Relativistic Astrophysics were discussed. This may be confirmed with an overview of the course programs offered for the 2nd School.

In the 3rd and 4th Schools (held in 1982 and 1984, respectively), notions of Astrophysics presented in the previous Schools were elaborated. Furthermore, there was a focus on the study of the Theory of Elementary Particles and its last association with the so-called Standard Model of Cosmology, identified with the notion of an explosive and hot start for the Universe (known in the literature as the *Hot Big Bang Hypothesis*).

The internationalization

In 1987, the 5th School of Cosmology and Gravitation could increase the knowledge base and the analysis presented in the previous Schools, thus evolving to a broader and deeper debate of the feasible potencial

I ESCOLA 1st SCHOOL 1978

BASIC COURSE PROGRAMS

- Theory of Gravitation **C. G. de Oliveira** (Brasília University)
Relativist Cosmology **M. Novello** (CBPF)
Transformation Groups **M. Maia** (Brasília University)
Experimental Gravitation **H. Heintzmann** (Cologne University, Germany)

CRASH-COURSES

- Grassman Coordinates in Riemann Spaces **C. G. de Oliveira**
Neutrino-gravitation Interaction **I. Damião Soares**
Scalar and Vectorial Fields in General Relativity **A. F. da F. Teixeira**
Background Radiation at 3 degrees Kelvin **R. Aldrovandi**
Quasi-Maxwellian Equations of Gravitation **M. Novello**
Observational Aspects of Black Holes **J.A. Pacheco**
Immersion in Space-Time **M. Maia**
The Mach Principle **M. Gomide**

II ESCOLA 2nd SCHOOL 1979

- Transformation Groups **M. D. Maia**
Black Holes **J.A. De Freitas Pacheco**
Toward Geometrizing Electromagnetism **M. Novello**
"Strings" in Special Relativity and in General Relativity **P. A. Letelier Sotomayor**
Properties of Stellar Matter **T. Kodama**
Relativist Cosmology **M. Novello**
Introduction to the formulation of some Theories of the Unitary Field **C. G. Oliveira**
Calculating differentials and the Dirac Equation in Curved Spaces **I. Damião Soares**
Galaxies in the Universe **J. L. Sersic**
Dynamic of stellar clusters and galaxy clusters **S. J. Codina-Landaberry**
Spontaneous break of symmetry and Cosmological Models **H. Fleming**
Some aspects of the Gauge Theory **P. Srivastava**
The Gravitation Theory **C. G. Oliveira**
Singularities of the Cosmological Solutions of Einstein's Equations **I. M. Khalatnikov** and **E. M. Lifshitz**
The Extragalactic Distance Scale **J. L. Sérsic**
The Cosmological Distance Scale **W. Kunkel**
Classical Theories of Gauge and Gravitation **R. Aldrovandi**
Differential Presymplectic Geometry and the Dirac-Bergmann Formalism for Mechanics with Links **P. Rodrigues**
Neutron Stars in Theory and Observation **H. Heintzmann**



III ESCOLA 3rd SCHOOL 1982

The large scale structure of the Universe **G. Chincarini**

The applications of the inverse scattering problem in General Relativity **V. A. Belinski**
Pulsars **H. Heintzmann**

Solitons of matter in General Relativity **P. S. Letelier**

Introduction to the formulation of some unitary theories
and the Gauge Theory of the Group $U(3,1)$ **C. G. de Oliveira**

The Electromagnetic Spectrum of the Cosmic Background Radiation **N. J. Shuch**

Gravitational coupling of neutrinos to matter vorticity II: microscopic asymmetries
in angular-momentum modes **I. D. Soares** and **L. C. M. S. Rodrigues**

Metric fluctuations: The macroscopic Equations of Gravity
and Chaos Versus Anti-Chaos: **M. Novello**

The Angular Distribution of the Cosmic Background Radiation **N. J. Shuch**

Quantum Gravity **B. Dewitt**

Introduction to Super Symmetry and Supergravitation **P. P. Srivastava**

Neutrinos in the Universe **R. Opher**

SCIENTIFIC COMMITTEE

M. Novello (CBPF/BR); **J. A. F. Pacheco** (Observatório Nacional, BR);

L. A. Videira (Pontifícia Universidade Católica PUC/RJ/BR);

C. G. de Oliveira (Universidade de Brasília, UnB/BR); **I. D. Soares** (CBPF/BR)

IV ESCOLA 4th SCHOOL 1984

Initial value problem positivity of energy **I. Choquet-Bruhat**

Formation of large scale structure in the Universe **F. Lizhi**

Self-consistent Cosmology an inflationary alternative
to the Minkowskian quantum vacuum **E. Gunzig**

Lectures on semi classical Quantum Gravity **M. Castagnino**

Five lectures on Particle Physics and Cosmology **E. W. Kolb**

Topics at the interface of Particle Physics and Cosmology **D. N. Schramm**

Stochastic methods in Cosmology **M. Novello**

SCIENTIFIC COMMITTEE

M. Novello (CBPF/BR); **R. Aldrovandi** (IFT/BR); **M. C. S. Rodrigues** (CBPF/BR);

J. M. Salim (CBPF/BR)



V ESCOLA 5th SCHOOL 1987

Some notes on the propagation of discontinuities in solutions to the Einstein equations **K. Lake**

Standard Cosmology **G. F. R. Ellis**

Nonstandard cosmologies **J. V. Narlikar**

The program of an Eternal Universe **M. Novello**

Vacuum in plane and curved Spacetimes **N. Sanchez**

The role of Quantum Mechanics in the specification of the structure of Spacetime **J. Audretsch**

Influence of the cosmological background

on the mutual interaction of quantum fields **J. Audretsch**

Lectures on Particle Cosmology **E. W. Kolb**

Toward a history of Einstein's Theory of Gravitation **J. Eisenstaedt**

Elements of BRST Theory **C. Teitelboim**

SCIENTIFIC COMMITTEE

M. Novello (CBPF/BR); **Ligia M. C. S. Rodrigues** (CBPF/BR);

N. O. Santos (ON/BR); **I. Costa** (CBPF/BR)



VI ESCOLA 6th SCHOOL 1989

Cosmic strings and the singularity problem **V. Moncrief**

Accelerated observers and quantum effects **S. Takagi**

Introduction to Stochastic Quantum Theory **F. Guerra**

Quantum effects in Cosmology **L. P. Grishchuck**

Quantum Field Theory in curved spaces **I. G. Moss**

Minisuperspaces **M.P. Ryan Jr.**

General Relativity and Fierz-Lanczos Variables **M. Novello**

Quantum Field Theory in Eternal Universes **N. Deruelle**

SCIENTIFIC COMMITTEE

M. Novello (CBPF/BR); **L. A. R. Oliveira** (CBPF/BR); **A. J. Accioly** (IFT/BR)

MINI ESCOLA 1991

Cosmologia **M. Novello**

Gravitação **I. D. Soares**

Termodinâmica Relativista **J. M. Salim**

Formulação Hamiltoniana da Gravitação **N. Pinto Neto**

Teoria Quântica de Campos com Espaços Curvos **N. F. Svaiter**



VII ESCOLA 7th SCHOOL 1993

Elementary Particles in Cosmology **A. Dolgov**

Quantum Field Theory in curved Spacetime **L. Ford**

Multidimensional classical and Quantum Cosmology and Gravitation: exact solutions and variations of constants **V. Melnikov**

Nonlocal Electrodynamics **B. Mashhoon**

Theoretical Cosmology **M. Novello**

Perturbations in the expanding Universe **S. Gottlöber**

Observing the Universe **B. Jones**

Generalized quantizations of Gauge Theories **I. Tytin**

Quantum effects in Cosmology **L. Grishchuk**

SCIENTIFIC COMMITTEE

M. Novello (CBPF/BR); **Fang Li Zhi** (China); **C. Romero** (UFPb/BR); **A. J. Accioly** (IFT/BR);

E. Elbaz (Université de Lyon/FR); **R. Triay** (Université de Marseille/FR)

VIII ESCOLA 8th SCHOOL 1995

Modern Cosmology and structure formation **R. H. Brandenberger**

Particle Physics and Cosmology **J. Ellis**

Quantum Cosmology **N. Pinto Neto**

Formation of large scale structure of the Universe **V. N. Lukash**

Dynamics of inhomogeneous models near a singularity in classical and quantum Cosmology **A. A. Kirillov**

Minimal closed set of observables in the Theory of Cosmological Perturbations **M. Novello**

Earth as a low frequency gravitational wave detector **V. N. Rudenko**

Classical solutions in multidimensional Cosmology **V. N. Melnikov**

SCIENTIFIC COMMITTEE

M. Novello (CBPF/BR); **E. Elbaz** (Université de Lyon/FR); **T. Villela** (INPE/BR);

R. Triay (Centre de Physique Théorique de l'Université de Marseille/FR);

V. Melnikov (Centre for Fundamental Interaction and Metrology/RU);

E. Kolb (FermiLab, USA)



IX ESCOLA 9th SCHOOL 1998

Cosmology with the Cosmic Microwave Background Radiation (CMBR) **G. Smoot**

Black Holes: classical properties, thermodynamics, and heuristic quantization **J. D. Bekenstein**

Physics and Astrophysics of Black Holes and physics of time machines **I. D. Novikov**

Homogeneity and fractality **L. Amendola**

Physics of the Universe **J. Villumsen**

Light-front quantized field theory **P. P. Srivastava**

Field Theory of Gravity **M. Novello**

Aspects of Black Hole entropy **W. Israel**

Cosmological applications of QFT in curved Spacetimes **V. M. Mostepanenko**

From quantum to stochastic classical Cosmology **A. Starobinski**

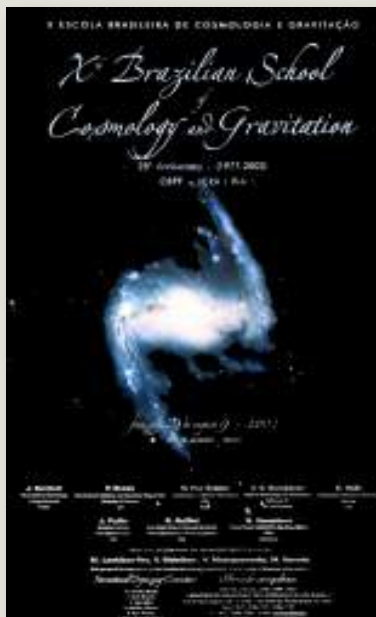
SCIENTIFIC COMMITTEE

M. Novello (CBPF/BR); **E. Elbaz** (Université de Lyon/FR); **T. Villela** (INPE/BR);

R. Triay (Centre de Physique Théorique de l'Université de Marseille/FR);

V. Melnikov (Centre for Fundamental Interaction and Metrology/RU);

E. Kolb (FermiLab, USA)



X ESCOLA 10th SCHOOL 2002

Methodology of observational Cosmology **J. G. Bartlett**

New perspectives in Physics and Astrophysics from the theoretical understanding of Gamma-ray Bursts **R. Ruffini, C. L. Bianco, P. Chardonnet, F. Fraschetti, L. Vitagliano** and **S. Xue**

Chaotic phenomena in Astrophysics and Cosmology **V. G. Gurzadyan**

String and M. Theory Cosmology **E. J. Copeland**

Canonical quantization of General Relativity: the last 18 years in a nutshell **J. Pullin**

The strong- coupling expansion and the singularities of the perturbative expansion **N.F. Svaiter**

Space and Spacetime **M. Lachièze-Rey**

P-branes, extra dimensions, and their observational windows **V.N. Melnikov**

Experimental status of corrections to Newtonian Gravity inspired by the extra dimensional Physics **V. M. Mostepaneko**

Variable cosmological term **I. Dymnikova**

Cosmology from topological defects **A. Gangui**

On the possible role of massive neutrinos in cosmological structure formation **M. Lattanzi, R. Ruffini,** and **G. Vereshchagin**

Effective Geometry **M. Novello** and **S. E. Perez Bergliaffa**

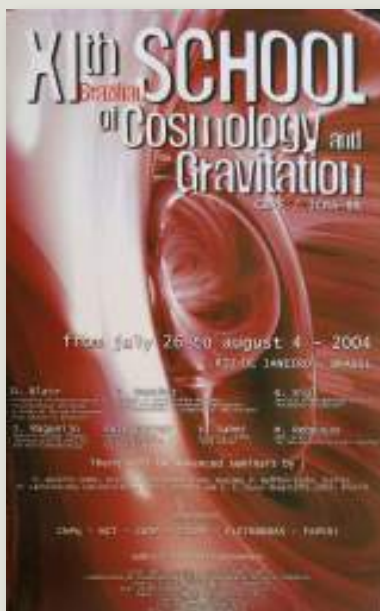
SCIENTIFIC COMMITTEE

M. Novello (CBPF/BR); **E. Elbaz** (Universidade de Lyon/FR);

R. Triay (Centre de Physique Théorique de l'Université de Marseille/FR);

V. Melnikov (Centre for Fundamental Interaction and Metrology, Moscow, Russia);

E. Kolb (FermiLab, USA); **S.E. P. Bergliaffa** (CBPF/BR)



XI ESCOLA 11th SCHOOL 2004

Lectures on Astroparticle Physics **G. Sigl**

The Blackholic Energy, long and short Gamma-ray Bursts
R. Ruffini, M.G. Bernardini, C.L. Bianco, P. Chardonnet, F. Fraschetti, V. Gurzadyan, L. Vitagliano, and S. Xue

Gravitational waves, concepts, sources, signals and detection
A. Lee, E. Howell, D. Coward, and D. Blair

Dark Energy **V. Sahni**

A brief introduction to cosmic topology **M. J. Rebouças**

Braneworlds **R. Durrer**

Phenomenological Quantum Gravity **Kimberly and J. Magueijo**

Laser interferometer gravitational wave detectors – the challenges **L. Ju and C. Zhao**

Evolution of perturbations in Bouncing Cosmological Models **N. Pinto Neto**

Local effects of Cosmology **M. Lachièze-Rey**

Functions on the sphere and multipole vectors **M. Lachièze-Rey**

Non-linear Electrodynamics in Cosmology **M. Novello and S. E. Perez Bergliaffa**

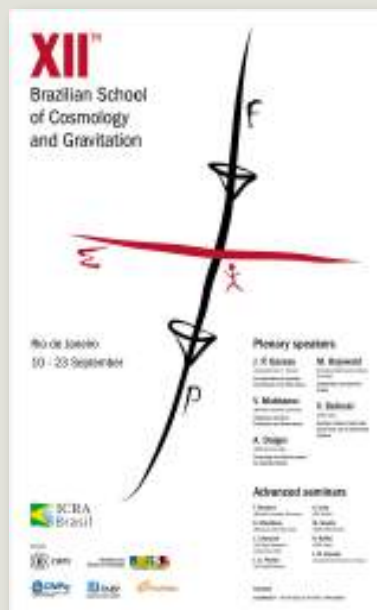
SCIENTIFIC COMMITTEE

M. Novello (ICRA-BR/CBPF); **E. Elbaz** (Universidade de Lyon/FR);

R. Triay (Centre de Physique Théorique de l'Université de Marseille/FR);

V. Melnikov (Centre for Fundamental Interaction and Metrology/RU);

E. Kolb (FermiLab, USA); **S. E. P. Bergliaffa** (CBPF/BR)



XII ESCOLA 12th SCHOOL 2006

Model **A. D. Dolgov**

Cosmic inflation **V. Mukhanov**

The Blackholic Energy and the canonical Gamma-ray Burst **R. Ruffini, M. G. Bernardini, C. L. Bianco, L. Caito, P. Chardonnet, M. G. Dainotti, F. Fraschetti, R. Guida, M. Rotondo, G. Vereshchagin, L. Vitagliano, and S. S. Xue**

An introduction to Quantum Field Theory in De Sitter Spacetime **J.P. Gazeau**

Quantum Fields in Black Hole Spacetime and in accelerated systems **V.A. Belinski**

Singularities and Quantum Gravity **M. Bojowald**

Power spectra of Black Holes (BH) and Neutron Stars (NS) as a probe of hydrodynamical structure of the source: diffusion theory and its application to X-ray observations of NS and BH sources **L. Titarchuk, N. Shaposhnikov and V. Arefiev**

Euler – Poisson – Newton approach in Cosmology **R. Triay and H.H. Fliche**

Backreaction issues in Relativistic Cosmology and the Dark Energy debate **T. Buchert**

Some implications of the Cosmological Constant to fundamental Physics **R. Aldrovandi, J.P. Beltrán Almeida, and J. G. Pereira**

Particles and fields on the De Sitter Universe **U. Moschella**

Multidimensional Gravitational Models: Fluxbrane and S-brane solutions with polynomials **V.D. Ivashchuk and V.N. Melnikov**

SCIENTIFIC COMMITTEE

M. Novello (ICRA-BR/CBPF); **E. Elbaz** (Université de Lyon/FR);

R. Triay (Centre de Physique Théorique de l'Université de Marseille/FR);

V. Melnikov (Centre for Fundamental Interaction and Metrology/RU);

E. Kolb (FermiLab, USA); **S. E. P. Bergliaffa** (CBPF/BR)



XIII ESCOLA 13th SCHOOL 2008

Loop Quantum Gravity **A. Perez**

Dark Energy **A. Starobinsky**

Cosmological primordial fluctuations **F. Bernardeau**

Alternative approaches to Cosmology **J. Narlikar**

The phenomenology of large scale structures **R. Sheth**

Quantum Field Theory in curved Spacetimes **U. Moschella**

Einstein-Maxwell Solitons **V. Belinski**

CMB Physics **A. Challinor** and **T. Villela**

Host galaxies of AGN **A. Treves**

On the Dark Energy Equation of State **J. Alcaniz**

Bouncing Cosmologies **M. Novello**

Did we already observe small mass Black Holes in the Galactic Center? **P. Chardonnet**

Gamma-ray Burst **R. Ruffini**

Nonsingular models in diverse dimensions **V. Melnikov**

Critical thoughts on Cosmology / Astrobiology **W. Kundt**

SCIENTIFIC COMMITTEE

E. Kolb (Fermilab/USA); **V. Melnikov** (Center for Gravitation and Fundamental Metrology/ RU); **E. Elbaz** (Université de Lyon/FR);

R. Triay (Centre de Physique Théorique de l'Université de Marseille/FR);

S.E.P. Bergliaffa (Universidade do Estado do Rio de Janeiro/BR);

R. Ruffini (Università La Sapienza, IT); **M. Novello** (ICRA/CBPF/BR)

chamado Modelo Padrão da Cosmologia (*Standard Model*) – modelo este identificado com a noção de um princípio explosivo e quente para o Universo (conhecido na literatura como *Hot Big Bang Hypothesis*).

A internacionalização

No ano de 1987, a V Escola de Cosmologia e Gravitação pôde ampliar a base de conhecimento e análise apresentada nas Escolas anteriores, evoluindo para um debate mais amplo e profundo das possíveis alternativas viáveis de explicação do comportamento em larga escala do Universo. Foram apresentados, nesta ocasião, cursos baseados no Modelo Padrão, bem como mais de um curso examinando a idéia de um Universo Eterno, sem começo nem fim. Além dessas abordagens específicas, foi possível examinar, com detalhes, a relação entre a Física Quântica e a Gravitação. Embora esta união ainda esteja longe de ser considerada completa, as idéias básicas envolvendo processos quânticos da Gravitação foram apresentadas na V Escola e desenvolvidas posteriormente, na VI Escola.

A V Escola foi também a primeira a ser aberta à comunidade científica internacional: pesquisadores e alunos de 24 países inscreveram-se. A partir de en-

alternativas to explain the large scale behavior of the Universe. Back then, courses based on the Standard Model were presented, as well as several talks dealing with the idea of an Eternal Universe, without beginning or end. Besides these specific approaches, the relation between Quantum Physics and Gravitation was examined in detail. Though this union is still far from being complete, the basic ideas involving quantum principles of gravitation were presented in the 5th School that were later developed in the 6th School.

The 5th School was also the first one opened to the international scientific community: researchers and students from twenty-four (24) countries were enrolled and, from that 5th edition onward, the School's name became international and it was then renamed as the Brazilian School of Cosmology and Gravitation. The lectures presented there also reflected this internationalization.

The ideas preliminarily presented in the previous School were developed during the two weeks of the 6th School of Cosmology and Gravitation, in 1989. The courses underlined the emphasis given to quantum processes in Cosmology. That fact is a natural evolution of the previous events, reflecting the important role played, even then, by the examination of quan-

tão a Escola passou a ser conhecida como Brazilian School of Cosmology and Gravitation e os cursos refletiram esta mudança.

Em 1989, durante as duas semanas da VI Escola de Cosmologia e Gravitação, as idéias apresentadas preliminarmente na Escola anterior foram então desenvolvidas. Nota-se nos cursos a ênfase dada aos processos quânticos em Cosmologia, um reflexo do importante papel que o tema já desempenhava naquele momento. Além desses cursos – com duração de uma semana cada – foram realizadas pequenas reuniões de trabalho, baseadas em cursos paralelos. Dentre os eventos adicionais, dois tiveram particular importância: a abertura de uma sessão de seminários dos alunos-participantes, promovendo assim uma maior interação entre eles e os expositores; e uma sessão extraordinária de debates, na qual os dez professores palestrantes expuseram, individualmente, a sua opinião sobre as principais questões atuais da Cosmologia e áreas correlatas. Esta experiência foi tão satisfatória que foi integrada à organização das Escolas subsequentes.

No ano de 1991, devido às dificuldades financeiras do sistema de Ciência/Tecnologia do país, não foi possível manter a periodicidade da Escola. Entretanto, com o objetivo de não frustrar a expectativa de

tum processes in Cosmology. Besides these course programs — lasting a week each — small working meetings were held as parallel courses. Amongst these additional events, two were particularly important: the opening of a session of student-participant seminars, thus promoting greater interaction between them and exhibitors; the start of an extraordinary debate session where the ten presenting professors individually exposed their ideas on the main current issues of Cosmology and related areas. This experience was so satisfactory that it was integrated in the organization of subsequent Schools.

In 1991, due to financial difficulties of the country's Science/Technology system, the periodicity of the Brazilian Schools of Cosmology and Gravitation could not be maintained. Nevertheless, in order not to hinder an entire generation of young scientists, a small meeting was held at CBPF: A “Crash-Course” on July 15-26, was attended by 79 student/grantees of different Brazilian universities and was an important basis for later studies and projects.

New models on the creation of the Universe

In 1993, the 7th Brazilian School of Cosmology and Gravitation was again held in two weeks. Besides

uma nova geração de jovens cientistas, foi realizado um pequeno encontro no CBPF – uma “Mini-Escola” – com duração de 15 a 26 de julho, que contou com a participação de 79 alunos/bolsistas de diversas universidades brasileiras e constituiu-se em importante base para posteriores estudos e projetos.

Novos modelos sobre a criação do Universo

Em 1993, a VII Escola foi novamente realizada em duas semanas. Além de apresentar um panorama geral sobre as principais conquistas e questões não resolvidas da Cosmologia, nesta Escola foi dada continuidade à discussão sobre uma das mais formidáveis questões do pensamento: a *criação do Universo*. A grande novidade se deveu à mudança geral de comportamento dos cientistas quanto ao passado remoto do nosso Universo: enquanto, até recentemente, atribuía-se à uma inacessível *explosão inicial* a função de geradora de explicação de todos os posteriores processos da natureza, naquele momento começaram a surgir várias propostas competitivas procurando ter acesso à questão da criação, tanto clássica quanto quanticamente. Assim, modelos de Universo Eterno sem singularidade foram discutidos em vários momentos. Havia, entretanto, um consenso geral de que o Universo teria passado por um período extremamente quente. Isto significa que um

presenting an overall panorama of the main conquests and unresolved issues of Cosmology today, this School enabled the continued discussion on a most formidable issue: *the creation of the Universe*. The main novelty was due to a general change in the scientists' behavior concerning the remote past of our Universe: whereas up until recently the role of an explanation generator for all of nature's ulterior processes was attributed to an inaccessible *initial explosion*, back then several competing proposals started to appear in search for access to the issue of creation, both the classical and the quantum ones. So, models of the Eternal Universe without singularity were discussed in this School, at various moments. There was, however, general consensus that the Universe would have been through an extremely hot period. It means that either a process of quantum tunneling or a previous classical collapsing phase should provide the conditions for a likely moment of tremendous concentration of matter/energy. Different proposals of that sort were examined in the courses and seminars of this School.

The 8th Brazilian School of Cosmology and Gravitation, held in 1995, consolidated the international nature of the School, not only for the fact that it involved professors who enjoyed high prestige in the international scientific community but also, and

processo de tunelamento quântico ou uma fase colapsante clássica anterior deveria prover condições para que um momento de tremenda concentração de matéria/energia pudesse ocorrer. Diferentes propostas nesta direção foram examinadas nos cursos e seminários da VII Escola.

A VIII Escola, realizada em 1995, consolidou o seu caráter internacional, não somente pelo fato de contar com professores de grande prestígio na comunidade científica internacional, como principalmente pelo grande número de participantes-alunos vindos de outros países. Nesta Escola, ênfase especial foi dada a processos quânticos e suas conseqüências em um Universo em expansão. Foram examinados processos quânticos de matéria em *background* clássico (aproximação semi-clássica) e apresentadas diferentes propostas de tratamento quântico do próprio campo gravitacional. Foram examinadas e discutidas as recentes tentativas de explicação da existência e formação de grandes estruturas (galáxias, *clusters*, etc) – quer através de uma visão mais observacional e clássica, quer através de processos quânticos elementares. Além de um conjunto de seminários em outros tópicos de interesse em Cosmologia e áreas correlatas, duas mesas-redondas também foram organizadas: *Loss of information from Black Holes* (coord. W. Israel) e *Time Machines* (coord. A. Starobinsky).

mostly, because of the large number of student-participants coming from other countries. In this School, special emphasis was given to quantum processes and their consequences in an expanding Universe. Not only quantum processes of matter in classical background (semi-classical approach) were examined but also different proposals for quantum treatment of the very gravitational field were proposed. The recent attempts to explain the existence and formation of major structures (galaxies, clusters etc.) were also examined and discussed – either from a more observational and classical perspective or through elementary quantum processes.

Two round-tables were also organized: *Loss of Information from Black Holes* (coordinated by Prof. W. Israel) and *Time Machines* (coordinated by Prof. A. Starobinsky). Furthermore, a number of seminars on other topics of interest to Cosmology and related areas were included.

Um palestrante recebe o Nobel

A IX BSCG aconteceu em 1998. Sua abrangência internacional aparece quando listamos os países dos cientistas participantes: Brasil, Argentina, Canadá, Dinamarca, França, Israel, Itália, México, Portugal, Rússia, Espanha, Estados Unidos e Venezuela. Nesta Escola comemoramos vinte anos de sua existência. Na ocasião a Prof. Yvonne Choquet-Bruhat foi homenageada com um tributo pronunciado pelo Prof. Werner Israel. Nela, ênfase especial foi dada a processos astrofísicos localizados, em particular propriedades de Buraco Negro. Tivemos também um curso dado pelo professor G. Smoot sobre CMBR que, em seguida, foi agraciado com o prêmio Nobel, precisamente por seus trabalhos nesta área. A Teoria de Campo Gravitacional e a análise de teorias de campo sobre o cone de luz e sobre geometrias representando universos em expansão, também foram apresentadas.

A X Escola ocorreu em Julho de 2002 e contou com cientistas de 16 países: Brasil, Argentina, Alemanha, Bolívia, Canadá, Chile, Dinamarca, França, Inglaterra, Irlanda, Itália, México, Polônia, Rússia, Estados Unidos e Turquia. Neste momento, a BSCG consolidou sua tendência à abertura do exame de questões não-convencionais em Cosmologia e em áreas correlatas. Esta tendência persistiu nas Escolas que se seguiram.

A speaker is given the Nobel Prize

The 9th BSCG happened in 1998. Its international nature appears when we list of the countries where participating scientists came from: Brazil, Argentina, Canada, Denmark, France, Israel, Italy, Mexico, Portugal, Russia, Spain, United States, and Venezuela. In this School, we commemorated twenty years of its existence. On the occasion, Professor Yvonne Choquet-Bruhat was honored with a tribute pronounced by Prof. Werner Israel. Special emphasis was given to localized astrophysical processes, particularly to properties of black holes. A series of lectures on CMBR was delivered by Professor G. Smoot, who was subsequently awarded the Nobel Prize, precisely for his endeavors in that area. The theory of the gravitational field and the analysis of field theories on the light cone and on geometries representing expanding universes were also presented.

The 10th School was held in July, 2002, and involved scientists from 16 countries: Brazil, Germany, Bolivia, Canada, Chile, Denmark, France, England, Ireland, Italy, Mexico, Poland, Russia, United States, and Turkey. At this moment, the BSCG consolidated its tendency to open the exam of non-conventional issues not only in Cosmology but also in related areas. This tendency continued on in the other Meetings.

Prof. Mario Novello

Caro Mario

Estrou te escrevendo para que fique registrado, preto no branco, embora eu tenha uma só palavra, o meu apoio, estímulo e desejo de colaborar de maneira efetiva à criação de uma entidade, se possível parajonista, cash oriented private, destinada ao estudo, pesquisa e ensino de Cosmologia e gravitação no Brasil.

Acho que é mais conveniente, oportuno e seguro que a entidade seja brasileira, aberta à colaboração de pessoal competente de todos os países.

Com o voto de sucesso (e, algum tempo ameno), com um abraço

Beau Lutz

04

Opiniões e comentários de cientistas sobre a Escola Brasileira de Cosmologia e Gravitação

Some scientists' opinions and comments on the Brazilian School of Cosmology and Gravitation

Em 1988 o Grupo de Cosmologia e Gravitação do CBPF pretendeu dar uma função permanente às Escolas através da criação de um Centro de Cosmologia, na esfera do Ministério de Ciência e Tecnologia. Naquele momento, foi solicitado a vários físicos (a pedido do então ministro) as suas opiniões sobre o grupo, transcritas a seguir. Particular atenção merece o apoio que recebi do grande cientista brasileiro César Lattes. Frequentemente, quando Lattes vinha ao Rio, conversávamos muito a respeito desta possibilidade. Aproveitando estes momentos, Lattes comentava suas idéias, semelhantes às de Paul Dirac, sobre os efeitos locais das propriedades 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, Vitório Canuto havia apresentado na

In 1988, CBPF's Group of Cosmology and Gravitation intended to give a permanent role to the Schools by creating a Cosmology Center, under the Ministry of Science and Technology. At that time, several physicists (at the request of the minister) were asked for their opinions on the group, as transcribed below. Particular attention should be paid to the support I received from great Brazilian scientist César Lattes. Whenever Lattes came to Rio, we often talked about this possibility. On these occasions, Lattes would air his ideas, similar to Paul Dirac's, on local effects of the properties of the evolution of the Universe, saying he had solid arguments to show how Physics very interactions would depend on the Universe's state of evolution. Years earlier, Vitório Canuto had presented an extensive review of Dirac's ideas in the School and, in the early 1970's, my CERN collaborator

Escola uma revisão extensa destas idéias 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 e Gravitação em um foro permanente, com continuidade, voltado integralmente para questões cosmológicas. Finalmente, convenci-o que esta sua carta poderia ser importante para que administradores de Brasília soubessem precisamente sua posição em relação a esta questão.

Reproduzimos a seguir trechos das cartas de alguns professores nas quais estão registradas suas opiniões sobre a Escola:

P. Rotelli and I had produced an alternative to Dirac's proposal on the cosmic dependence of weak interactions. Lattes's ideas did not possess similar development to Dirac's, and were very close to mine, that being the reason why we started to write the draft (for a yet unpublished paper) together.

Lattes used to think it was totally unnecessary to write about his support to my idea of transforming the Schools of Cosmology and Gravitation into a permanent and continuous forum entirely focused on cosmological issues. I eventually convinced him that this letter of his could be important to openly communicate his opinion.

We have reproduced the content of letters by some professors where their opinions on the School are recorded.

| YVONNE CHOQUET-BRUHAT 19.9.1988

Professor at the University of Paris VI; Director of the Relativist Mechanics Laboratory and Fellow of the French Academy of Sciences

(...) The Brazilian Schools of Cosmology and Gravitation that you have organized since 1978 have proved extremely successful both for the advancement of science at an international level, and for the development of a remarkably good Brazilian group in these fields.

Having myself attended two of these Schools, I have been able to appreciate their excellent organization, the high level course programs on the most up-to-date topics by the best specialists in the field, a fruitful experience to all by the active participation of many in the audience, from the Director of the School to the youngest colleagues.

These meetings have certainly contributed to obtaining many results in the fields of Cosmology and Gravitation, which have given your group the high reputation that it enjoys internationally.

|| RUBEN ALDROVANDI 29.9.1988

São Paulo Institute of Theoretical Physics

Although I think you know my opinion on the CBPF Group of Cosmology and Gravitation and on the Brazilian School it has been organizing for so many years, this seems to be a good opportunity to put it down in written words. The Group is the only one worthy of this name in Brazil, as other people working on those subjects never really seem to get their act together. I have very high regards for the quality, coherence and — in Brazil this is essential — endurance shown during all the difficult times the Group has been in existence. As to the School: I have been in many Schools, and most are fairly good, but have never met one that is better organized than this.

(...) Such an institution would give stability to the School and, I am convinced, greatly contribute to the development of activities in the sister sciences of Cosmology and Gravitation. For the reasons given above, it is a matter of course that the CBPF Group and its School are the ideal nucleation centre for the Institute.

III EDWARD W. KOLB 23.9.1988

Professor of Astronomy and Astrophysics at the University of Chicago and at the FERMI LAB

(...) As you know, I had the opportunity of attending the 4th and 5th Schools as a lecturer. I cannot express the student's view, but from my perspective they were both great successes. I benefited a great deal from the lectures by the many distinguished scientists and from questions and discussions with students.

CBPF's Gravitation and Cosmology Group is large and active. The people already present at CBPF could easily serve as a nucleus for a more ambitious program. An Institute with a larger scope would be beneficial to Brazilian science in two ways: It would attract to Rio the best people in the international scientific community to share recent developments in general relativity and cosmology; and it would afford the opportunity for the rest of the world to learn about the great work done in Rio by Brazilian scientists. I can think of no better use of resources available to help the development of science in Brazil. I would be happy to do anything I can to help your initiative. Good luck with your efforts.

IV VITORIO CANUTO 31.10.1988

Member of NASA, Goddard Institute for Space Studies

(...) In all of Latin America, Brazil is the country that, thanks to your efforts, has taken the leadership in the field of General Relativity and Cosmology, as witnessed by the success of the several Schools that you have convened in the last ten years. From both the scientific and the organizational points of view, I believe they were a remarkable success.

Cosmology is about to be reborn thanks to launching the Space Telescope next year. The wealth of new data available in the near future will dramatically change the field, and the fact that your Schools have already prepared young researchers in this field represents an investment on which this Institute can confidently be built. For these reasons, I firmly believe that an Institute of Research in Cosmology and Gravitation will be an outstanding Brazilian contribution not only to the development of science in Latin America but to future generations of young scientists.

V BAHRAN MASHOOM 1993

Missouri, EUA

The organization of the School was excellent: a rigorous schedule of lectures combined with evening seminars. There was ample time, however, to get to know the participants and to have lengthy discussions of scientific issues of mutual interest that arose in the course of lectures and seminars. (...) On the administrative side, I can only have high praise for the professionalism and dedication of the staff combined with a pleasant human touch that added warmth to the atmosphere of the School.

The quality of the School was outstanding. I was also impressed with the excellent quality of graduate students at the School.

VI S.DOLGOV 1993

Moscow, Russia

My opinion of the School is very high. The organization and schedule were very good. A brilliant idea was the organization of informal discussion sessions. They were very stimulating for a better understanding of the subjects. A shortcoming was the expensive fax and telephone services, but operation of e-mail somewhat helped. The scientific part was indeed extremely good.

VII BERNARD JONES 1993

Copenhagen, Denmark

The organization of the School was in fact one of the best I have ever encountered. In fact, it was so good I never noticed it, since everything seemed to work like clockwork and, most important, the organizing team exhibited a remarkable degree of flexibility. You, evidently, have the organization of this kind of meeting down to an art-form. I made many contacts among the young people at the School and I am currently looking into the question of partially financing a bi-lateral cooperation on the subjects of mutual interest.

VIII VITALY MELNIKOV 1993

Head of CSVR's Department of Fundamental Interaction and Metrology; President of the Russian Gravitational Association – Moscow, Russia

The scientific level of the VII Brazilian School of Cosmology and Gravitation was on a good international level. Practically all modern problems on cosmology and gravitation were discussed at the School. Lecturers were renowned scientists from Europe, USA, and Brazil. It is very nice that among lecturers were some scientists representing Russian schools in basic sciences: Prof. A.Dolgov, I.Tyutin (seminar), Gitman (seminar), and myself. It may contribute to further cooperation and interaction between Brazilian and Russian basic sciences in the field of cosmology and gravitation.

There were interesting discussions on the cosmological constant problem and inflationary models, as well as discussions concerning each lecture.

The fact that nearly all the Brazilian groups were represented at the School and also many scientists from Argentina, Mexico, other Latin American countries, and even some people from Europe makes this School in essence an international one.

The scientific organization of the School was excellent: strict time-table, full attendance, copying of the lectures, work of secretaries, conditions to work, discussions, etc. The fact that all participants lived in one compact and nearly isolated place is very good for productive interaction between all the participants and lecturers. I should like to note that it is a very good practice that all participants had their accommodations paid for by the Organizing Committee, where the scientific merit was the only reason for choosing the attendants. It is the same practice that is used in many other renowned schools like Les Houches, in France, Erice, in Italy, etc. Especially I should like to stress the great role of Prof. Mário Novello in the preparation and organization of the work of the School. Due to his attitude, the atmosphere was very friendly and creative.

Conditions of living and meals were also good. As to suggestions for future schools I should like to point out that some topics may be represented more widely like quantum cosmology and quantum gravity and also experimental problems of gravitation. In general, I think the traditional interaction of Brazilian and Russian scientists in cosmology and gravitation should be kept and enhanced. And, of course, the best traditions of the Brazilian School of Cosmology and Gravitation, which already were present at the VII School, must be kept.

Debate entre
Novello e Mukhanov
na XVII BSCG.

Debate between
Novello and Mukhanov
at the XVII BSCG.



Moschella (ao centro) intervém
numa discussão noturna sobre o
status da Constante Cosmológica.
Mukhanov (em pé) espera
seu momento para rebater os
argumentos de Moschella.

Moschella (center) contributes
to an evening discussion about the
status of the Cosmological constant.
Mukhanov (standing) abides the
moment to answer Moschella.

IX A. DOLGOV 1998

Theoretical Astrophysics Center - TAC, Copenhagen, Denmark

The Brazilian Schools of Cosmology and Gravitation already have a long and glorious history. They started 20 years ago and, ever since, remain as one of the leading schools on the subject, not only in Brazil but in the world. It is difficult to overstate their educational and scientific value. The level of lecturers is always first rate. The scientific programs each year contain most interesting, important, and up-to-date subjects.

In parallel to the main courses of lectures, more brief scientific seminars are organized, where original works by the local and visiting physicists are presented. This makes the Schools not only educationally important but also plays an essential role in the recognition of Brazilian scientific achievements.

I would also like to stress the great, excellent, and difficult work done by Professor M. Novello in organizing these Schools.

X IGOR NOVIKOV 1998

Director, Theoretical Astrophysics Center – Copenhagen, Denmark

I am writing in connection with the great tradition of Brazilian physicists: a series of scientific meetings called the Brazilian Schools of Cosmology and Gravitation (BSCG).

(...) In this year of 1998, the IX BSCG was held in which I had the privilege to participate as an invited lecturer. The main goals of the Schools are to provide the possibility to present and discuss the new achievements in cosmology, general theory of relativity, astrophysics, quantum field theory and in related areas. I have learned these Schools from my colleagues and from Proceedings of the Schools for many years. As a participant of the IX BSCG I personally observed the highest scientific and organizational level of the School. The unique format of the BSCG and very friendly working atmosphere provided many fruitful discussions both in pure science and in scientific education. It leads to a real progress in physics and is especially important and competitive at a world class level, and the list of lecturers at BSCG is a who's who of the leaders of cosmology and physics of the international level.

XI EDWARD W. KOLB 1998

Theoretical Astrophysics, FERMI LAB – The University of Chicago, EUA

I have had the pleasure of attending two of the Brazilian Schools of Cosmology and Gravitation. In addition to an enthusiastic audience for my lectures, I learned a great deal from the other fine lectures at the Schools. The Schools were exceptionally well run and well balanced.

I believe that the Schools have had many benefits for Brazilian science. Not only are the students exposed to ideas and research of leading scientists from the entire world, but scientific leaders from throughout the world are exposed to the very fine young Brazilian researchers. There are many talented young scientists who would otherwise not be easily noticed outside Brazil. Because of the contacts made during my visits to Brazil to attend the Schools, several young scientists have been invited to spend long periods visiting our group at Fermi National Accelerator Laboratory. I am sure that we benefitted from their visits, and I believe that they benefitted from visiting us as well.

Nowadays it is difficult to provide continuity even to successful projects. In spite of difficulties you may face, I would like to encourage you to do whatever it takes to continue with the Brazilian Schools of Cosmology and Gravitation. The benefits of the School are quite considerable.

XII J. NARLIKAR 1998

Inter-University Centre for Astronomy and Astrophysics – IUCAA, India

I am writing this letter to give my impressions on the Schools of Cosmology and Gravitation conducted by your group in Brazil over the last 20 years. I recall participating in one of the schools in 1987 as a resource person. It was indeed an exhilarating experience to meet the students who were attracted not only from Brazil but also from other countries. The resource persons were also from many different countries and enjoyed international reputation. I think the BSCG is playing a very vital role in this field. I do hope that you will continue this activity and possibly expand upon it if your funding agency so permits. You have established a tradition which has to be continued, and I hope that it will.



Professor Edward Kolb, Diretor do Fermilab, com bastante humor, homenageia o Fluminense, clube do diretor da BSCG.

Professor Edward Kolb, Director of Fermilab, humourously cheers BSCG director's football club, the Fluminense.



Novello, Ruffini e Bianco em reunião de trabalho durante intervalo da XII BSCG.

Novello, Ruffini and Bianco meeting between sessions, during XII BSCG.

XIII FANG LI-ZHI 1998

University of Arizona – Tucson, USA

(...) Gravitational theory and cosmology are two of the most fundamental fields of physics. It could not exist without strong public support. However, given the small number of researchers in gravitation and cosmology, these fields make unexpectedly large contributions to formal and informal science education. In the current world, more and more countries recognize that the synergistic, educational, and cultural contributions of the study of cosmology and gravitation are worthy. Therefore, not only big and rich countries attach importance to these fields, but also many others. For instance, even under the current Asian financial crisis, the programs of cosmological and gravitational research in Korea, Vietnam, and Taiwan have firmly been funded by their own authorities.

I had the honor to be invited as a lecturer at the BSCG in 1984. Since then I have kept in touch with colleagues of the BSCG. I would like to evaluate the BSCG to be the first rank of schools in the field. All lecturers are influential, and all lectures delivered at the BSCG are on the frontier of gravitation and cosmology research. In addition, the BSCG provides unusual opportunities for international exchange and cooperation of colleagues from Brazil and Latin America with the rest of the world. Therefore, I strongly recommend support to the BSCG School, and its activity should be regular and permanent.

XIV YVONNE CHOQUET-BRUHAT 1998

Université Pierre et Marie Curie, Gravitation et Cosmologie Relativistes – Paris, France

The Brazilian School of Cosmology and Gravitation has an international reputation, enhanced and perpetuated by the volumes of its proceedings. This school totally deserves to be supported.

The list of speakers at these schools is an impressive assembly of internationally renowned names of specialists covering the broad area of General Relativity and Cosmology. I myself have been fortunate enough to participate in two of these schools. I have learned greatly from the lectures of colleagues working in fields distinct but related to mine (which is mainly mathematical problems in General Relativity). The school was also attended by a member of graduate students. The solid background as well as the advanced view points that they received there was certainly a great asset for their future.

XV G.F.R.ELLIS 1998

University of Cape Town, Department of Mathematics and Applied Mathematics – South Africa

This letter is to state that the series of scientific meetings called the Brazilian Schools of Cosmology and Gravitation (BSCG) have been a significant series of meetings, pulling together high quality lecturers from around the world, and resulting from time to time in good quality publications of significant merit. I therefore believe that continuation of these schools on a regular basis will be a very worthwhile project, and will make a significant contribution to the development of relativity and cosmology not merely to Brazil, but in the whole of Latin America.

I am therefore pleased to support your request that funding for these schools should be continued.

XVI VLADIMIR MOSTEPANENKO 1998

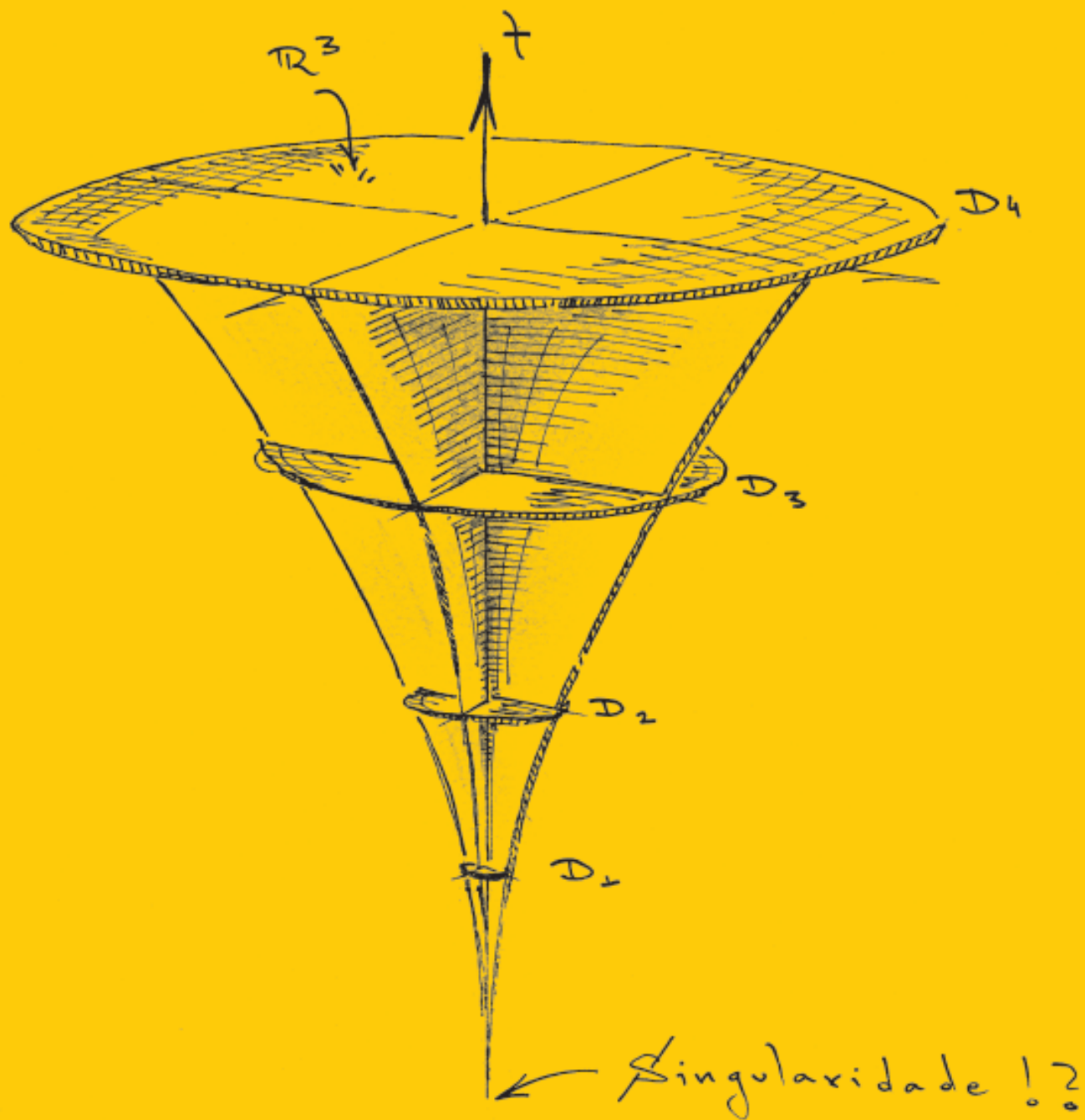
A.Friedmann Laboratory for Theoretical Physics – Moscow, Russia; Visiting Professor – UFPb, João Pessoa

Let me express my gratitude for your kind invitation to take part in the IX Brazilian School of Cosmology and Gravitation and to give the lectures there. The School of Cosmology and Gravitation has become a traditional event in Brazil. During twenty years it has gathered the most qualified lecturers on the subject from all over the world and the most promising young Brazilian researchers working in the field of cosmology and gravitation. It is a great honor to Brazil that this country considers it possible to support this field of fundamental physics research. Giving seemingly small contribution to technologies, Cosmology and Gravitation investigate and solve the most profound problems of the structure and evolution of our Universe. These problems have attracted the most prominent scientists from different countries during all the history of mankind. Now both Gravitation and Cosmology are the experimentally based exact sciences with great perspectives.

I hope that the tradition of the Brazilian Schools of Cosmology and Gravitation will be prolonged giving significant contribution to education and science in Brazil.



Participantes da XII BSCG. XII BSCG participants'.
Angra dos Reis, Rio de Janeiro, 2006.



05

Cosmologia do Século XX cronologia

Cosmology in the 20th Century a chronology

- 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.
German physicist A. Einstein (1879-1955) creates a new theory of gravitation, the General Relativity (GR), identifying the gravitational force with the geometric structure of space-time.
- 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, estático e cujo volume total não varia com o tempo, isto é, não admite expansão. O astrônomo holandês W. De Sitter (1872-1934), usando as equações da RG com constante cosmológica, estabelece o segundo modelo cosmológico e mostra que, contrariamente ao modelo de Einstein, é possível construir soluções capazes de representar um universo em expansão em regime estacionário, isto é, com velocidade de expansão constante. A existência de Λ é suficiente para produzir este universo, ao se desprezar a ação da matéria e da energia. Assim, o modelo de W. De Sitter não tem matéria, é pura geometria.
Einstein proposes the first relativist cosmologic model and introduces a new universal constant represented by the Greek letter Λ (lambda), called cosmologic constant. This model represents a finite, static universe whose total volume does not vary with time, that is, it does not admit expansion. Using GR equations with the cosmologic constant, Dutch astronomer W. De Sitter (1872-1934) establishes the second cosmo-

logic model and shows that, contrary to Einstein's model, solutions can be built to represent an expanding universe in stationary regime, that is, with constant expanding speed. The existence of Λ is enough to produce this universe, as the action of matter and energy is disregarded. So, W. De Sitter's model does not have matter; it is pure geometry.

1922 | O físico russo A. Friedmann (1888-1925) elabora um modelo cosmológico que representa um universo espacialmente homogêneo (mesmas propriedades em qualquer lugar do espaço) e isotrópico (mesmas propriedades em qualquer direção do espaço). Este universo se expande desde o 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).

Russian physicist A. Friedmann (1888-1925) develops a cosmologic model that represents a spatially homogeneous (same properties anywhere in the space) and isotropic (same properties in any direction in the space) universe. This universe expands from the beginning, when the volume is zero, to a maximum volume and, then, it contracts, reaching singularity again (volume equal to zero). The source of this geometry is a perfect fluid whose energy is incoherently distributed, without interaction between its parts (that is, without pressure).

1924 | Friedmann publica um segundo modelo cosmológico semelhante ao de 1922, mas com uma importante diferença: nesta nova solução, a estrutura do espaço tridimensional permite que o volume total do Universo aumente indefinidamente.

Friedmann publishes a second cosmologic model, similar to that from 1922, but with an important difference: in this new solution, the three-dimensional space structure allows the total volume of the universe to grow indefinitely.

1927 | O padre e físico belga G. Lemaître (1894-1966) constrói um modelo cosmológico representando um universo em expansão, contendo matéria, radiação e constante cosmológica. 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 representada pelo cenário Big Bang. 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.

Belgian priest and physicist G. Lemaître (1894-1966) constructs a cosmologic model representing an expanding universe, containing matter, radiation, and cosmologic constant. He associates the initial singularity of this model to the notion of “primordial atom”, presenting a cosmogonist hypothesis according to which the Universe would have resulted from the radioactive disintegration of an atom. Nearly thirty years later, this “explosion” reappears in cosmologic imagination as represented by the Big Bang scenario. American mathematician E. Kasner (1878-1955) builds a solution of Einstein’s equations, without matter and without cosmologic constant, which represents a spatially homogeneous but anisotropic universe, that is, with distinct properties in different directions.

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. O matemático e físico americano H. P. Robertson (1903-1961) estabelece uma forma matemática que representa universos espacialmente homogêneos e isotrópicos 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.

American astronomer E. P. Hubble (1889-1953) deduces the empirical relation of the separation of galaxies from observational data, and introduces the concept of the expanding universe, perhaps the major Cosmology discovery to date. American mathematician and physicist H.P. Robertson (1903-1961) establishes a mathematical form that represents spatially homogeneous and isotropic universes like Friedmann’s. This model of universe follows the “Cosmologic Principle” according to which all spatial points have the same physical and geometric properties.

1932 | Einstein e De Sitter descobrem uma solução cosmológica de tipo semelhante à de Friedmann, tendo espaço homogêneo e isotrópico, caracterizado por uma geometria euclideana. A fonte deste universo é um fluido perfeito sem pressão.

Einstein and de Sitter discover a cosmologic solution similar to Friedmann's, with homogeneous and isotropic space, characterized by a Euclidean geometry. The source of this universe is a perfect fluid without pressure.

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).

Bulgarian astronomer F. Zwicky (1898-1974) proposes the concept of dark matter, thanks to observations of local speeds in the galaxies in clusters. Zwicky and collaborators infer that there is much more matter in the Universe than that emitting visible light (stars).

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 (1904-1968) sugere que a carga do elétron poderia variar com o tempo cósmico (interação eletromagnética muda com a evolução cósmica). Em 1972, o físico brasileiro M. 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 new question appears in Cosmology: traditional thinking is shifted, that is, from how matter influences the global behavior of the Universe to how the Universe influences the very laws of Physics. British physicist P.A.M. Dirac (1902-1984) offers the hypothesis that some of the fundamental constants of Physics (Newton's constant, for instance) could depend on the cosmologic state in which the Universe is (gravitational interac-

tion changes with cosmic evolution). According to this line of thought, in 1967 Russian-American physicist G.Gamow (1904-1968) suggests that an electron's charge could vary with cosmic time (electromagnetic interaction changes with cosmic evolution). In 1972, Brazilian physicist M.Novello redirects this analysis by arguing that the fundamental constants of Physics were not the ones to depend on cosmic time, but rather the very mechanisms of interaction. As an example to this orientation, he then suggests that, in the processes of matter disintegration via weak interaction, the violation of parity would depend on the stage of evolution of the Universe (weak interaction changes with cosmic evolution).

1941 | A. MacKellar observa os primeiros dados sobre a existência de um mar de fótons em equilíbrio termodinâmico como um espectro térmico (corpo negro) a $2,3^\circ$ Kelvin. Estes dados foram ignorados durante mais de vinte anos devido em parte à conjuntura da II Guerra Mundial, e só foram observados novamente nos anos 60 por dois radioastrónomos americanos.

A. MacKellar observes the first data on the existence of a sea of photons in thermodynamic equilibrium like a thermal spectrum (black body) at 2.3° Kelvin. These data were ignored for more than twenty years partly because of the World War II conjuncture and were only observed again in the 1960's by two American radio-astronomers.

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. O matemático anglo-austriaco H. Bondi (1919-2005), o astrofísico austriaco T. Gold (1920-2004) e o astrónomo britânico F. Hoyle (1915-2001) exploram a idéia de um universo em expansão a uma taxa constante, caracterizando uma geometria semelhante à de W. De Sitter. 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 1960 o modelo do Estado Estacionário (universo Steady-State) constituiu-se no maior adversário do modelo Big Bang.

G. Gamow develops the idea of an expanding universe, with an extremely hot primordial phase, enabling the production of the first light elements of the Universe (hydrogen and helium). He estimates the temperature of the Universe to be between 1° and 5° Kelvin. The English-Austrian mathematician H. Bondi (1919-2005), the Austrian astrophysicist T. Gold (1920-2004), and the British astronomer F. Hoyle (1915-2001) explore the idea of a universe that expands at a constant rate, characterized by a geometry that is similar to W. De Sitter's. They generalize the "Cosmological Principle" to what they call the "Perfect Cosmological Principle", which extends the homogeneity of space to time, that is, the configuration of the Universe is always the same, represented by a geometry that is not static, but stationary. From those days until the 1960's, the model of a Steady-State Universe became the main alternative to the Big Bang model.

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.

Austrian mathematician K.Gödel (1906-1978) shows that the equations of General Relativity enable the generation of geometries with closed-time type of curves, that is, pathways that lead into the past. From then on, the causality structure and the notion of global cosmic time receive profound criticism which has not yet been resolved by General Relativity to date.

1963 | Os radioastrônomos 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 MacKellar em 1941. A radiação cósmica de fundo é considerada como uma evidência do cenário Big Bang.

American radio-astronomers A. Penzias and R. Wilson observe the existence of a background cosmic radiation, constituted by a sea of photons in thermodynamic equilibrium like a thermal spectrum (black body) at 2.7° Kelvin, thus proving the phenomenon observed by MacKellar in 1941. Background cosmic radiation is considered an evidence of the Big Bang scenario.

- 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.
Russian physicist A. Sakharov (1921-1989) proposes a model of elementary particles that can explain the matter-antimatter asymmetry of the fundamental constituents of baryonic matter (as the proton and neutron) existing in the Universe.
- 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.
V.C. Rubin and W.K. Ford find evidence of the dark matter as they studied the rotation curve of stars in galaxies near the Milky Way.
- 1972** | Criação do Primeiro Grupo de Cosmologia e Gravitação do Brasil no Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (CBPF).
The first Cosmology and Gravitation Group is created in Brazil at the Brazilian Center for Physical Research, 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 complementando 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.
In order to explain the abundance of light chemicals (hydrogen, helium etc.) and the different structure scales of the Universe, B. W. Lee and S. Weinberg, in the 1970's, and, as a complement to that, the endeavors by J.R. Bond, G. Efstathiou, J. Silk develop in the 1980's the concept of non-baryonic dark matter, that is, dark matter not composed of photons, neutrons, and electrons like ordinary matter.

1978 | Realização da I Brazilian School of Cosmology and Gravitation (BSCG) no CBPF-RJ. A partir de então, estas reuniões têm se realizado a cada dois anos, onde são apresentadas as pesquisas mais modernas da Cosmologia, Gravitação, Astrofísica e áreas afins. A. Penzias e R. Wilson ganham o Prêmio Nobel por terem descoberto a radiação cósmica de fundo.

The I Brazilian School of Cosmology and Gravitation (BSCG) is held at CBPF-RJ. From then on, these meetings have been held every two years, where the research from Cosmology, Gravitation, Astrophysics, and related areas is presented. A. Penzias and R. Wilson are awarded the Nobel Prize for having discovered the cosmic background radiation.

1979 | Os físicos brasileiros M. Novello e J. M. Salim elaboram o primeiro modelo cosmológico com solução analítica que possui *bouncing* (ricochete), isto é, o Universo possuiria uma fase anterior de colapso, onde o volume teria diminuído com o tempo, atingido um valor mínimo e, depois, passado a se expandir. As fontes desta geometria são fótons não-lineares. No mesmo ano, os físicos russos V. Melnikov e S. V. Orlov propõem um outro modelo cosmológico com *bouncing*, tendo como fontes campos escalares quantizados (quebra espontânea de simetria).

Brazilian physicists M. Novello and J. M. Salim develop the first cosmologic model with analytical solution that possesses bouncing, that is, there would be a previous collapse phase of the Universe where the volume would have reduced in time, reaching a minimum value, and then expanded again. The sources of this geometry are non-linear photons. In the same year, Russian physicists V. Melnikov and S. V. Orlov propose another cosmologic model with bouncing, whose sources are quantized scalar fields (spontaneous break of symmetry).

1981 | Modelo de universo inflacionário Aparece 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.

Inflationary Universe Model The proposal of an inflationary model appears, re-updating the importance of the cosmologic constant in a brief historical period of the evolution of the Universe. Inflation of the Uni-

verse is the existence of a period of extremely accelerated geometric expansion, which would have occurred next to the singularity in Friedmann's model.

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.

Canadian cosmologist J.E. Peebles relates the evolution of small changes in the temperature of cosmic background radiation to the creation of structures such as galaxies and galaxy clusters, taking dark matter and initial fluctuations into account.

1983 | J. Huchra, M. Davis, D. Latham e J. Tonry realizam o primeiro mapeamento da distribuição de matéria ordinária em grandes escalas no Universo.

J. Huchra, M. Davis, D. Latham, and J. Tonry manage to map, for the first time, the distribution of ordinary matter in large scales in the Universe.

1987 | Lentes gravitacionais 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 [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].

Gravitational Lenses Discovery of the first gigantic arcs formed by gravitational lensing. Besides proving the deviation of light by gravity, the study of this phenomenon confirms the presence of dark matter in clusters of galaxies [the term gravitational lens is given to any body of matter that can produce change to the trajectory of light passing by as a result of the gravitational force exercised by this body].

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.

Launching the Hubble Space Telescope One of the main objectives of this space mission was to determine the current expansion rate of the Universe, named Hubble parameter. The satellite is now used for countless cosmologic studies.

1998 | Aceleração do Universo Medidas da luminosidade e *redshift* de explosões de estrelas supernovas sugerem fortes evidências de que o Universo teria sofrido uma transição e passa atualmente por uma fase de expansão acelerada.

Acceleration of the Universe Measures of luminosity and redshift of supernova star explosions suggest strong evidence that the Universe would have suffered a transition and is currently going through a phase of accelerated expansion.

século
XXI
21st
century

A observação de que o universo está em expansão acelerada criou um grave problema para a Teoria da Relatividade Geral. Segundo a RG, a causa desta aceleração está associada a uma substância com propriedades esdrúxulas que se convencionou 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 e a matéria escura constituem 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 poderá ser modificada, o que permite esperar o surgimento de uma nova Cosmologia, posto que toda teoria da gravitação funda uma nova Cosmologia.

The observation that the Universe is in accelerated expansion has created a serious problem for the Theory of General Relativity. According to the GR, the cause of this acceleration is associated to a substance with extravagant characteristics that has conventionally been named “dark energy”. This dark energy seems to be the dominant substance in the Universe, though “what it is” and “what type of energy it is” are not precisely known. Dark energy and dark matter are the observed phenomena that most directly demonstrate that the current Theories of Elementary Particles and Gravitation are either incorrect or incomplete. Cosmic observations in the 21st Century show that we should seriously consider the hypothesis that Einstein’s Theory of Gravitation could be modified, which allows for the potential appearance of a new Cosmology, since every new theory of gravitation founds a new Cosmology.

Coordenação Editorial *Editor*
Jauá Editora | Nubia Melhem Santos

Projeto Gráfico *Graphic Design*
eg.design | Carolina Ferman

Iconografia *Iconography*
Bernardo Cox

Tradução *Translation*
Ricardo Silveira

Revisão *Revision*
Carla Martins e Pedro Mattos

Colaborações Especiais *Special participation*
**Gláucia Pessoa, Érico Goulart, Luzia London,
Santiago Perez Begliaffa, Luis Alberto Oliveira
e Alfredo Chaves**

Capa Cover

Anel de matéria escura
Dark matter ring
NASA, ESA, M. J. Jee and H. Ford et al.
(Johns Hopkins Univ.)

Pág 04

Uma representação da evolução do Universo
de aproximadamente 13,7 bilhões de anos.
*A representation of the evolution of the Universe
over 13.7 billion years.*
NASA / WMAP Science Team

Pág 06

Rho Oph
NASA/JPL-Caltech/
Harvard-Smithsonian CfA

Pág 09

Galáxia Sombrero
Sombrero Galaxy
Hubble, STSCL/AURA, ESA, NASA

Pág 18

Desenho *Illustration* Érico Goulart
Foto *Photo* Bernardo Cox

Pág 26

Anotações de Mario Novello
Mario Novello's notes
Foto *Photo* Bernardo Cox

pág 46

Carta de César Lattes a Mario Novello
Letter from César Lattes to Mario Novello

pág 61

Desenho *Illustration* Érico Goulart

pág 65

Pôster Cosmologia do século XX,
publicado pelo Icara-Brasil
*Poster 20 century Cosmology,
published by Icara-Brasil*